A 12700

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN
MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

ROK XXXI ZESZYT 10/11 21.XI.1955

KONFERENCJA MATERIAŁOZNAWCZO-SUROWCOWA W ZAKRESIE ELEKTROTECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK

WROCŁAW, 13-14-15 GRUDNIA 1955 R.

Biblioteka Politechniki Wrocławskiej

WYDAWNICTWO NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rok XXXI, z. 10/11
21 listopada 1955 r.

XXXI-й год, вып. 10/11
21 ноября 1955 г.

Vol. XXXI, No 10/11
November 21, 1955

Spis rzeczy

Skowroński J. I. Problematyka materiałów elektrycznych w Polsce. 545.

I. MATERIAŁY PRZEWODZĄCE

Woynarowski Zb. Metale konstrukcyjne. 550.

Misiołek Zb. Materiały przewodowe i oporowe. 555.

Semkowicz A. Materiały oporowe na elementy grzejne. 561.

Miłkowska M. Metale stykowe i proszki mikrofonowe. 567.

Frycz F. Szczotki do maszyn elektrycznych. 572.

Bryjak E. Możliwości produkcyjne i zamierzenia krajowego przemysłu metalurgii proszków. 574.

Cieślik J. Perspektywy rozwojowe krajowej produkcji drutów na termoelementy. 575.

II. MATERIAŁY MAGNETYCZNE

Markuszewicz M. Blachy elektrotechniczne. 577.

Kozłowski L. Magnesy trwałe. 586.

Rutkowski W. Nowoczesne proszkowe materiały magnetyczne w przemyśle energo- i teleelektrycznym. 597.

Foniok F., Rusz J. Permaloje — ich technologia i zastosowanie. 603.

Matheisel Zb. Stopy niemagnetyczne. 607.

Kozłowski L., Ziołowski Z., Razumowski B. Wytwarzanie ferrytu barowego, jego struktura i własności magnetyczne. 610.

III. PRODUKTY NAFTOWE I POKREWNE

Dryś B., Siciński Zb. Oleje i woski izolacyjne. 615.

Stepek Z. Bitumy. 620.

Stepek Z. Oleje turbinowe, smary i inne produkty naftowe. 622.

IV. TWORZYWA ORGANICZNE

Sulima T. Tłoczywa termoutwardzalne. 629.

Zieliński W. Elastomery stosowane w przemyśle kablowym. 632.

Bursztyn I. Aminoplasty. 636.

Smyk W. Lakiery elektroizolacyjne. 639.

Hertz Z., Jerzykiewicz A. Żywice epoksydowe w elektrotechnice. 641.

Dobraczyński A. Analiza krytyczna technologii prasowania tłoczyw termoutwardzalnych w świetle zdobytego doświadczenia. 644.

Sulima T., Superat R. Badania odporności materiałów izolacyjnych na prądy pełzające. 647.

V. MATERIAŁY WŁÓKNISTE

Leśkow St. Włókna w elektrotechnice. 651.

Leśkow St. Włókno szklane. 653.

Zawadzki A. Możliwości produkcji jedwabiu szklanego w kraju. 658.

Buck J. Papiery i preszpany. 660.

Winczakiewicz A. Postępy w dziedzinie produkcji papierów elektrotechnicznych. 665.

Dokończenie na str. III

СОДЕРЖАНИЕ

Сковроньский Е. И. Проблемы электротехнических материалов в Польше. 545.

I. ПРОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Войнаровский Зб. Конструкционные металлы. 550.

Мисёлэк Зб. Материалы для проводов и сопротивлений. 555.

Семкович А. Материалы большого сопротивления для нагревательных элементов. 561.

Милковская М. Контактные металлы и микрофонные порошки. 567.

Фрыч Ф. Щетки для электрических машин. 572.

Брыяк Э. Производственные возможности и планы отечественной порошковой металлургии. 574.

Цеслик И. Возможности местного производства проволоки для термопар. 575.

II. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Маркушевич М. Электротехническая листовая сталь. 577.

Козловский Л. Постоянные магниты. 586.

Рутковский В. Современные порошковы е магнитные материалы в промышленности сильных и слабых токов. 597.

Фониок Ф., Руш И. Пермаллои — их технология и применение. 603.

Матхайзель З. Немагнитные сплавы. 607.

Козловский Л., Зёловский З., Разумовский Б. Производство, строение и магнитные свойства феррита бария. 610.

III. НЕФТЯНЫЕ ПРОДУКТЫ И ИМ ПОДОБНЫЕ

Дрысь Б., Ситиньский Зб. Изолирующие масла и воски. 615.

Степек З. Битумы. 620.

Степек З. Турбинные масла, смазочные материалы и другие нефтяные продукты. 622.

IV. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

Сулима Т. Пластмассы. 629.

Зелиньский В. Эластомеры применяемые в кабельной промышленности. 632.

Бурштын И. Аминопласты. 636.

Смык В. Изолирующие лаки. 639.

Херц З., Ежикевич А. Эпоксидные смолы в электротехнике. 641.

Добрачиньский А. Критический анализ технологии изготовления пластмасс на основании опыта. 644.

Сулима Т., Суперат Р., Исследование стойкости изолирующих материалов против ползучих токов. 647.

V. ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Леськов С. Волокнистые вещества в электротехнике. 651.

Леськов С. Стекляное волокно. 653.

Завадский А. Возможность производства стекляного шелка в Польше. 658.

Бук И. Бумага и прессшпан. 660.

Винчакевич А. Прогресс в производстве электротехнической бумаги. 665.

Окончание на стр. III

CONTENTS

Skowroński J. I. Problems of Electrical Materials in Poland. 545.

I. CONDUCTING MATERIALS

Woynarowski Zb. Constructional Metals. 550.

Misiołek Zb. Conductor and Resistance Materials. 555.

Semkowicz A. Resistance Materials for Heating Elements. 561.

Miłkowska M. Contact Metals and Microphone Powders. 567.

Frycz F. Brushes for Electrical Machines. 572.

Bryjak E. Production Possibilities and Plans of Polish Powder Metallurgy. 574.

Cieślik J. Prospects of Home Production of Wire for Thermo-couples. 575.

II. MAGNETIC MATERIALS

Markuszewicz M. Electrical Sheets. 577.

Kozłowski L. Permanent Magnets: 586.

Rutkowski M. Modern Magnetic Powder Materials in Electrical Power and Communication Engineering. 597.

Foniok F., Rusz J. Permalloys — Their Technology and Application. 603.

Matheisel Zb. Non-magnetic Alloys. 607.

Kozłowski L., Ziołowski Z., Razumowski B. Barium Ferrite Technology, Structure and Magnetic Properties. 610.

III. PETROLEUM PRODUCTS AND ASSOCIATED

Dryś B., Siciński Zb. Insulating Oils and Waxes. 615.

Stepek Z. Bitumens. 620.

Stepek Z. Turbine Oils, Greases and Other Petroleum Products. 622.

IV. MOULDED MATERIALS

Sulima T. Thermosetting Plastics. 629.

Zieliński W. Elastomers Used in the Cable Industry. 632.

Bursztyn I. Aminoplastics. 636.

Smyk W. Insulating Varnishes. 639.

Hertz Z., Jerzykiewicz A. Epoxy Resins in Electrical Engineering. 641.

Dobraczyński A. Critical Analysis of the Technological Process of Moulding Based on Experience. 644.

Sulima T., Superat R. Testing the Resistance of Insulating Materials to Leakage Currents. 647.

V. FIBROUS MATERIALS

Leśkow St. Fibrous Materials in Electrical Engineering. 651.

Leśkow St. Glass Fibre. 653.

Zawadzki A. Possibility of Glass Silk Production in Poland. 658.

Buck J. Paper and Presspahn. 660.

Winczakiewicz A. Advances in Electrical Insulating Paper Production. 665.

Concluded on page III

Redaktor naczelny inż. Tadeusz Czaplicki, — Wydawca: Naczelna Organizacja Techniczna. — Adres Redakcji i Administracji Warszawa, Czackiego 3/5, tel. 674-61, wewn. 18.

Nakład 7.850. Ark. druk. 6. Papier ilustr. kl. V, 70 g, 86×122/16. Oddano do składania 26.VIII.55. Podpis. do druku 10.XI.55. Druk ukończono 26.XI.55. Drukarnia im. Rewolucji Październikowej, Warszawa. Zam. 1116c/55. B-6-1339

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN
MINISTERSTWA ENERGETYKI, MINISTERSTWA PRZEMYSŁU MASZYNOWEGO,
STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Redaktor naczelny inż. Tadeusz Czaplicki. — Redaktorzy działowi inżynierowie: Stanisław Andrzejewski, Janusz Gniewiewski, Leszek Zienkowski, Tadeusz Żarnecki

Rok XXXI | Warszawa, 21 listopada 1955 r. | Zeszyt 10/11

Konferencja Materiałoznawczo-Surowcowa w zakresie elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk

Wrocław, 13 — 14 — 15 grudnia 1955 r.

Biblioteka Politechniki Wrocławskiej

PROF. DR J. I. SKOWROŃSKI
członk. koresp. P. A. N.

Problematyka materiałów elektrycznych w Polsce

Pierwsza Konferencja Materiałoznawstwa Elektrycznego odbyła się w początku drugiego roku planu 6-letniego (3 — 5 kwietnia 1951 r.).

Stoimy teraz u progu nowego planu — planu 5-letniego — i obecna Konferencja Materiałoznawczo-Surowcowa w zakresie elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk ma podsumować osiągnięcia w tej dziedzinie z okresu ubiegłego oraz wytknąć kierunki prac naukowych na przyszłość.

Mając na widoku służbę gospodarce ludowej, musimy utrzymać łączność z przemysłem i przewidywać trudności techniczno-naukowe, które na drodze jego rozwoju wynikną, aby w miarę swych sił pomagać je usuwać. Musimy dlatego niejednokrotnie wnikać drobiazgowo w zagadnienia surowcowe, materiałoznawcze, technologiczne i ekonomiczne nie zrażając się pozornym brakiem cech czystej nauki w niektórych problemach. Ich doniosłość dla gospodarki narodowej i budowy socjalizmu powinna decydować, czy należy się nimi zajmować w nauce, nie ma bowiem spraw lub problemów naukowych samych w sobie; można tylko mniej lub więcej udolnie stosować metody naukowe do zagadnień, które nas interesują albo które stawia przed nami życie.

Przeglądając zagadnienia poruszone na pierwszej Konferencji Materiałoznawstwa w 1951 r. widzimy, że w niektórych działach stoimy niemal na tym samym miejscu, co przed pięciu laty. Tak np. sprawa otrzymywania blach magnetycznych o niskiej stratności od tego czasu nie posunęła się naprzód, włókno szklane nie wychodzi ze skali doświadczalnej; w stosunku do przemysłu chemicznego mamy te same, co przed pięciu laty, niespełnione życzenia: oleje niepalne, żywice twardniejące bez rozpuszczalnika, żywice sylikonowe, polietylenowe i inne.

Wśród wielu osiągnięć ubiegłych lat w dziedzinie surowców elektrotechnicznych na pierwsze miejsce wysuwa się uruchomienie produkcji podstawowych materiałów przewodowych — miedzi i aluminium.

Produkcja miedzi, oparta na rudach z zagłębia grodzieckiego, nie jest jeszcze wystarczająca i miedź będzie w dalszym ciągu należeć do materiałów deficytowych, jeżeli nie będzie nowych odkryć geologicznych. Natomiast uruchomienie huty aluminium czyni z tego metalu surowiec rodzimy, chociaż bowiem dotychczasowa produkcja oparta jest na boksytach importowanych, można mieć nadzieję, że prace nad uszlachetnieniem boksytu krajowego dadzą wyniki pozytywne. Nie wykluczone jest również odkrycie nowych źródeł tego surowca.

Poważne znaczenie mają również osiągnięcia w dziedzinie materiałów izolacyjnych, jak podniesienie jakości produkcji papierów izolacyjnych kondensatorowych i kablowych, preszpanów, tłoczyw termoutwardzalnych i termoplastycznych, ceramiki wysokonapięciowej do poziomu, umożliwiającego eksport do krajów demokracji ludowej i państw kapitalistycznych, jak opracowanie radioceramiki i inne.

Przemysł elektrotechniczny w wyniku postępu dokonanego w okresie planu 6-letniego osiąga w niektórych dziedzinach poziom i rozmiary produkcji, umożliwiające nie tylko zaspokojenie potrzeb krajowych, prawie całkowite wyeliminowanie importu — z wyjątkiem aparatów i maszyn o najwyższych parametrach i gabarytach, ale nawet pozwalające na konkurowanie na niektórych rynkach zagranicznych.

Jednak prace nad rozbudową i unowocześnieniem przemysłu elektrotechnicznego w okresie planu 6-letniego bynajmniej nie zakończyły wyścigu z techniką innych krajów; przeciwnie, przemysł zagraniczny w wielu dziedzinach dokonał nowych osiągnięć, ulepszeń konstrukcyjnych, wprowadził nowe materiały, doskonalsze procesy technologiczne — u nas jeszcze nie stosowane.

Praca dokonana w okresie planu 6-letniego stworzyła podstawy do unowocześnienia naszego przemysłu, ale właściwy proces modernizacji musi być dokonany w nadchodzącym pięcioleciu. I to jest podstawowy problem stojący przed kierowniczymi władzami przemysłu.

Proces ten powinien się odbywać przy wyzyskaniu ostatnich osiągnięć nauki światowej, powinien być poparty pomocą całego zespołu polskich pracowników naukowych. Plany prac placówek naukowych powinny też przewidywać przyszłe potrzeby przemysłu, które muszą wystąpić w miarę jego rozwoju. Zostało to też w miarę możności uwzględnione w wytycznych do planu prac szczególnie ważnych PAN.

Wprowadzenie postępu technicznego napotyka wielkie trudności w przemyśle nawet poza stroną ekonomiczną — inwestycji i techniczną — dokumentacji. Są nimi braki w kwalifikowanych kadrach technicznych oraz trudności wdrożenia postępu technicznego, wynikające z chwilowego zakłócenia w planach produkcyjnych i finansowych przedsiębiorstwa, przy próbach przestawienia się na nowe metody technologiczne lub nowe surowce.

Niedobory kadrowe powodują m. inn. niepokojący objaw obniżania się dyscypliny technologicznej, co pociąga za sobą wzrost ilości braków i ogólne obniżanie się jakości. Zjawisko to sygnalizowane z wielu stron, a więc nie będące objawem przypadkowym, musimy jak najostrzej zwalczać, ujawniając i usuwając wszystkie jego źródła niezmiernie groźne dla własnej gospodarki, nie mówiąc już o eksporcie.

Trudności wdrożenia postępu technicznego są przyczyną oporów na różnych szczeblach kierownictwa przemysłu — od brygadzisty do dyrektora centralnego zarządu — przeciwko wszelkim próbom zmiany w przyjętym procesie produkcyjnym.

Powyższy stan rzeczy powoduje, że opracowane w instytutach nowe materiały i metody nie znajdują zastosowania w przemyśle lub są wdrażane z wielką trudnością albo też po wdrożeniu są zaniedbywane. Przykłady: metoda regeneracji obiegowej olejów transformatorowych opracowana na skalę techniczną nie jest stosowana; produkcja olejów niepalnych do transformatorów górniczych nie jest wdrożona; powolnie wprowadza się tiokol na powłoki kablowe; istnieją trudności produkcyjne z przewodami bimetalowymi, z tłoczywami termoutwardzalnymi i laminatami itd.

Należy poważnie zastanowić się nad usunięciem tego rodzaju trudności. Inaczej współpraca nauki z techniką będzie mało wydajna, a czasem nawet jałowa.

Plan 5-letni przewiduje w myśl zamierzeń Partii i Rządu dalszy wzrost sił wytwórczych kraju i dobrobytu mas pracujących. Musi to być związane z wydatnym wzrostem wytwórczości energii elektrycznej, która w roku 1960 wyniesie około 1100 kWh na mieszkańca wobec ok. 670 kWh w roku 1955 i 114 kWh w r. 1938.

Pociąga to za sobą odpowiedni wzrost produkcji sprzętu elektrotechnicznego przy jednoczesnym podniesieniu parametrów produkowanych maszyn i aparatów i koniecznym unowocześnieniu procesów produkcyjnych. Uruchomiona będzie produkcja nowych artykułów przedtem u nas nie produkowanych, jak turbogeneratory o mocy 30 i 50 MW z chłodzeniem wodorowym, lokomotywy, maszyny wyciągowe, transformatory 110-kilowoltowe powyżej 60 MVA, wyłączniki małoolejowe na 110 kV, kable na 110 kV, sprzęt elektrotechniczny specjalny: okrętowy, górniczy, samochodowy, lotniczy oraz rozmaity sprzęt dla elektrotechniki bytowej.

Zwiększenie zakresu usług w dziedzinie łączności związane będzie ze znacznym wzrostem produkcji sprzętu tele- i radiotechnicznego — około pięciokrotnego wzrostu w r. 1960 w stosunku do 1955 r., tj. około 40-krotnego w stosunku do r. 1938 pod względem wartości.

Znaczny wzrost produkcji — pod względem ilości i zakresu asortymentu — przemysł zamierza uzyskać przez podniesienie poziomu technicznego zakładów, wyzyskanie rezerw produkcyjnych, skracanie cyklu produkcyjnego, podniesienie dyscypliny technologicznej, przewiduje się bowiem budowę tylko czterech nowych fabryk — materiałów izolacyjnych, transformatorów, ceramiki elektrotechnicznej i aparatury trakcyjnej — oraz rozbudowę i unowocześnienie istniejących.

Przy realizacji tych ambitnych planów musi przyjść z pomocą przemysłowi świat naukowy. Będą do pokonania ogromne trudności, powstaną dziesiątki, jeżeli nie setki problemów, wymagających rozwiązania zawczasu, nim nie będą popełnione błędy kosztowne w następstwach i trudne do naprawienia.

Można zaproponować szereg wytycznych (całkiem ogólnikowych) do tej współpracy.

1) Dużo jest do zrobienia w zakresie oszczędności materiałów, zwłaszcza materiałów importowanych lub deficytowych, których przyrost spożycia jest większy niż przyrost produkcji. Są tu możliwe dwie drogi: obniżanie wymiarów przez podniesienie jakości i obciążalności lub stosowanie materiałów zastępczych. I jedna i druga droga są trudne i, jak wiemy z dotychczasowego doświadczenia, nie mogą być stosowane pośpiesznie.

2) Powiększenie trwałości urządzeń może dać znaczne oszczędności eksploatacyjne nie koniecznie drogą podwyższenia kosztów produkcyjnych; zagadnienie to jest ważne w każdej dziedzinie materiałowej.

3) Skrócenie cyklu produkcyjnego — zwłaszcza procesów, które pochłaniają dużo czasu, jak obróbka skrawaniem i obróbka plastyczna metali, utwardzanie żywic syntetycznych i tłoczyw, suszenie i nasycanie izolacji, wulkanizacja gumy, wypalanie ceramiki; niewątpliwie istnieją w tych i innych procesach produkcyjnych duże możliwości warte opracowania naukowego.

4) Wprowadzenie nowych materiałów, zwłaszcza opartych na surowcach krajowych. W tej dziedzinie popełnia się jeszcze dużo błędów i dużo jest do zrobienia, np. import surowców ceramicznych pomimo posiadania krajowych.

5) Opracowanie metod badania, pozwalających w szybki i dostatecznie dokładny dla celów praktycznych sposób określać jakość materiału lub jego przydatność do określonego zastosowania.

6) Normalizacja produkcji; normalizacja surowców i półfabrykatów; standaryzacja wyrobu, zmniejszenie odchyłek od przeciętnych własności przy różnych partiach wyrobu; normalizacja procesów produkcyjnych, form prasowniczych i odlewniczych itd.

* * *

Musimy pogodzić się z tym, że Polska jest bardzo ubogim krajem pod względem surowców zwłaszcza w dziedzinie pierwiastków metalicznych. Nawet metale, których pewne zasoby posiadamy, wydobywamy w ilościach nie wystarczających. W miarę wzrostu zapotrzebowania przy dalszym rozwoju przemysłu deficyt będzie wzrastać, jeżeli nie będą odkryte nowe źródła lub nie będą wprowadzone konsekwetne i radykalne metody stosowania materiałów zastępczych, opartych na surowcach krajowych.

Mechaniczne, nie poparte studiami, stosowanie oszczędności materiałów uznanych za deficytowe jest błędne i w wyniku ostatecznym może przysparzać gospodarce strat, zamiast korzyści. Przykładów można by podać dużo w każdym dziale, np. nie wydaje się zawsze uzasadnione forsowanie stosowania tłoczyw fenolowych, jako materiału zastępczego, ze względu na deficytowość fenolu; zastępowanie miedzi, jako materiału przewodowego, innymi metalami pociąga za sobą wzrost zużycia innych materiałów, nieraz również deficytowych oraz wzrost strat energii. Przy planowaniu oszczędności materiałowych w gospodarce uspołecznionej nie wolno uwzględniać tylko oszczędności zakładu wytwórczego, ale również konsekwencje ekonomiczne i techniczne, które z wprowadzeniem oszczędności (np. przez zastosowanie innego surowca) wynikną dla całości gospodarki narodowej. Ten moment jest jednak zazwyczaj pomijany i koszty eksploatacji, renowacji i uszkodzeń, spowodowane nieudolnym namiastkowaniem, przewyższają często oszczędności uzyskane na materiale deficytowym.

Planowanie i wprowadzanie oszczędności materiałów deficytowych, namiastkowanie, zastosowanie nowych surowców — są to zagadnienia skomplikowane, powinno więc być oparte na studiach naukowych przy udziale fachowców z różnych dziedzin. Często przekraczają one możliwości kadr technicznych samego zakładu wytwórczego i muszą być prowadzone przy współpracy placówek naukowych.

Wytknięcie ogólnych kierunków dla prac badawczych w tych dziedzinach, ustalenie najpilniejszych potrzeb gospodarki i ujawnienie możliwości i perspektyw, które w tej dziedzinie otwierają się dla kraju, należą do najważniejszych naszych zadań i muszą być poddane szczegółowemu przedyskutowaniu.

Aczkolwiek rzeczywiście jesteśmy niezasobni w surowce pierwiastkowe *) jednak niewątpliwie ziemie nasze kryją jeszcze wielkie i nie zbadane dotychczas bogactwa. Świadczą o tym ostatnie odkrycia złóż siarki, odkrycie złóż rud żelaznych darniowych w województwie warszawskim, bydgoskim, wrocławskim oraz bogatszych rud syderytowych w okolicach Łęczycy. Odkryto możliwości istnienia pewnych ilości miedzi (poza eksploatowanymi złożami niecki grodzieckiej) oraz innych cennych, a nie posiadanych przez nas metali, jak beryl, cyna, lit, nikiel, mangan, german, wanad. Posiadamy złoża rud wierające kwarc krystaliczny — może powiedzie się stosowanie go do celów pomiarowych i piezoelektrycznych. Zagadnienie krajowych boksytów, jako podstawowego surowca do otrzymywania aluminium, prawdopodobnie również będzie rozwiązane. Powinno być też rozwiązane zagadnienie krajowych surowców do produkcji ceramiki szlachetnej — wysokonapięciowej i radiotechnicznej, opartej dotychczas na surowcach importowanych.

Zagadnienia tego rodzaju należą do zakresu geologii i placówek naukowych geologicznych oczekujemy odpowiedzi. Do nas należy wskazanie potrzeb, podkreślenie ważności, ocena przydatności i opłacalności. Badania te muszą być prowadzone przy ścisłej współpracy zainteresowanych gałęzi wiedzy i techniki. Niestety, należy stwierdzić, że współpraca tej na terenie naukowym bądź brak, bądź nie jest ona dotychczas należycie skoordynowana.

Oczywiście, zagadnienie surowców dla elektrotechniki nie kończy się na posiadaniu surowców pierwotnych i pierwiastkowych, raczej od tego dopiero się zaczyna. Produkowanie materiałów o odpowiednich własnościach jest zadaniem przemysłów technologicznych — metalurgicznego, hutniczego, włókienniczego, papierniczego.

*) Por. Tablicę pierwiastków na str. 760.

Trudna sytuacja przemysłu elektrotechnicznego polega właśnie na zależności od tych przemysłów pomocniczych, dla których produkcja na potrzeby elektrotechniki jest pod względem rozmiarów bardzo mała w stosunku do produkcji globalnej, a wymagania są niewspółmiernie wysokie, jak to jest np. z ceramiką elektrotechniczną w stosunku do całej produkcji ceramicznej lub z blachami magnetycznymi w stosunku do globalnej produkcji stali.

Przed ułożeniem planu studiów nad surowcami krajowymi dla elektrotechniki należy wykonać prace wstępne o charakterze inwentaryzacyjnym.

Pierwszą sprawą jest, oczywiście, ustalenie zapotrzebowania. Nie wystarczy tu jednak proste obliczenie ilościowe w perspektywie przyszłego rozwoju i jakościowe tj. z podaniem wymaganych własności, elektrotechnika bowiem korzysta z ogromnej rozmaitości surowców. Niemal wszystkie pierwiastki, niemal wszystkie tworzywa znajdują jakieś zastosowanie w elektrotechnice. Chodzi tu przede wszystkim o rozróżnienie niezbędnych, niezastąpionych od tylko zaleconych lub pożądanych, rozróżnienie materiałów podstawowych oraz potrzebnych w dużych ilościach od pomocniczych. Mogą tu być, oczywiście, rozmaite przypadki, mogą być rozmaite stopnie hierarchii ważności materiałów. Znając nasze możliwości surowcowe w obecnej chwili i w przyszłości, możemy określić z pewnym przybliżeniem stopień deficytowości materiału. Oczywiście, nie jest to możliwe bez uwzględnienia spożycia przez inne gałęzie techniki, jednak chodzi nam raczej o kierunek zmian, a nie o wartość bezwzględną.

Niewątpliwie mało mamy materiałów w nadmiarze. Dużo już możemy wytwarzać, ale jeszcze nie wszystko. Istnieją braki, które należy tą drogą ujawnić. I teraz powstaje pytanie: czy mamy koniecznie domagać się od przemysłów pomocniczych wytwarzania w kraju tych materiałów? Czy mamy liczyć się stale z importem tych materiałów?

Nie można dać na to odpowiedzi ogólnej, bo w każdym wypadku wybór zależy od wielu czynników ekonomicznych, technicznych i geopolitycznych. W wielu przypadkach dyskusja może już ustalić pewne przesłanki do decyzji.
Mogą tu więc być różne możliwości.

P r z y p a d e k 1. Materiał jest koniecznie potrzebny w ilościach uzasadniających produkcję. Import jest niemożliwy lub niepożądany, surowce pierwotne są. Wniosek: inwestycje są konieczne do uruchomienia produkcji krajowej. Do takich materiałów np. należą niewątpliwie blachy magnetyczne o niskiej stratności, włókno szklane, lakiery termoodporne, papiery izolacyjne.

W takich niewątpliwych przypadkach, jak blachy magnetyczne wysokiej jakości, należy kategorycznie i bezwzględnie walczyć o uruchomienie produkcji na najwyższym poziomie technicznym, odpowiadającym dzisiejszemu a nie wczorajszemu stanowi nauki światowej. Musi to być dokonane kosztem niewątpliwie znacznych nakładów inwestycyjnych, ale nieodzownych dla naszego przemysłu maszyn i transformatorów, jeżeli nie ma się on wlec w ogonie techniki światowej. A czas już i stać nas na to, aby zerwać z wieloletnim zacofaniem i produkować materiały o najwyższej jakości, najwyższej na skalę światową. Tym, którzy obawiają się rzekomej nierentowności takich inwestycji, należy zwrócić uwagę, że materiał wysokiej jakości znajdzie nabywców na całym świecie. Czyż nie lepiej eksportować transformatory, maszyny i blachę transformatorową niż węgiel i walcówkę, albo kondensatory, kable i papiery izolacyjne niż drewno? A wreszcie nawet jeżeli obawiamy się, że urządzenia produkcyjne nie będą należycie wykorzystane, bo w parę miesięcy pokryją zapotrzebowanie, to niech lepiej na tych urządzeniach pozostałą część roku idzie produkcja uboczna, a nie — jak dotychczas — produkcja dla elektrotechniki jest produkcją uboczną.

Wyrażamy przy tym przekonanie, że produkcja taka o dużym znaczeniu dla elektrotechniki powinna być pod kontrolą techniczną i naukową czynników związanych z przemysłem zainteresowanym, jeżeli nawet nie w gestii przemysłu elektrotechnicznego. Pozostawienie np. przemysłu elektroceramiki w ramach innego przemysłu — materiałów budowlanych — nie dało dobrych wyników i słuszna była decyzja przeniesienia fabryk porcelany elektrotechnicznej do przemysłu elektrycznego. To samo można powiedzieć o niektórych innych materiałach.

P r z y p a d e k 2. Materiał jest potrzebny, jak w przypadku 1, ale w ilościach niewielkich. Należy rozważyć możliwości produkcji na skalę półtechniczną. Przykład: produkcja radioceramiki w zakładach im. Kasprzaka. Inne przykłady możliwości: mikaleks, oleje syntetyczne do kondensatorów (chlorowany dwufenyl), które mogłyby być wykonywane w małych zakładach nawet o charakterze spółdzielni przemysłowych; albo produkcja stopów specjalnych — stykowych, magnetycznych, oporowych — w dostosowanym do małej produkcji zakładzie metalurgicznym, w tzw. „mikrohucie".

P r z y p a d e k 3. Istnieją możliwości teoretyczne zastąpienia surowca importowanego lub deficytowego surowcem krajowym po wykonaniu jednak odpowiednich studiów i przestawieniu produkcji. Przykład: aluminium zamiast miedzi, jako materiał przewodowy w maszynach i aparatach, zastosowanie tworzyw sztucznych w kablownictwie, zastąpienie kaolinu importowanego glinami krajowymi w ceramice, a porcelany kamionką i szkłem w produkcji izolatorów.

P r z y p a d e k 4. Surowca nie posiadamy, produkcja krajowa materiału jest niemożliwa lub nieopłacalna, import utrudniony. Niezbędne staje się poszukiwanie materiału zastępczego lub rozwiązania, unikającego stosowania materiału deficytowego (cyna w spoiwach i do powlekania przewodów, stopy niklowe, mika, żywice polifluoroetylenowe).

P r z y p a d e k 5. Jeżeli materiał jest nieodzownie potrzebny dla postępu technicznego, potrzebne ilości nie są tak duże, aby uzasadniały produkcję krajową, a import jest możliwy i zapewniony, wtedy należy zdecydować się na import, prowadząc równolegle badania możliwości innych rozwiązań. Przykład: żywice, smary, tworzywa sylikonowe, żywice lane epoksydowe, tworzywa polietylenowe.

W związku z koniecznością importu surowców i materiałów niezbędnych dla przemysłu należy tu poruszyć sprawę, która urasta do ważnego problemu w skali państwowej. Chodzi tu mianowicie o należyty odbiór i kontrolę jakości importowanych materiałów. Niestety, trzeba stwierdzić, że nasz aparat handlu zagranicznego rzadko w tym przypadku stoi na wysokości zadania i zbyt często zdarza się, że otrzymujemy materiały bez odbioru technicznego, nieodpowiadające normom, a nawet zabrakowane na innym rynku zagranicznym.

Ale i na tym nie koniec. Nie wystarczy w gospodarce planowej jedynie poszukiwać materiałów uznanych za potrzebne; trzeba również znaleźć zastosowanie dla surowców, które mamy w obfitości, i tym sposobem zmniejszyć spożycie materiałów bardziej deficytowych.

Musimy więc postawić przed sobą takie zagadnienia: jakimi tworzywami będziemy w przyszłości dysponować z korzyścią dla gospodarki narodowej, których tworzyw stosowanie jest bardziej słuszne, a których tworzyw należy raczej unikać. Do zalecanych materiałów należały dotychczas stopy cynkowo-aluminiowe, tiokol, chlorowane naftaleny; niewątpliwie zaliczyć też do nich trzeba będzie żywice mocznikowe, a raczej oszczędzać żywic fenolowych ze względu na deficytowość fenolu; czasem nawet produkty odpadkowe mogą znaleźć cenne zastosowanie, np. niewątpliwie można otrzymać dobrą izolację poliamidową drutów nawojowych z odpadków przy produkcji włókna steelonowego itd.

Oczekujemy w tej sprawie wypowiedzi przedstawicieli wszystkich nauk zainteresowanych — geologii, hutnictwa i metalurgii, technologii chemicznej organicznej i nieorganicznej, chemii tworzyw sztucznych, ceramiki i szklarstwa, technologii włókien sztucznych i syntetycznych, papiernictwa i włókiennictwa.

Tą drogą można dojść do zestawienia problemów wymagających naukowego opracowania i postarać się o zainteresowanie nimi odpowiednich placówek naukowych.

Łącząc wysiłki różnych kierunków badań naukowych będziemy mogli dojść do najbardziej celowego wyzyskania swych źródeł surowcowych, obniżenia kosztów materiałowych, wzrostu produkcji przemysłowej w planie 5-letnim.

* * *

Materiałoznawstwo nie jest tylko zbiorem informacji o właściwościach technologicznych tworzyw. Musi ono sięgać do istoty zjawisk i praw fizycznych, aby móc przewidywać własności materiałów wytwarzanych i móc na nie wpływać w pożądanym kierunku. Materiałoznawstwo tak pojęte staje się wiedzą wielostronną zespalającą fizykę, chemię i technologię w różnych odmianach. Oto dlaczego żywo nas interesują wszystkie badania związane z budową materii, prowadzone przez fizyków i chemików na terenie Wydziału III PAN, jak

np. badania ferroelektryków i ferromagnetyków w Instytucie Fizyki PAN, półprzewodników germanowych w Instytucie Chemii Fizycznej PAN. Jednak badania z zakresu budowy i własności ciał w zakładach fizycznych uniwersyteckich nie zawsze nam odpowiadają, ponieważ my, technicy, nieraz potrzebujemy odpowiedzi na wynikłe z potrzeb życiowych zagadnienia prędzej, niż to może dać teoria, a ponadto w formie rozwiązania konkretnego. Dążąc do współpracy z naukami ścisłymi nie ukrywamy, że pragnęlibyśmy narzucać im problematykę nas interesującą.

* * *

Przy planowaniu Konferencji Materiałoznawczo-Surowcowej należało zdecydować kierunek, formę i charakter referatów.

Prace materiałoznawcze i surowcowe w skali światowej obejmują olbrzymi zakres zagadnień z wielu dyscyplin i niemożliwe było by przedyskutowanie ich w należytym zakresie w ciągu jednej konferencji. Ograniczenie się natomiast do dyskutowania tylko prac krajowych, wyników oryginalnych badań, zbyt zwęziłoby tematykę, ponieważ nasz dorobek w tej dziedzinie — względnie młodej w Polsce — jest w stosunku do potrzeb za mały.

Prace instytutów mają charakter przeważnie prac użytkowych, na potrzeby bieżące, dla poprawy jakości produkcji przemysłowej. Zdarzają się również prace technologiczne lub prace metodologiczne, ale w znacznej części są to prace odtwórcze, mające na celu przyswojenie zdobyczy obcych; mało stosunkowo jest tu prac twórczych, oryginalnych.

Musimy w przyszłości stan ten zupełnie zmienić. Korzystając z dorobku nauki światowej powinniśmy stworzyć własny — wielki i konsekwentny — plan prac naukowych i badawczo-technologicznych, obejmujących wszystkie działy surowców i materiałów w zakresie elektrotechniki.

I tego rodzaju problematykę uznano właśnie za celowe postawić przed Konferencją PAN. Ma ona dokonać przeglądu i krytyki własnego dorobku naukowego na tle osiągnięć światowych, ma dać przegląd zagadnień naukowych, ważnych dla gospodarki narodowej, ujawnić braki i potrzeby przemysłu w perspektywie najbliższych lat i jego dalszych możliwości rozwojowych, ma ułatwić współpracę i koordynację badań różnych ośrodków i instytucji naukowych.

W tym kierunku zostały przez Komitet Organizacyjny nastawione prace sekcji i w tym duchu zostały opracowane wytyczne do referatów zjazdowych. Położono nacisk, aby tematyka poruszana objęła całokształt zagadnień interesujących nas, a dyskusja nie rozbiła się na omawianie fragmentów, przyczynków lub tematów peryferyjnych.

Być może nie wszystkie referaty odpowiadają wymaganiom, które sobie postawiliśmy. Zadaniem dyskusji będzie uzupełnienie braków, sprostowanie błędów i nadanie właściwego pionu tematyce badań naukowych na lata nadchodzące.

Wśród problemów materiałoznawczych istnieją niektóre zasadnicze, dotyczące niemal wszystkich dziedzin z uwzględnieniem szczególnych własności materiału. Do takich problemów należy starzenie się materiału lub wyrobu, sposoby walki z nim i przyspieszone metody badania. Oczywiście, inaczej ten problem przedstawia się w przypadku izolatora ceramicznego, inaczej dla kabla, inaczej dla materiału magnetycznego. Ale istnieje i jest ważny wszędzie i ze względu na doniosłość gospodarczą warto mu poświęcić jak największy wysiłek w pracowni naukowej.

Inną ogólną potrzebą, wymagającą współpracy naukowca i technika są metody badania własności surowców i materiałów, normalizacja tych metod w celu jednoznacznej oceny jakości i zgodnej interpretacji wyników badania. Zagadnienia właściwego postawienia kontroli produkcji dla podniesienia i utrzymania dyscypliny technologicznej mogą być również przedmiotem współpracy nauki i techniki.

Szerokie pole do współpracy z przemysłem powstaje w związku z udostępnieniem nauce polskiej przez naukę radziecką osiągnięć z dziedziny fizyki jądrowej i dostarczaniem izotopów promieniotwórczych. Jak wiemy, izotopy promieniotwórcze znajdują już zastosowane na skalę techniczną w przemyśle do najrozmaitszych celów — do pomiarów grubości lub innych parametrów przy produkcji ciągłej, do defektoskopii, do sygnalizowania stanów krytycznych urządzeń w ruchu, jako czynniki aktywne w procesach fizyko-chemicznych; sygnalizowane są coraz to nowe możliwości ich zastosowań.

Mamy nadzieję, że ta dziedzina przyniesie również wyniki ważne i dla naszych zakładów przemysłowych.

* * *

Na podstawie przygotowawczych prac sekcyjnych do Konferencji, problematyka szczegółowa obejmuje w skrócie następujące ważniejsze zagadnienia.

Materiały przewodzące i metale konstrukcyjne. Należy przestudiować możliwość rozszerzenia stosowania aluminium w maszynach, transformatorach i przyrządach w celu dalszej oszczędności miedzi, należy opracować stopy lekkie przewodowe na przewody napowietrzne, bimetale przewodowe i konstrukcyjne, należy uzyskać nowe rozwiązania i udoskonalenie istniejących. Należy zwrócić szczególną uwagę na drogi wiodące do zmniejszenia wagi i obniżenia kosztów aparatów i maszyn, bez obniżenia ich jakości, przez stosowanie lepszych materiałów i nowych procesów technologicznych, aby tą drogą również rozszerzyć możliwości eksportowe. Tak więc ważne są nie dalsze badania nad możliwością stosowania nowych oszczędnościowych lub wysokowartościowych stopów konstrukcyjnych i przewodowych, jak żeliwa modyfikowane i sferoidalne, stopy lekkie na kadłuby maszyn, stopy odporne na korozję do aparatury morskiej i tropikalnej, brązy specjalne — tellurowy i berylowy, brązale.

Należy wyzyskać postęp w technologii masowej produkcji jak odlewanie pod ciśnieniem, odlewanie skorupkowe itd. W zakresie walki z korozją — zwłaszcza w sprzęcie przeznaczonym do urządzeń okrętowych i na eksport do krajów tropikalnych — należy zbadać możliwości ochrony przez powłoki elektrochemiczne, jak eleksowanie, fosforanowanie. W ogóle zagadnienie walki z korozją metali w najrozmaitszych warunkach ruchowych wymaga jeszcze właściwego postawienia.

Ciekawe byłoby wyjaśnienie, czy jesteśmy w stanie rozpocząć badania nad otrzymywaniem i zastosowaniem tytanu który można nazwać śmiało metalem przyszłości, czwartego co do zawartości skorupy ziemskiej po glinie, żelazie i magnezie, o wytrzymałości i odporności na korozję jak stal nierdzewna, o temperaturze topliwości platyny, oporności właściwej konstantanu i ciężarze właściwym prawie dwukrotnie mniejszym niż miedź.

Materiały stykowe i w ogóle styki elektryczne to cała kopalnia zagadnień naukowych, z których ani jedno nie zostało wyczerpane, a niektóre zaledwie zostały wysunięte. Dotyczy to całego zakresu problemu od styków teletechnicznych, stosowanych w przekaźnikach, łącznicach itp., do styków w wyłącznikach wielkiej mocy. Brak nam tu jeszcze zarówno dokładnego poznania zjawisk fizycznych występujących na powierzchni styków przy procesie łączenia, jak i wystarczającego materiału doświadczalnego do opanowania szkodliwych objawów erozyjnych i korozyjnych, występujących w tym procesie. Można przypuszczać, że pomocne okażą się tu izotopy promieniotwórcze, zwłaszcza kobalt 60, np. przy badaniu zjawiska przenoszenia metalu styków.

Zanim jednak teoria rozwiąże te zagadnienia — praktyka musi mieć materiały stykowe odpowiadające w mniejszym lub większym stopniu wymaganiom ruchu. I w tym kierunku — ściśle empirycznym — należy przede wszystkim dążyć opracowując materiały stykowe z surowców nam dostępnych.

Szczególnie ważne jest rozwijanie prac z ceramiki metalicznej na materiały stykowe dla energoelektryki i teleelektryki.

Np. nawet tak dawno znany i zdawało by się opanowany materiał, jak proszki mikrofonowe, może ulegać dalszym udoskonaleniom przez zastosowanie — zamiast kłopotliwych w produkcji i wrażliwych ziarnek węglowych — ziarn krzemionkowych grafitowanych.

Osobnym obszernym działem również stykowych materiałów są szczotki do maszyn elektrycznych i węgle elektrotechniczne. W dziale tym możemy zanotować duży postęp, jednak istnieją jeszcze przy produkcji zagadnienia wymagające badań naukowych, jak np. szczotki do maszyn lotniczych i specjalnych, oraz zagadnienia ulepszania surowców.

W dziale materiałów oporowych należałoby zastanowić się nad możliwością szerokiego stosowania oporów niemetalowych w przyrządach. Opracowane krajowe materiały oporowe na potrzeby elektrotermii i miernictwa mogą być jeszcze ulepszone, a asortyment ich powinien być rozszerzony, zwłaszcza na materiały do wyższych temperatur. Stopy oporowe na oporniki precyzyjne wymagają również dalszych studiów.

Wśród wielu trudności technologicznych przemysłu elektrotechnicznego, wymagających opracowania naukowego i najbardziej celowego rozwiązania dla różnych przypadków, jest problem — zdawałoby się nie ważny — sprężyn, a ściślej mówiąc sprężynek. Nieodpowiednie materiały, nieopanowany proces technologiczny, wadliwe konstrukcje i nieracjonalne metody produkcji powodują zawodność działania i nietrwałość przyrządów, aparatów, sprzętu instalacyjnego. Problem jest niewątpliwie ważny i niewątpliwie charakteru wielostronnego, wymagać będzie, być może, oddzielnego opracowania.

Wreszcie można wymienić spajanie i spawanie — oszczędne, niedeficytowe spoiwa i racjonalne metody spajania i zgrzewania metali, zwłaszcza aluminium, jako tematy wymagające dobrego opracowania.

M a t e r i a ł y m a g n e t y c z n e. Zjawiska magnetyczne w ciałach ferromagnetycznych przyciągają uwagę fizyków i są przedmiotem wielu badań z zakresu fizyki doświadczalnej. Również nie mało prac wykonuje się także u nas z zakresu metalurgii i metaloceramiki ferromagnetyków. Pomimo to w materiałach magnetycznych nie widzimy u siebie postępu od wielu lat i w przemyśle jest z tym źle, a nawet bardzo źle.

W dziale materiałów magnetycznych miękkich, a więc przede wszystkim blach magnetycznych o małej stratności i dużym współczynniku zapełnienia, problemy mają charakter raczej organizacyjny i inwestycyjny, nie naukowy, jak wspomniane już wyodrębnienie dla tych materiałów specjalnej walcowni i huty, nie mniej jednak zagadnienia te wymagałyby bliższego omówienia na obecnej konferencji.

Również w dziedzinie materiałów magnetycznych dla telekomunikacji zagadnienia inwestycji w przemyśle mogą poważnie zaważyć nad jakością otrzymywanych materiałów.

Badania technologiczne mogą natomiast dotyczyć możliwości ulepszania dostarczanych przez nasze hutnictwo materiałów drogą obróbki cieplnej oraz metod pomiarowych, np. metod badania i segregacji na całych arkuszach.

W dziale materiałów twardych mamy dużo do zrobienia w sprawie oszczędności składników deficytowych — niklu i kobaltu oraz w dziedzinie nowych materiałów o bardzo dużej koercji — na podstawie ferrytów baru i podobnych.

Zagadnienia wytwarzania specjalnych wartościowych stopów i spieków magnetycznych potrzebnych w niewielkich ilościach łączą się również z poruszoną sprawą specjalnej huty — „mikrohuty", tj. zakładu metalurgicznego doświadczalno-produkcyjnego, zdolnego do nastawienia się na niewielką pod względem rozmiarów, ale bardzo dokładną i czystą produkcję.

Sprawa ta niewątpliwie dotyczy również metali potrzebnych do produkcji lamp elektronowych, gdzie wymagania są szczególne i ścisłe, a zapotrzebowanie niezbyt duże.

M a t e r i a ł y i z o l a c y j n e. Zagadnienia fizyki i chemii dielektryków mają podstawowe znaczenie dla właściwego wyzyskania materiałów izolacyjnych w elektrotechnice. Łączność elektryki z naukami teoretycznymi i podstawowymi musi być w tym dziale większa niż w poprzednich. Dlatego dążymy do nawiązywania współpracy z fizykami i chemikami i musimy przyznać, że spotykamy się na ogół ze zrozumieniem. Dowodem tego są np. obrady i uchwały Konferencji na temat chemii polimerów w Łodzi (8—10.IV.1954), obrady Konferencji Fizyki Ciała Stałego w Warszawie (VI.1954). Należy tu również podkreślić inicjatywę w tym względzie Katedry Miernictwa Elektronowego Politechniki Wrocławskiej, która zorganizowała seminarium dielektryków, gdzie uczestniczą przedstawiciele fizyków, chemików i elektryków z ośrodków krakowskiego, poznańskiego i wrocławskiego. Dyskusja wyników prac, wymiana doświadczeń i uzgadnianie programów na tle wspólnych zainteresowań pomiędzy elektrykami, fizykami i chemikami — w dodatku w niezbyt licznym zespole — jest bardzo interesująca i może dać pożyteczne wyniki. Ze względu na wzrost zainteresowania i rozszerzania się zakresu prac prowadzenie całej akcji objęło obecnie Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, a w dalszej perspektywie może przejmie ją Polska Akademia Nauk.

Zagadnieniami dielektryków i badaniem własności dielektrycznych materiałów interesują się dziś nie tylko katedry i instytuty ściśle elektryczne. Należy zanotować pocieszający objaw, że instytuty chemiczne, a zwłaszcza technologiczne, oraz niektóre katedry organizują takie badania.

Większość badań z zakresu dielektryków, które obecnie są wykonywane w instytutach badawczych, dotyczy — poza omówionym na początku problemem starzenia — przede wszystkim wpływu parametrów technologicznych na własności dielektryczne i fizyczne tworzywa. Poza tym, oczywiście, większość wysiłków badawczych jest skierowana na podniesienie jakości materiałów i osiągnięcie pewności ich w pracy.

Tak więc w d z i a l e o l e j ó w i z o l a c y j n y c h zagadnienia dotyczą stabilizacji i konserwacji olejów, otrzymania wyższej jakości olejów kablowych i kondensatorowych wysokonapięciowych. Opracowane dawniej oleje syntetyczne niepalne nie znajdują wdrożenia ze względu na trudności organizacyjne w przemyśle chemicznym; problem bezwładności jest, jak wykazuje doświadczenie, niezwykle trudny do rozwiązania. Nie mniej jednak należy spodziewać się pokonania tych trudności i opracować konstrukcje kondensatorów i transformatorów przeznaczonych do olejów syntetycznych.

W d z i a l e m a t e r i a ł ó w w ł ó k n i s t y c h najważniejsze są produkty celulozy w postaci różnych typów papierów. Osiągnięcie ich najwyższej jakości — łącznie z najcieńszą bibułką kondensatorową — wymaga właściwie budowy osobnej celulozowni i osobnej papierni, ulokowanych w miejscowości wolnej praktycznie od pyłów przemysłowych i posiadającej obfitość czystej wody. Kwestia jest niewątpliwie niełatwa, ale warta szczegółowej dyskusji, ponieważ mamy zarówno zapotrzebowanie uzasadnione na materiał, jak i odpowiednie surowce.

Wielką doniosłość dla postępu technicznego w maszynach elektrycznych ma włókno szklane. Niestety, zagadnieniem produkcji tego materiału nie chciał się interesować przemysł elektrotechniczny i sprawa od czasu ubiegłej konferencji, tj. w ciągu pięciu lat, nie wyszła ze stadium doświadczeń, i — jak się zdaje — stan ten został uznany przez władze przemysłowe za naturalny i ostateczny; przemysł maszynowy ma opierać się na włóknie importowanym.

T w o r z y w a s z t u c z n e należą do liczebnie największej grupy. Byłoby niecelowe wyliczanie zastosowań produktów chemii polimerów w elektrotechnice, ponieważ prawie wszystkie znane materiały mogą znaleźć jakieś przeznaczenie. Jest niewątpliwą rzeczą, że rozwój tworzyw sztucznych otwiera nowe perspektywy w dziedzinie konstrukcji i technologii aparatów i maszyn, trudne nieraz do przewidzenia w początkowej fazie.

Elektrotechnika nie jest bynajmniej największym odbiorcą tworzyw sztucznych, ale jest odbiorcą najbardziej wymagającym: przy małym spożyciu wymaga wielu specjalnych własności i jednolitości produkcji. Stwarza to niewątpliwie wiele trudności we współpracy pomiędzy elektrykiem i chemikiem. Trzeba jednak przyznać, że sprawa nie jest beznadziejna i porozumienie istnieje. Największą trudnością obecnie jest, niestety, zapóźnienie się naszego przemysłu chemicznego w zakresie polimerów. Stąd szereg — długi szereg — materiałów, które w innych krajach znalazły już prawo obywatelstwa, u nas nie wyszły ze stadium prób laboratoryjnych. Wymienimy tylko najważniejsze: żywice krzemoorganiczne (sylikony) i ich pochodne — lakiery, smary, syciwa, gumy, oleje; nasz przemysł maszynowy musi wprowadzać nowoczesną, odporną na wyższe temperatury izolację (klasy H), jeżeli nie ma zostać daleko w tyle poza obcymi; bez włókna szklanego i syciw sylikonowych jest to niemożliwe. Licząc się z odległym czasem realizacji tej produkcji w kraju, musimy się oprzeć na materiałach importowanych. Współpraca z chemią powinna z jednej strony przyspieszyć adaptację nowych procesów technologicznych, a z drugiej strony powinna ułatwić opracowanie przemysłowi chemicznemu materiałów krajowych o parametrach dostosowanych do potrzeb przemysłu maszynowego. To samo dotyczyć może żywic lanych (epoksydowych), żywic o wysokich własnościach izolacyjnych i innych (np. polistyrenowych, polifluoroetylenowych).

Jednym z najdonioślejszych dla przemysłu elektrotechnicznego zagadnień jest sprawa żywic do lakierów izolacyjnych i produkcji tych lakierów. Potrzebne są ich liczne typy i odmiany, jakość ich musi być wysoka i bardzo jednolita. Współpraca chemii jest niezbędna, ale produkcja najwłaściwiej powinna być ulokowana w resorcie elektrotechnicznym.

Produkcja t ł o c z y w i e l a s t y k ó w dla elektrotechniki nie nastręcza — zdaje się — zasadniczych problemów. Trudności technologiczne można uważać za całkowicie opracowane, a występujące usterki lub odchylenia własności różnych partii od przeciętnych wymagań należy przypisać nieprzestrzeganiu dyscypliny technologicznej.

Produkcja m a t e r i a ł ó w c e r a m i c z n y c h dla elektrotechniki pokrywa całe zapotrzebowanie krajowe, istnieją jeszcze poważne możliwości eksportowe. Ale paradoksalny wydaje się fakt, że produkcja ta jest w znacznej części (a była

do niedawna prawie całkowicie) oparta na surowcach importowanych, które mogą być lub nie być dostarczane, jak to było z kaolinem czechosłowackim. Dlatego też — nawet pomijając względy ekonomiczne — należy popierać badanie ceramicznych surowców krajowych na materiały elektroceramiczne.

Do takich materiałów — całkowicie opartych na surowcach krajowych i przy tym ekonomiczniejszych — należą szkło i kamionka, które warte są szerszego stosowania, jako tworzywa izolatorowe.

Potrzeba dalej opracowania materiałów steatytowych lub podobnych — również na surowcu krajowym ze względu na trudności importowe, a dalej materiałów dla elektrotermii, motoryzacji i lotnictwa. Jakość bieżącej produkcji może jeszcze ulec znacznemu podniesieniu przez modernizację procesu produkcyjnego i odpowiedni dobór surowców.

Osobnego traktowania wymagają materiały dla elektroniki. Dziedzina ta rozwijająca się bardzo szybko, sięga po coraz to nowe materiały i stawia przed technologią wciąż nowe problemy. Elektronika potrzebuje najrozmaitszych surowców częściowo używanych i w innych działach elektrotechniki, ale stawia im zupełnie specjalne wymagania — przede wszystkim co do nadzwyczajnej czystości; poza tym stosuje coraz szerzej pierwiastki rzadkie, zwłaszcza w dziale półprzewodników i w technice wysokich próżni. W takich przypadkach niewątpliwie najsłuszniejsza jest droga obrana przez Zakład Elektroniki PAN, a również i przez zainteresowany przemysł, aby ostateczną rafinację i obróbkę technologiczną dokonywać we własnym zakresie.

Prace nad półprzewodnikami, prowadzone pod kątem widzenia elektroniki, należałoby rozszerzyć i na zastosowania energoelektryczne. Jest to dział materiałów o wielkich możliwościach nowych zastosowań w różnych dziedzinach.

* * *

Tak wyglądają w wielkim uproszczeniu i skrócie zadania, które wynikają dla nauki polskiej z potrzeb gospodarki narodowej w zakresie materiałów elektrotechnicznych. Szczegółowa dyskusja powinna wytknąć najwłaściwsze kierunki dla prac badawczych, sprecyzować potrzeby przemysłu, ujawnić możliwości, powinna też dać materiały do decyzji dla czynników planujących w gospodarce, nauce i przemyśle.

Zdajemy sobie sprawę z wielkich i różnorodnych trudności, które należy pokonać przy tej pracy, ale też musimy sobie zdawać sprawę, że dużych wyników w postępie technicznym — jak w każdym postępie — nie można osiągnąć bez nauki lub wbrew nauce. Należy więc otwierać dla rozwoju prac naukowych dalsze możliwości.

Tak więc przede wszystkim musimy wymienić jako konieczne, szerokie korzystanie z doświadczenia obcych przez większe udostępnienie literatury zagranicznej, kontakty osobiste w drodze wyjazdów zagranicznych i wymiany pracowników naukowych, szybsze wydawanie publikacji naukowych, które czekają obecnie od roku do dwóch na druk, aż się zdeaktualizują. Należy zapewnić odpowiednie dotowanie pracowni naukowych i możliwości importowe, aby nie było takich paradoksalnych sytuacji, że fabryka bez względu na potrzebę wyposażona jest w lepsze przyrządy niż zakład badawczy. Niemniej jednak laboratoria przemysłowe powinny być tak wyposażone w sprzęt (o co łatwiej) i w kadry (o co trudniej), aby odciążyć pracownie naukowe od prac usługowych — od czynności zastępowania biur konstrukcyjnych lub laboratoriów przyfabrycznych. Zakłady naukowe przykatedralne należy zatrudnić natomiast pracami długofalowymi, twórczą, zapładniającą współpracą z przemysłem.

Nauka wymaga odpowiedniej atmosfery i odpowiedniej — nawet kosztownej — pielęgnacji. Ale pieniądze wydane mądrze na naukę nigdy nie są pieniędzmi wyrzuconymi. Posiew naukowy czasem długo wegetuje zanim wzrośnie i dojrzeje, ale owoce jego są prawdziwe i trwałe.

I. MATERIAŁY PRZEWODZĄCE

MGR INŻ. ZB. WOYNAROWSKI
Politechnika Gdańska

Metale konstrukcyjne

669.1/.8:62.002:621.3.0

Treść. Omówienie szeregu typowych metali konstrukcyjnych używanych w przemyśle elektrotechnicznym, ich zastosowanie i technologia przerobu. Poprawa jakości metali konstrukcyjnych, opracowanie nowych asortymentów i wprowadzenie nowych metod technologicznych wiąże się z badaniami naukowymi, których orientacyjna tematyka jest podana.

1. Wstęp.

Do metali konstrukcyjnych, ważnych dla przemysłu elektrotechnicznego, można zaliczyć: a) stale konstrukcyjne węglowe i stopowe, b) żeliwo i staliwo, c) brązy odlewnicze i do przeróbki plastycznej, d) mosiądze odlewnicze i do przeróbki plastycznej, e) stopy lekkie odlewnicze i do przeróbki plastycznej, f) bimetale przeciwkorozyjne i termostatyczne, g) metale do wyrobu sprężyn, h) spoiwa.

2. Stale.

Główne rodzaje stali i ich zastosowanie. Przemysł elektrotechniczny korzysta przede wszystkim z pospolitych ilościowych stali węglowych, dostarczanych w postaci wyrobów walcowanych, jak wały, pręty, płaskowniki i blachy.

Stale stopowe stosuje się w nielicznych przypadkach, kiedy wymagana jest zwiększona odporność na ścieranie (stale do cementowania), odporność na korozję (stale nierdzewne), szczególne wymagania wytrzymałościowe (stale sprężynowe) lub magnetyczne (stale niemagnetyczne).

Poprawa jakości. Konstrukcje elektrotechniczne — z wyjątkiem wałów maszyn wirujących i sprężyn — nie podlegają na ogół zbyt wielkim naprężeniom mechanicznym, wobec czego własności wytrzymałościowe stali nie odgrywają głównej roli, ważnym jednak wymaganiem gospodarczym jest mały ciężar konstrukcji; również wygląd zewnętrzny wyrobów jest ważnym czynnikiem przy ocenie ich jakości. Oba wymienione czynniki występują szczególnie ostro przy produkcji urządzeń przeznaczonych na eksport. Ponieważ należy dążyć do szybkiej poprawy jakości wyrobów przez przystosowanie ich do wymagań eksportowych, przemysł elektrotechniczny powinien rozszerzyć stosowanie stali o większej wytrzymałości na części aparatów i maszyn, zwracając uwagę na ściślejsze tolerancje wymiarów i dobrą jakość powierzchni. Zmusza to do szerszego wprowadzania taśmy zimnowalcowanej, prętów ciągnionych i blach o gładkich powierzchniach. Również powinna być rozważona możliwość wprowadzenia stali nierdzewnych do pewnych szczególnie ważnych urządzeń, zespołów lub części, należy jednak mieć na względzie, że jest to materiał szczególnie deficytowy.

Technologia przerobu. W przemyśle elektrotechnicznym szeroko stosowana jest obróbka bezwiórowa głównie przez wykrawanie i wytłaczanie. Należy tu coraz szerzej wprowadzać prostowanie blach przed wykrawaniem oraz korygowanie części po wykrawaniu i wytłaczaniu. Nowym procesem, który niewątpliwie warto wypróbować, jest fosforanowanie powierzchni przed wykrawaniem lub wytłaczaniem. Warstwa fosforanów ma spełniać w tym przypadku rolę smaru wysokociśnieniowego ułatwiając ciąg materiału, zmniejszając zużycie narzędzia i dając wyroby o czystych krawędziach.

Mało stosowana jest metoda wykonywania połączeń przez lutowanie twarde w piecach gazowych czy elektrycznych lub przez lutozgrzewanie oporowe czy prądami wielkiej częstotliwości. W dziedzinie tej są potrzebne prace badawcze zarówno dla opanowania samych procesów, jak i dla opracowania nowoczesnych oszczędnych lutowi o dużej zdolności zwilżania.

Zgrzewanie oporowe, mimo dość szerokiego pola zastosowania, wciąż jeszcze nie jest tak rozpowszechnione, jak należałoby sobie tego życzyć. Niezbędne jest unowocześnienie sprzętu, dobór właściwych metali na elektrody, opanowanie produkcji tych metali oraz wprowadzenie nowoczesnych metod sterowania procesu przy pomocy układów elektronicznych lub tym podobnych.

Często spotyka się utwardzanie powierzchniowe części przez cementowanie i hartowanie. Brak jest natomiast w przemyśle elektrotechnicznym urządzeń i doświadczenia w stosowaniu stali węglowych hartowanych powierzchniowo prądami wielkiej częstotliwości. Metoda ta pozwoliłaby na znaczne uproszcze-

nie produkcji części hartowanych i zastąpienie stali specjalnych stalą węglową. Brak dotychczas szerszego doświadczenia w obróbce cieplnej części stalowych o czystych powierzchniach metalicznych w piecach z atmosferą ochronną.

W dziedzinie zabezpieczenia przeciwkorozyjnego stali można zanotować w polskim przemyśle elektrotechnicznym znaczny postęp w ciągu ostatnich lat. Dzięki instrukcjom technologicznym, otrzymanym w ramach radzieckiej pomocy technicznej, poprawiła się wybitnie jakość galwanicznych powłok kadmowych i cynkowych, które — rozjaśniane i pasywowane — nadały wyrobom piękny wygląd zewnętrzny i zwiększoną odporność na korozję. Poprawie uległ również stan techniczny wyposażenia galwanizerni przemysłowych. Niemniej jednak są jeszcze poważne braki zarówno w samej obsłudze procesów, jak i w zapewnieniu stałej kontroli składu i czystości kąpieli.

Poważnych badań naukowych wymaga — zdaniem autora — podstawowa i najbardziej obiecująca ekonomiczna metoda zabezpieczenia przeciwkorozyjnego części stalowych, mianowicie fosforanowanie. Uzyskanie najkorzystniejszego składu kąpieli dla różnych celów i różnych materiałów, opracowanie przyspieszonego procesu przez wprowadzenie anodowania elektrolitycznego, badanie wytrzymałości mechanicznej i odporności przeciwkorozyjnej powłok oraz opracowanie praktycznych metod kontroli jakości powłok fosforanowych — oto kilka tematów z tej dziedziny szczególnie wymagającej postępu technicznego. Ponieważ warstwa fosforanowa jest również jednym z najlepszych pokładów pod powłoki lakierowe, będzie można — po szerszym wprowadzeniu tego procesu również w zakresie technologii powłok lakierowych — spodziewać się potanienia produkcji i poprawy jej jakości.

W produkcji aparatów elektrycznych napotyka się często zagadnienie zabezpieczania przed korozją części hartowanych i narażonych na ścieranie. Próby azotowania przeciwkorozyjnego nie dają dotychczas zadowalających wyników, zagadnienie pozostaje więc nadal otwarte dla badań.

W dziedzinie ochrony przeciwkorozyjnej części stalowych należy zwrócić większą uwagę na stosowanie zapiekanych powłok lakierowych o zwiększonej odporności na uderzenie. Dotyczy to szczególnie elektrycznego sprzętu napowietrznego.

3. Żeliwo i staliwo.

Główne rodzaje i zastosowanie. Żeliwo jest metalem konstrukcyjnym szeroko stosowanym w przemyśle elektrotechnicznym. Zastosowanie znajduje głównie żeliwo maszynowe szare bez określonych własności mechanicznych lub żeliwo szare gatunku Ż1 14 o przeciętnej wytrzymałości na rozerwanie 14 kG/mm² i orientacyjnej twardości H_B = = 150 kG/mm².

Należy tu również wymienić żeliwo austenityczne niemagnetyczne wysokomanganowe oparte na niedeficytowych surowcach, jak mangan i aluminium, oraz żeliwo żaroodporne aluminiowe tanie i o doskonałych własnościach.

Staliwo jest stosowane w przemyśle elektrotechnicznym w bardzo nielicznych przypadkach. Otrzymanie odlewów staliwnych jest uciążliwe, a terminy dostaw długie; odlewnie staliwa niechętnie przyjmują zlecenia przemysłu elektrotechnicznego, gdyż zwykle obejmują one części drobne o skomplikowanych kształtach, trudne pod względem technologicznym. Szersze wprowadzenie do produkcji żeliwa modyfikowanego i żeliwa ciągliwego czarnego — również dla mniejszych serii części — pozwoliłoby ograniczyć dostawy odlewów staliwnych lub może nawet zrezygnować z nich.

Poprawa jakości. Odlewy wykonywane w mniejszych odlewniach bardzo często są nieodpowiedniej jakości. Najczęściej spotykane usterki — to pory i jamy odlewnicze, miejscowe utwardzenia materiału, odlewy powykrzywiane, zbyt grube ścianki, szorstka i nierówna powierzchnia. Zdaniem autora wady te wynikają przede wszystkim z braku dostatecznej opieki fachowej nad mniejszymi odlewniami, w których zarówno receptura wsadu, jak i sposoby formowania, gospodarka piaskiem formierskim oraz metody czyszczenia, nie są oparte na podstawach naukowych, lecz w większości przypadków wynikają tylko z doświadczenia praktycznego kierowników i mistrzów. Odlewnie większe, których praca więcej opiera się na podstawach naukowych, są zwykle dla przemysłu elektrotechnicznego trudno dostępne.

Najsilniej odczuwa się potrzebę poprawy technologii odlewów cienkościennych, których przemysł elektrotechniczny zużywa znaczne ilości. Również ważnym zagadnieniem jest uzyskanie gładkich i czystych powierzchni odlewów.

4. Brązy odlewnicze i do przeróbki plastycznej.

Rodzaje i zastosowanie. Brązy są deficytowym materiałem konstrukcyjnym. Stosowanie ich w produkcji urządzeń elektrycznych powinno być starannie uzasadnione. Spośród brązów odlewniczych w przemyśle elektrotechnicznym stosuje się niekiedy brązy cynowe (CuSn10P i CuSn10) głównie jako materiał na tulejki i panewki łożyskowe, na ślimacznice, a także na części niemagnetyczne narażone na korozję, uderzenia mechaniczne, ścieranie itp.

Zarysowuje się możliwość stosowania — zamiast deficytowych odlewniczych brązów cynowych — nowoopracowanych oszczędnych brązów odlewniczych krzemowych o doskonałych własnościach przeciwkorozyjnych i dobrych własnościach biegowych.

Brąz Bk 331 zastępuje brąz cynowy o zawartości 8—15% Sn. Spośród brązów do przeróbki plastycznej należy wymienić brązy cynowe wysokofosforowe w gatunku CuSn7P o składzie 7—9% Sn, 0,03—0,35% P, reszta Cu. Stopy te są niemagnetyczne, wysoce sprężyste, nie iskrzą. Używane są na sprężynki podobnie, jak deficytowe brązy berylowe. Te ostatnie nadają się szczególnie do wyrobu sprężyn, membran, zwłaszcza jeżeli jednocześnie przewodzą prąd.

Części niemagnetyczne narażone na korozję mogą być również wykonywane z brązu krzemowo-manganowego o wysokich własnościach wytrzymałościowych.

5. Mosiądze odlewnicze i do przeróbki plastycznej.

Rodzaje i zastosowanie. Mosiądze są od dawna ulubionym metalem konstrukcyjnym w elektrotechnice. Zawdzięczają to dobrym własnościom wytrzymałościowym, doskonałej obrabialności, odporności na korozję, ładnemu wyglądowi, niezbyt wysokiej cenie.

Jak wszystkie metale kolorowe, mosiądz jest tworzywem deficytowym i jego stosowanie w urządzeniach elektrotechnicznych powinno być dostatecznie uzasadnione. Mosiądze można więc stosować tam, gdzie potrzebny jest niemagnetyczny metal konstrukcyjny lub w urządzeniach szczególnie narażonych na korozję, jak sprzęt morski i tropikalny.

W kraju wytwarzane są wszystkie użytkowe gatunki mosiądzu.

Poprawa jakości i potrzeba nowych odmian. Odlewy mosiężne, zwłaszcza dostarczane przez małe prymitywne odlewnie, wykonywane są przeważnie ze złomu metalu odpadkowego o nieznanym składzie. Stąd też pochodzi często zła jakość odlewów, w których znajdują się zanieczyszczenia, pory, jamy usadowe i inne wady odlewnicze.

Mosiądze do przeróbki plastycznej dostarczane są przez huty krajowe doskonałej jakości, a wytwarzane gatunki w pełni zaspokajają zapotrzebowanie przemysłu elektrotechnicznego, pożądane byłoby jednak wprowadzenie na rynek tanich mosiądzów oszczędnościowych.

Technologia przerobu. Odlewy mosiężne wykonywane są głównie jako odlewy piaskowe formowane ręcznie lub maszynowo. Odlewy wlewnicowe spotyka się rzadko, jakkolwiek bardzo wiele części używanych przez przemysł elektrotechniczny nadaje się — zarówno kształtem, jak i wielkością serii — na ten rodzaj odlewów. Oszczędności uzyskane przy formowaniu i obróbce niewątpliwie przewyższą wysoki koszt kokil. Wydaje się, że główna trudność we wprowadzeniu odlewów wlewnicowych pochodzi z braku specjalistów w dziedzinie projektowania i wykonywania kokil. Zagadnieniu temu warto niewątpliwie poświęcić więcej uwagi.

W celu uzyskania części używanych w produkcji masowej można mosiądzom odlewniczym nadawać kształty również metodą odlewu pod ciśnieniem.

Mosiądze do przeróbki plastycznej poddawane są obróbce wiórowej i bezwiórowej — wytłaczaniu, wykrawaniu, wyoblaniu i innym. W przypadku wyżarzania międzyoperacyjnego pożądane jest stosowanie pieców z atmosferą ochronną. Wykończanie powierzchni wyrobów mosiężnych polega na wytrawianiu i pasywowaniu, na galwanicznym pokrywaniu niklem, srebrem i kadmem. Często stosuje się też chemiczne czernienie. Przy wytrawianiu w kwasach pożądane jest szersze wprowadzenie inhibitorów, zmniejszających straty materiału. Jako regułę powinno się po trawieniu stosować pasywowanie powierzchni tych części mosiężnych, które mają pozostać w kolorze naturalnym.

6. Stopy odlewnicze cynku.

R o d z a j e i z a s t o s o w a n i e. Stopy odlewnicze cynku w gatunku ZnAl (tzw. „znale") są doskonałym metalem konstrukcyjnym na odlewy o skomplikowanych kształtach przy niezbyt wielkich wymaganiach wytrzymałościowych i niezagrożeniu przez korozję, wadą bowiem stopów ZnAl jest łatwe ich uleganie korozji zarówno powierzchniowej, jak i międzykrystalicznej. Opanowanie tych zjawisk i opracowanie skutecznego zabezpieczenia części „znalowych" przed korozją pozwoli na dalsze rozszerzenie ich zastosowania. Przemysł elektrotechniczny ma już dość obszerne doświadczenie ze „znalami" przy produkcji części maszyn elektrycznych (pokrywy silników) i bardzo wielu części wchodzących w skład aparatów elektrycznych oraz sprzętu instalacyjnego (podstawy, kadłuby, kształtki itp.). Jakość tych odlewów jest zwykle wysoka.

T e c h n o l o g i a p r z e r o b u. Odlewy ze stopów „znalowych" wykonywane są z reguły jako odlewy pod ciśnieniem. Poza usunięciem nadlewów i wpływów oraz przeczyszczeniem otworów i nacięciem gwintu żadna dalsza obróbka nie powinna być potrzebna. Prawidłowo wykonane formy umożliwiają dotrzymanie ciasnych tolerancji wielu tysięcy sztuk wyrobu. Należy podkreślić, że technologia odlewu pod ciśnieniem jest charakterystyczna dla masowej produkcji części. Maszyny odlewnicze mieszczą się zwykle w zakładzie produkcyjnym przemysłu elektrotechnicznego i przerabiają metal dostarczany wprost z hut i odpowiadający wymaganiom technicznym. Sam proces odlewniczy jest ściśle kontrolowany.

N o r m a l i z a c j a. Stopy cynku odlewnicze i dla przeróbki plastycznej objęte są wyczerpującą normą PN/H-87101 z r. 1951.

7. Stopy lekkie.

R o d z a j e i z a s t o s o w a n i e. Wszystkie stopy lekkie były do niedawna produkowane z importowanego aluminium i skutkiem tego musiały być traktowane jako metale deficytowe. Uruchomienie w bieżącym roku pierwszej krajowej huty aluminium w Skawinie oraz nowych zakładów przetwórczych stopów lekkich pozwala rokować nadzieję, że w przyszłości rozszerzy się znacznie zakres stosowania lekkich stopów aluminium jako metalu konstrukcyjnego.

Odlewy ze stopów lekkich w gatunku AlSi używane są w przemyśle elektrotechnicznym na kadłuby silników, podstawy i inne części, od których wymaga się niewielkiego ciężaru, ładnego wyglądu zewnętrznego i dość dobrej odporności na korozję.

Wydobyte z zatopionych statków części urządzeń elektrycznych, jak kadłuby, pokrywy itp. wykonane ze specjalnych stopów odlewniczych aluminium, wykazały zadziwiającą odporność na działanie wody morskiej. Stopy lekkie powinny więc w większym stopniu niż obecnie zastąpić ciężkie żeliwo w taborze transportu lądowego i wodnego. Oczywiście, gatunki stopu muszą być dokładnie zbadane i dostarczane do odlewni w jakości odpowiadającej wymaganiom technicznym.

Stopy lekkie do przeróbki plastycznej, produkowane w różnych gatunkach w postaci blach, pasów, taśm, prętów i kształtowników, są na ogół mało używane w przemyśle elektrotechnicznym. Należy jednak liczyć się z szerszym zastosowaniem stopów w gatunku AlCu3Mg1 zwłaszcza platerowanych czystym aluminium dla ochrony przed korozją, a także stopów AlMg3 odpornych na wodę morską. Stopy te z powodzeniem zastąpią stal tam, gdzie wymagana jest niemagnetyczność i mały ciężar przy dużej wytrzymałości mechanicznej.

P o p r a w a j a k o ś c i. Odlewy ze stopów lekkich wykonywane są przeważnie z metalu o nieokreślonym składzie, pochodzącego zazwyczaj z przetopu złomu. Materiał ten zawiera zanieczyszczenia, wskutek czego odlewy są kruche i porowate, o brzydkim wyglądzie zewnętrznym. Jeżeli może to jeszcze być tolerowane w stosunku do zwykłych odlewów na mniej odpowiedzialne części, to dla części, które powinny być odporne na wodę morską lub są narażone na większe obciążenia mechaniczne, odlewy takie nie nadają się. Wiąże się to, jak i w przypadku odlewów z innych metali, z niewłaściwymi, nienaukowymi metodami pracy małych odlewni, które niezależnie od prymitywnych metod i środków, mają prócz tego trudności w otrzymaniu metali i stopów w stanie czystym, odpowiadającym normom i wymaganiom technicznym.

W przeciwieństwie do odlewów jakość wyrobów walcowanych ze stopów lekkich jest wysoka.

T e c h n o l o g i a p r z e r o b u. Odlewy dostarczane są z reguły z form piaskowych wykonywanych ręcznie lub maszynowo. Choć stop doskonale nadaje się na odlewy wlewnicowe, brak form utrudnia stosowanie tego procesu.

Wykończanie odlewów polega na wytrawianiu ich w wodnym roztworze ługu sodowego. Stopy zawierające miedź dają brzydkie czarne powierzchnie.

Wykończanie powierzchni części wykonywanych z blach i kształtowników powinno odbywać się przez anodowanie (eloksowanie). Proces ten pozwala uzyskać wytrzymałą i odporną na korozję powłokę tlenkową, dającą się prócz tego barwić do celów dekoracyjnych lub rozpoznawczych.

8. Bimetale termostatyczne.

R o d z a j e i z a s t o s o w a n i e. Bimetale termostatyczne czyli termobimetale są ważnym metalem konstrukcyjnym w budowie łączników samoczynnych, gdzie wchodzą w skład przekaźników i wyzwalaczy cieplnych. Przed wojną termobimetale były sprowadzane do Polski z Anglii, Niemiec i Szwecji. Obecnie produkowany jest standartowy termobimetal o składzie FeNi36/FeNi21Mn6 metodą technologiczną całkowicie opracowaną w kraju przez Instytut Metali Nieżelaznych. Prócz tego na zasadzie licencji radzieckiej produkowane są termobimetale typu IT, IŁ oraz IS. Termobimetal FeNi36/FeNi21Mn6 dostarczany jest w postaci blach i pasów o grubości od 0,25 do 1,8 mm.

Należy umożliwić biurom konstrukcyjnym przemysłu aparatów elektrycznych zapoznanie się z termobimetalami licencyjnymi, aby ich cenne własności mogły być szerzej wyzyskane w nowych konstrukcjach.

P o p r a w a j a k o ś c i i p o t r z e b a n o w y c h a s o r t y m e n t ó w. Jakość i własności znamionowe termobimetalu FeNi36/FeNi20Mn6 odbiegają dość znacznie od wzorca opracowanego przez Instytut Metali Nieżelaznych. Termobimetal ten ma niejednokrotnie wygięcie właściwe znacznie mniejsze od przepisanej wartości 0,155/°C. Przy obróbce mechanicznej występuje często rozwarstwianie się materiału. Powierzchnia termobimetalu jest nierówna i porowata. Strona o większej rozszerzalności nie jest oznaczana, jak to się praktykuje w fabrykach zagranicznych. Termobimetal dostarczany jest w arkuszach lub w postaci pasów ciętych z arkuszy. Nie jest to postać dogodna dla przemysłu aparatowego, gdyż pasy są często powichrowane, a ponieważ są wycięte z różnych części arkusza mają niejednakowe własności. Dlatego też konieczne jest podjęcie produkcji dokładnych taśm termobimetalowych.

Obecne usterki powodują poważne trudności w przemyśle elektrotechnicznym, zwłaszcza w przypadku masowej produkcji małych przemysłowych przekaźników cieplnych, gdzie konieczne jest utrzymanie w ciasnych granicach zarówno wymiarów, jak i oporności właściwej, wygięcia właściwego i modułu sprężystości. Powodem złej jakości termobimetalu FeNi36/FeNi20Mn6 jest brak zatwierdzonych wymagań technicznych i związana z tym niewystarczająca kontrola techniczna podczas produkcji. Wygięcie właściwe i moduł sprężystości nie są sprawdzane ani w wytwórni, ani w fabrykach aparatów, choć istnieje opracowana dokumentacja i wzory urządzeń do badania tych parametrów.

Stan powyższy powinien jak najprędzej ulec zmianie, tak aby można było uzyskać jednolitą jakość termobimetalu, jak w przypadku termobimetali licencyjnych.

T e c h n o l o g i a p r z e r o b u. Części z termobimetalu podlegają obróbce mechanicznej wiórowej (wiercenie, cięcie piłką) i bezwiórowej (wykrawanie, krępowanie, zwijanie, odkształcanie). Po każdej obróbce mechanicznej, wywołującej odkształcenie i naprężenia wewnętrzne, termobimetal powinien być poddany odprężającej obróbce cieplnej. Proces ten nie jest jeszcze w fabrykach aparatów wprowadzony, jak również nie ma opracowanych wskazań co do temperatury i czasu trwania obróbki odprężającej dla termobimetalu FeNi36/FeNi20Mn6. Odbija się to niekorzystnie na trwałości charakterystyki elementów termobimetalowych.

Choć stopy wchodzące w skład termobimetalu mają małą odporność na korozję, zbliżoną do odporności stali, nie jest stosowane nakładanie ochronnych powłok galwanicznych. W rezultacie często spotyka się w eksploatacji lub na składach łączniki z zardzewiałymi elementami termobimetalowymi. Istnieje więc potrzeba opracowania racjonalnych metod zabezpieczania termobimetali przed korozją.

Często spotykane przynitowywanie przewodów grzejnych lub boczników do elementów termobimetalowych jest niewłaściwe i powinno być zastąpione kontrolowanym zgrzewaniem punktowym lub spawaniem kondensatorowym. Tu również

powinny w sposób naukowy zostać dobrane parametry procesu technologicznego.

Normalizacja. Termobimetale licencyjne są oparte na wymaganiach technicznych CMTU 1300—44 i normie GOST 5198—50. Na termobimetal krajowy zostały przez PBK A-11 opracowane wymagania techniczne w zakresie normy resortowej RN52/MPM-001, zawierające szczegółowe opisy badań technicznych oraz potrzebnych w tym celu przyrządów. Wprowadzenie tej normy w życie zostało jednak wstrzymane na skutek różnic między normą GOST a projektem normy resortowej. Jedną z istotnych różnic są odmienne metody pomiaru wygięcia właściwego, który w normie GOST odbywa się na próbce w kształcie spirali, a w projekcie normy resortowej na próbce w kształcie prostego paska. Zdaniem autora poziom techniczny kontroli zarówno w wytwórni termobimetalu, jak i w fabryce aparatów elektrycznych, nie gwarantuje jednolitego sposobu wykonania próbki spiralnej. Dlatego więc projekt normy resortowej powinien być zatwierdzony tymczasowo i wprowadzony jak najprędzej w życie, tym bardziej, że istnieje już opracowana dokumentacja i wzory przyrządów przeznaczonych do badań.

Badania porównawcze wyników uzyskanych metodą GOST i metodą zalecaną przez projekt normy resortowej powinny doprowadzić do uzgodnienia metod dla ich ujęcia w normę państwową.

9. Metale do wyrobu sprężyn.

Rodzaje i zastosowanie. Sprężyny spotyka się we wszystkich bez mała aparatach elektrycznych i w większości przypadków są one tym elementem, od którego bezpośrednio zależy prawidłowa praca aparatu. Ponieważ w produkcji trzeba niejednokrotnie wykonać wielkie ilości sprężyn o jednakowej charakterystyce, zarówno własności wytrzymałościowe, jak i wymiary materiału wyjściowego powinny być utrzymane w wąskich granicach tolerancji.

Do zwijania na zimno drobnych sprężyn używany jest drut stalowy ze stali węglowej z niewielką zawartością manganu i krzemu. Drut ten produkuje się w trzech stopniach wytrzymałości na rozciąganie: zwykłej (symbol N, wytrzymałość 170 ÷ 100 kG/mm^2 dla średnicy od 0,2 do 6 mm), zwiększonej (symbol P, 220 ÷ 120 kG/mm^2) i wysokiej (symbol W, 265 ÷ 140 kG/mm^2). Drut stalowy wysokiej wytrzymałości o powierzchni szlifowanej i polerowanej i ciasnych tolerancjach średnic znany jest pod handlową nazwą drutu fortepianowego. Jest to najbardziej właściwy materiał do wyrobu sprężyn o dokładnej i jednolitej charakterystyce.

Spośród stali stopowych używa się coraz częściej martenzytycznych i austenitycznych stali nierdzewnych, z których wykonuje się sprężyny odporne na korozję i niemagnetyczne. Użycie deficytowej stali nierdzewnej dla sprężyn o średnicach drutu powyżej 2 mm powinno być jednak uzasadnione specjalnymi wymaganiami.

Spośród metali nieżelaznych sprężyny wykonywane są z twardo walcowanego mosiądzu np. CuZn30, z brązu fosforowego CuSn7P, stopu monel, brązu glinowo-niklowego CuNiAl, brązów berylowych i innych. Produkcja brązów berylowych i technologia ich przerobu zostały ostatnio opracowane przez Instytut Metali Nieżelaznych.

Z wyjątkiem mosiądzu stopy powyższe należą do szczególnie deficytowych i stosowanie ich musi być starannie uzasadnione. Zazwyczaj ogranicza się ono do tych przypadków, kiedy — oprócz wywierania siły i czynienia zadość wymaganiom co do niemagnetyczności i odporności na korozję — sprężyny muszą również przewodzić prąd. W przypadku sprężyn stalowych należy pamiętać o takim konstrukcyjnym ukształtowaniu części zawierających sprężyny, żeby one nie znalazły się w torze prądu lub w zmiennym polu magnetycznym. W obu tych przypadkach nadmierne nagrzanie sprężyn może zniweczyć ich własności sprężyste.

Poprawa jakości i potrzeba nowych asortymentów. Stalowe druty sprężynowe o wysokiej wytrzymałości (drut fortepianowy) sprowadzane były do niedawna z zagranicy (Szwecja, W. Brytania). Obecnie rozpoczęto już krajową produkcję drutu zbliżonego gatunkiem do drutu fortepianowego, lecz wytwarzane ilości wciąż są zbyt małe, żeby móc zaspokoić w pełni potrzeby przemysłu elektrotechnicznego i wyeliminować import z konieczności i tak ograniczony. Większość sprężyn do aparatów wykonywa się, jak dotychczas, ze zwykłego stalowego drutu sprężynowego wyrabianego w kraju bez określonych wymagań technicznych. Własności wytrzymałościowe tego drutu i tolerancje jego średnic są, niestety, tego rodzaju, że jest niemożliwe utrzymanie jednakowej charakterystyki sprężyn — nawet wykonanych z jednej partii drutu. Również projektowanie sprężyn jest przez to utrudnione, gdyż konstruktor nie wie, jakie własności wytrzymałościowe powinien przyjąć przy obliczeniach. Część winy leży tu niewątpliwie i po stronie samego przemysłu elektrotechnicznego, że nie potrafił dotychczas sformułować swych wymagań technicznych i dopilnować ich dotrzymania.

W przypadku wyrobów eksportowych i aparatury morskiej należy przeprowadzić próby wykonywania ze stali nierdzewnej bardziej odpowiedzialnych sprężyn o średnicach drutu nie przekraczających 2 mm. Niewielki wkład deficytowego materiału przy drobnych sprężynach byłby z nawiązką wyrównany wysoką odpornością na korozję stali nierdzewnej. Pozwoli to uniknąć zabiegów ochronnych przeciwkorozyjnych — kłopotliwych i pogarszających jakość sprężyn.

Spośród sprężynowych metali nieżelaznych należy szerzej rozpowszechnić informacje o produkowanych stopach sprężynowych i technologii ich przerobu. Dla większości elektryków-praktyków typowym materiałem nieżelaznym do wyrobu sprężyn jest tylko tradycyjny brąz fosforowy, będący tworzywem deficytowym. Mogą go zastąpić stopy oszczędnościowe, opracowane w ostatnich latach przez polskie instytuty naukowe. Autorowi referatu nie wiadomo, czy w kraju jest produkowany brąz niklowo-glinowy CuNi6Al 1,5 (kunial), zalecany w literaturze radzieckiej do wyrobu sprężyn. Stop ten może być poddawany uszlachetniającej obróbce cieplnej.

Technologia przerobu. Sprężyny stalowe zwijane są na zimno sposobem trzpieniowym na tokarkach lub beztrzpieniowo na specjalnych automatach (sprężyniarkach). Przemysł aparatów elektrycznych wykonał dla swoich potrzeb szereg takich wysokowydajnych sprężyniarek.

Po zwinięciu sprężyny wykańcza się je przez nadanie ostatecznych kształtów zaczepom i zakończeniom, zaszlifowanie powierzchni czołowych oraz — z zasady — przez pokrycie ich powłoką przeciwkorozyjną. Prawidłowe zakończanie sprężyn należy jeszcze do procesów technologicznych lekceważonych zarówno przy produkcji, jak i przy kontroli technicznej.

Zabezpieczenie przed korozją uzyskuje się zwykle przez chemiczne czernienie w azotynie sodowym lub przez nałożenie na sprężynę powłoki galwanicznej cynkowej lub kadmowej. Na skutek międzykrystalicznej dyfuzji jonów wodorowych występuje w procesach galwanicznych tzw. „nawodornienie", wywołujące zmianę charakterystyki sprężyn i zwiększenie jej kruchości. „Odwodornienie" sprężyn uzyskuje się przez kilkugodzinną dwustopniową obróbkę cieplną w temperaturach nie przekraczających 150°. Warto wspomnieć o zgłoszonym w Zakładzie A-8 projekcie racjonalizatorskim okresowej zmiany biegunowości prądu przy kadmowaniu i cynkowaniu sprężyn. Wstępne próby zastosowania tego procesu wykazały brak zjawisk „nawodornienia".

Często spotykane chemiczne czernienie ługowe sprężyn nie powoduje ich nawodornienia, lecz własności ochronne powłoki chemicznej są znacznie gorsze od własności powłok galwanicznych. W niewielu zakładach przestrzegana jest obróbka cieplna sprężyn polegająca na odpuszczeniu ich w kąpieli solnej lub olejowej.

Sprężyny powinny podlegać 100-procentowej kontroli technicznej, przy czym szereg takich zabiegów, jak naprężanie statyczne i dynamiczne, pomiar sztywności i inne, powinno wchodzić w skład typowych zabiegów technologicznych.

Racjonalna technologia sprężyn powinna być szerzej wprowadzona w fabrykach przemysłu elektrotechnicznego. Przyswojenie doświadczeń radzieckich z tej dziedziny i opracowanie metod technologicznych, dostosowanych do krajowych materiałów i możliwości technicznych, jest wdzięcznym zadaniem dla naszych instytutów naukowych.

Normalizacja. Zły stan jakości sprężyn używanych w aparatach jest głównie wynikiem braku zatwierdzonej normy na odchyłki wymiarowe i własności wytrzymałościowe drutów sprężynowych. Możliwie szybkie przyjęcie radzieckiej normy GOST 5047—49 jest nieodzowną koniecznością. Należy również szerzej udostępnić normy zakładowe z dziedziny sprężyn (np. normę ZN-53/MPM/03-28010 — Sprężyny śrubowe walcowe ściskowe i rozciągowe) i dążyć do opracowania wyczerpujących wzorcowych instrukcji technologicznych dla krajowych metali do wyrobu sprężyn.

10. Spoiwa.

Poprawa jakości i potrzeba nowych asortymentów. Spoiwa miękkie produkuje się od dawna dobrej jakości i w wystarczającym asortymencie. Mi-

mo słusznych uprzedzeń przemysłu elektrotechnicznego do oszczędnościowych spoiw miękkich próby poprawienia zdolności zwilżania tych spoiw i wprowadzenia ich do mniej odpowiedzialnych połączeń zasługują na uwagę. Również prace nad otrzymaniem spoiwa miękkiego dla aluminium, nawet przy zastosowaniu lutownicy ultradźwiękowej, mogą przynieść pewien postęp w dziedzinie spoiw miękkich.

Za granicą coraz szerzej wprowadza się do technologii produkcji wielkoseryjnej łączenie części za pomocą lutowania twardego. Jest to bardzo wydajny proces zwłaszcza przy wykonywaniu lutowania nagrzewem indukcyjnym lub w piecach tunelowych o atmosferze ochronnej. W związku z tym wzrasta tam liczba odmian spoiw. Np. w Związku Radzieckim oprócz spoiwa PSr 70 jest między innymi produkowane spoiwo srebrowo-fosforowe o składzie 71% Ag 28% Cu i 1% P, nie wymagające topników. Do lutowania twardego miedzi używane jest oszczędnościowe spoiwo miedziowo-fosforowe o składzie 93% Cu i 7% P i o temperaturze topnienia 710°C. To ostatnie spoiwo figuruje w Polskiej Normie PN/H-87010, ale brak dotychczas informacji o możliwościach jego dostawy.

Dziedzina spoiw twardych wymaga badań naukowych w kierunku zarówno uzyskania nowych stopów, jak i szerszego rozpowszechnienia tego procesu w przemyśle.

T e c h n o l o g i a p r z e r o b u. Spoiwa miękkie cynowo-ołowiowe nakłada się lutownicą lub przez zanurzenie części. Użycie topników jest konieczne. W przemyśle elektrotechnicznym stosuje się zazwyczaj topniki bezkwasowe.

Spoiwa twarde srebrowe wstawia się w postaci blaszek, pierścieni, kształtek itp. między części, które mają być łączone. Przez podgrzanie palnikiem (proces mało wydajny), w piecu komorowym lub tunelowym (proces bardziej wydajny) lub przy pomocy prądów wielkiej częstotliwości (proces bardzo wydajny) uzyskuje się roztopienie spoiwa, zapełnienie szczeliny i połączenie części.

W Związku Radzieckim stosuje się w wielu przypadkach podgrzewanie spoiwa zgrzewarką elektryczną z węglowymi elektrodami. Sposób ten nosi nazwę lutozgrzewania twardego. W zakładzie A-8 było z powodzeniem wypróbowane lutozgrzewanie miękkie przy użyciu elektrod aluminiowych. Lutowanie twarde jest nowoczesnym, bardzo wydajnym procesem technologicznym, zasługującym w pełni na szersze zainteresowanie naukowe i wprowadzenie w przemyśle.

11. Wnioski.

Ż ą d a n i a w s t o s u n k u d o p r z e m y s ł u e l e k t r o t e c h n i c z n e g o. Przemysł elektrotechniczny nie ujmuje dotychczas zagadnienia metali konstrukcyjnych w sposób całokształtowy. Poszczególne zakłady prowadzą własną politykę materiałową na podstawie tradycji lub własnych upodobań konstruktorów. Analiza wyrobów z punktu widzenia zastosowanych materiałów konstrukcyjnych pozwoli niewątpliwie na szereg uproszczeń w zaopatrzeniu, a także wyzyska postęp techniczny zarówno w kierunku podwyższenia jakości wyrobów, jak i w kierunku stosowania materiałów oszczędnościowych.

Z zagadnieniem metali konstrukcyjnych wiąże się szereg problemów technologicznych, które w świetle analizy materiałowej będą mogły być uzupełnione i zmodernizowane. Wystarczy tu wspomnieć sprawę lutowania i hartowania prądami w. cz., prawidłową obróbkę sprężyn, fosforanowanie i inne. Dyscyplina technologiczna i dobra konstrukcja nie dadzą jeszcze dobrego wyrobu, jeżeli materiały użyte do produkcji nie będą odpowiedniej jakości. Z jednej strony wiąże się to z zagadnieniem jak najrychlejszego uzupełnienia brakujących norm i wymagań technicznych, z drugiej zaś strony wymaga postawienia na właściwym poziomie kontroli dostaw w zakładach przemysłu elektrotechnicznego oraz rozciągnięcia obowiązku dostarczania przez wytwórnie atestów materiałowych na cały szereg takich materiałów, jak stale gatunkowe, druty sprężynowe, termobimetale, spoiwa itp., gdzie byłyby stwierdzone rzeczywiste wartości charakterystycznych danych materiału.

Zła jakość dużej części wyrobów przemysłu elektrotechnicznego, wynikająca ze stosowania niewłaściwych i dostarczonych w złym gatunku materiałów konstrukcyjnych, jest jednak w znacznym stopniu spowodowana również oportunistycznym podejściem kierowników zakładów do zagadnienia ilościowego wykonania planu.

Dopuszczenie do produkcji materiałów nadających się do zabrakowania, powszechne stosowanie doraźnych — niekiedy zupełnie przypadkowych — materiałów zastępczych, płytka kontrola na skutek spiętrzenia odbieranych wyrobów w ostatnich dniach i godzinach miesiąca, słaby poziom techniczny personelu kontroli i niedostateczne jej wyposażenie w urządzenia, przyrządy i instrukcje, wszystko to powoduje niepowetowane straty dla gospodarki narodowej, demoralizuje załogi i sankcjonuje brakoróbstwo dostawców zakładów produkcyjnych. Społeczna strona tego zagadnienia wymaga również wnikliwej analizy ze strony kierownictwa przemysłu.

Przemysł elektrotechniczny produkuje szereg wyrobów najwyższej jakości, opartych na radzieckiej dokumentacji licencyjnej. Rozszerzenie na wyroby rodzime zarówno zasady jednoznacznego określenia materiału na podstawie norm, jak i bezkompromisowych metod kontroli technicznej — poczynając od dostawy materiału przez proces technologiczny do gotowego wyrobu — pozwoli przemysłowi niewątpliwie przywrócić niebezpiecznie zachwianą równowagę między ilością a jakością produkcji.

Ż ą d a n i a w s t o s u n k u d o p r z e m y s ł ó w p o m o c n i c z y c h. Przy omawianiu poszczególnych rodzajów metali konstrukcyjnych wysunięto wyżej propozycje co do jakości wyrobów i potrzeby nowych asortymentów. Na tym miejscu należy podkreślić trzy ważne — zdaniem autora — sprawy: konieczność uzupełnienia wymagań technicznych i norm, zagadnienie szerzej pojętej informacji technicznej oraz sprawę kontroli końcowej wyrobów.

Jasne jest, że póki nie będą dla ważniejszych materiałów sformułowane i dotrzymywane wymagania techniczne, zarówno określające dopuszczalne odchyłki wymiarów i własności wytrzymałościowych oraz dopuszczalne wady wyglądu, jak i podające jednoznaczne metody badań technicznych, póty będą istnieć rozbieżności między życzeniem konstruktora a rzeczywistością. Normy te i wymagania techniczne powinny więc jak najrychlej zastąpić dane z kalendarzy technicznych, którymi z konieczności jeszcze w wielu przypadkach konstruktor musi posługiwać się.

Brak postawionej na odpowiednim poziomie informacji technicznej jest powszechną bolączką naszego przemysłu. Informacja ta powinna być aktualna, opracowana nieanonimowo w sposób ścisły, lecz przystępny, przez wybitnych fachowców i powinna podawać cechy materiału, jego wymagania techniczne, charakterystyczne wskaźniki technologiczne, warunki dostawy i ceny. Przykładem wzorowej informacji technicznej tego typu może być np. Katalog elektrod, drutu i pałeczek do spawania stali i żeliwa (autor mgr E. Zaremba, Polskie Wydawnictwa Gospodarcze, Warszawa, 1953). Szczególny brak tego rodzaju publikacji odczuwa się w dziedzinie materiałów na sprężyny, metali nieżelaznych, termobimetali i spoiw.

W związku z końcową kontrolą w zakładach, produkujących metale konstrukcyjne i półwyroby z tych metali, należy podkreślić konieczność wprowadzenia obowiązku atestowania bardziej odpowiedzialnych materiałów oraz przestrzegania przez zakłady starannego i trwałego oznaczania gatunków materiału, aby nie zachodziły wypadki pomyłek u użytkownika. Porządek na składach materiałów, zwłaszcza na składach stali, powinien być zresztą przestrzegany i w zakładach przemysłu elektrotechnicznego w znacznie większym stopniu niż to się dzieje obecnie.

Ż ą d a n i a w s t o s u n k u d o i n s t y t u t ó w n a u k o w y c h. Poza szeregiem zagadnień szczegółowych podanych wyżej można wysunąć w stosunku do instytutów naukowych sugestię, aby w sposób bardziej całokształtowy ujmowały opracowywanie zagadnienia, gdyż nie wystarcza podanie np. metody produkcji jakiegoś metalu czy wypróbowanie w ramach instytucji naukowej nowego procesu technologicznego. Postęp techniczny musi być nie tylko przeniesiony do bezpośrednio zainteresowanego zakładu, lecz także przez dłuższy okres kontrolowany u odbiorcy urządzenia czy materiału, a nawet w dalszych kręgach użytkowników i w dziedzinach pokrewnych. Wciąż jeszcze zbyt rzadko spotyka się pracowników nauki na zakładach pracy, w bezpośredniej konsultacji przy przerobie nowego materiału czy wprowadzaniu w życie nowych metod technologicznych. W planach prac instytutów naukowych powinna być przewidziana pokaźna liczba godzin na bezpośredni kontakt z zakładami wytwórczymi i przetwórczymi, a także z odbiorcami i użytkownikami gotowych urządzeń.

Współpraca tego rodzaju nie tylko umożliwi wprowadzenie na szerszym froncie postępu technicznego w naszym przemyśle, lecz również wpłynie twórczo na same instytuty naukowe, dając im możliwości powiązania tematyki swych prac z prze-

mysłem i pozwalając ściślej oprzeć wiedzę naukowców-teoretyków na doświadczeniu praktycznym szerokich mas pracowników produkcji.

12. Tezy do dyskusji.

T e z a 1. Mając na uwadze:

a) że wyroby przemysłu elektrotechnicznego wchodzą w skład inwestycji przemysłowych i służą w przeważającej większości do wyposażenia urządzeń produkcyjnych,

b) że pewność ruchu urządzeń produkcyjnych zależy bezpośrednio od poprawnej pracy urządzeń elektrycznych zarówno sterujących procesami produkcyjnymi, jak i wchodzących w skład urządzeń elektroenergetycznych,

c) że koszt urządzeń elektrycznych, a zwłaszcza koszt drobnego wyposażenia urządzeń przemysłowych, jest niejednokrotnie nieznaczny w stosunku do wartości urządzeń produkcyjnych,

d) że straty przestojowe spowodowane wadliwą pracą urządzeń elektrycznych wielokrotnie przewyższają wartość tych urządzeń,

stosunek zagadnienia jakości wyrobów do zagadnienia obniżki kosztów własnych powinien być w przemyśle elektrycznym postawiony w sposób szczególny, a mianowicie:

1) obniżka kosztów własnych wyrobów przemysłu elektrotechnicznego powinna opierać się na oszczędnościach uzyskanych przez wprowadzanie bardziej wydajnych procesów technologicznych, poprawę organizacji produkcji i zmniejszenie narzutów administracyjnych, a nie przez stosowanie tańszych materiałów, gorsze wykończenie zewnętrzne lub prymitywne uproszczenia konstrukcyjne;

2) środki uzyskane z obniżki kosztów własnych powinny być w całości przeznaczone na poprawę jakości wyrobów, w szczególności na rewizję konstrukcji, wprowadzenie atestowanych materiałów o wyższej jakości, zwiększenie dokładności wykonania i obróbki, zaostrzenie kontroli technicznej; szczególny nacisk powinien być przy tym położony na staranne wykończanie zewnętrzne wyrobów, jak powłoki przeciwkorozyjne i dekoracyjne, które są ważnym czynnikiem przy prawidłowej eksploatacji urządzeń elektrycznych.

Oszczędności uzyskane dla gospodarki narodowej przez wyższą jakość urządzeń elektrycznych wielokrotnie przekroczą pozorne buchalteryjne oszczędności, uzyskiwane mechanicznie za cenę pogorszenia jakości wyrobów przemysłu elektrotechnicznego.

T e z a 2. W ciągu najbliższych trzech lat większość wyrobów przemysłu elektrotechnicznego powinna osiągnąć poziom wykonania i wykończenia odpowiadający wymaganiom eksportowym.

T e z a 3. Technologia metali konstrukcyjnych oraz procesy wykończania powierzchni powinny być — w szerszym stopniu niż obecnie — przedmiotem nauczania na kierunku konstrukcyjno-technologicznym wydziałów elektrycznych w wyższych uczelniach technicznych.

T e z a 4. Celowe i pożądane jest zorganizowanie wspólnej narady zainteresowanych przemysłów i instytutów naukowych w celu wymiany poglądów i doświadczenia w sprawie projektowania, doboru i własności materiałów, technologii wyrobu i wykończania oraz metod badań technicznych sprężyn, w szczególności drobnych sprężyn precyzyjnych.

LITERATURA

A n t o n i e w i c z J. Materiałoznawstwo elektryczne, PWT, 1952
G a w r y ł o w A. N. Tiechnołogia awjacjonnowo priborostrojenja, Oborongiz, 1951
Maszynostrojenje, Maszgiz, 1947—1948, t. III, rozdz. VII, t. IV, rozdz. II, t. VII, rozdz. III
Polska Akademia Nauk. Referaty plenarne na konferencję „Oszczędność tworzyw w budowie maszyn i urządzeń", cz. II
P r z e g a l i ń s k i S t. Stal — podręcznik dla konstruktorów, WGH, 1955
S a c h a r o w P. W. Technologia produkcji aparatów elektrycznych, PWT, 1952
S k o w r o ń s k i J. Materiałoznawstwo elektryczne, PWSZ, 1953
Z u k o w s k i S t. Sprężyny, PWT, 1954

MGR INŻ. ZBIGNIEW MISIOŁEK
Instytut Metali Nieżelaznych

Materiały przewodowe i oporowe

691.7:621.315.5:621.316.8

T r e ś ć. Mechaniczne i elektryczne własności miedzi i aluminium jako podstawowych metali przewodowych. Zestawienie stopów miedzi najczęściej stosowanych jako materiały przewodowe z podaniem ich składu chemicznego, własności oraz przykładów zastępowania. Stan produkcji krajowej omawianych półwyrobów. Opracowane w kraju przewodowe stopy aluminium, cynku, srebra, niklu i materiałów bimetalowych. Podział materiałów oporowych według własności fizycznych i zastosowania. Wykaz najważniejszych stopów na oporniki precyzyjne.

1. Materiały przewodowe.

M e t a l e c z y s t e. Spośród metali o dobrej przewodności elektrycznej najważniejszym i najbardziej interesującym z punktu widzenia technicznego i gospodarczego jest m i e d ź. W stanie wyżarzonym czysta miedź ma wytrzymałość na rozciąganie R_r = 22 kG/mm², ale przez przeróbkę plastyczną na zimno można podnieść tę wartość do ~ 47 kG/mm². Nawet tak podwyższona wytrzymałość na rozciąganie jest dla wielu konkretnych zastosowań niewystarczająca, zwłaszcza jeżeli weźmiemy pod uwagę, że przy wysokim stopniu zgniotu temperatura rekrystalizacji miedzi obniża się do ~ 200°C. Należy więc dążyć do podwyższenia temperatury rekrystalizacji miedzi unikając znacznego obniżenia jej przewodności, zwłaszcza gdy półwyroby mają mieć dobre własności wytrzymałościowe po spawaniu względnie żarzeniu.

Należy nadmienić, że w roku ubiegłym została przez IMN opracowana i przez przemysł metali nieżelaznych uruchomiona krajowa produkcja bochnów miedzianych (wire bar) przeznaczonych na produkcję drutów dla przemysłu kablowego.

Poza miedzią spośród czystych metali szerokie zastosowanie w elektrotechnice znajduje a l u m i n i u m. W stanie miękkim po wyżarzeniu aluminium ma następujące własności: wytrzymałość na rozciąganie R_r = 12 — 15 kG/mm², wydłużenie a = 40—50%, twardość Brinella H_B = 23 — 26 kG/mm². W stanie twardym, po umocnieniu metalu na drodze przeróbki plastycznej na zimno, własności jego zmieniają się jak następuje: R_r = 16,0 kG/mm², a = 6,0%, H_B = 24 kG/mm².

Własności fizyczne aluminium zadecydowały o tym, że obok miedzi stało się ono obecnie niezbędnym metalem dla elektrotechniki. Na szerokie możliwości stosowania aluminium w elektrotechnice wpływają takie jego własności, jak mały cięż. właściwy, odporność chemiczna, niska przenikalność magnetyczna, doskonałe własności izolacyjne warstwy tlenku Al_2O_3 — zwłaszcza warstw sztucznie pogrubionych — oraz fakt, że pod bezpośrednim działaniem łuku elektrycznego aluminium stapia się tworząc ochronną warstwę izolacji złożoną z Al_2O_3. Izolacja ta powoduje samogaśnięcie łuku. Na ogół można przyjąć, że czyste aluminium służy wyłącznie jako przewodnik prądu, zaś stopy aluminium — jako materiały pomocnicze.

Do celów przewodowych stosuje się aluminium 99,5% Al o przewodności elektrycznej równej $33\frac{m}{\Omega mm^2}$ w postaci blach, taśm, rur, profili, płaskowników i drutów.

Aluminium znajduje zastosowanie na wszelkiego rodzaju uzwojenia, wirniki, cewki, przy czym na drucie aluminiowym przez sztuczne pogrubienie na drodze chemicznej lub elektrolitycznej warstwy Al_2O_3 tworzy się naturalną izolację.

S t o p y m i e d z i. Wśród materiałów przewodowych największe znaczenie mają stopy miedzi. S t o p y m i e d z i z t e l l u r e m zbliżone są pod względem składu i własności mechanicznych do stopów zawierających siarkę lub selen. Tellur, siarka i selen występują w stopach z miedzią w postaci związków (tellurków, siarczków, selenków) prawie całkowicie nierozpuszczalnych w stanie ciekłym. Stop miedź-tellur zawiera 0,3 — 1% Te. W pewnych przypadkach stop ten pozbawiony jest tlenu, natomiast miedź tellurowa, zawierająca go do 0,03% pod postacią tlenku miedziowego (0,26% Cu_2O), jest stopem bardzo poszukiwanym.

Dodatek telluru do miedzi powoduje zmianę własności fizycznych i mechanicznych stopu. Dodatek 0,6% telluru zmniejsza tylko o 2% przewodność elektryczną, a bardzo nieznacznie zmienia własności mechaniczne. Spadek twardości stopu jest w wyniku dodatku telluru mniej szybki — utrata 15 jednostek Hv dopiero po 45 minutach wyżarzania w temperaturze 450°C, a obrabialność mechaniczna o wiele lepsza, ponieważ obecność tellurków w wiórach ułatwia ich rozry-

wanie. Dla przykładu warto podać, że miedź tellurową obrabia się mechanicznie tak samo łatwo jak tzw. mosiądź automatowy (M58, M59), a dziesięć razy szybciej niż czystą miedź. Miedź tellurową stosuje się często, gdy chce się uzyskać następujące własności: 1) dużą przewodność elektryczną i cieplną, 2) łatwość obróbki wiórowej nawet przy dużych szybkościach skrawania, 3) zachowanie twardości przy temperaturach średnio podwyższonych, 4) dużą odporność na działanie korozji, 5) łatwość spawania lub lutowania (spawanie autogeniczne za pomocą tego stopu jest niemożliwe).

W przemyśle elektrotechnicznym stosowana jest miedź tellurowa do produkcji magnetronów o bardzo skomplikowanej obróbce mechanicznej. Miedź tellurową stosuje się ponadto od wielu lat do produkcji segmentów kolektorów i innych elementów instalacji elektrycznej, gdzie utrzymanie twardości w czasie spawania lub zgrzewania jest ogromnie ważne. Ogólnie biorąc stop ten należy stosować tam, gdzie wymagane są dobra przewodność elektryczna i dobra obrabialność mechaniczna.

Miedź tellurowa nie jest dotychczas w kraju produkowana, wydaje się więc rzeczą celową opracowanie technologii produkcji prętów i profili z tego stopu. Instytut Metali Nieżelaznych (Gliwice) umieścił to zagadnienie w planie prac naukowo-badawczych na okres 1956-60 r. Dla rozwiązania omawianego zagadnienia należy formalnie zgłosić wniosek na pracę naukowo-badawczą z podaniem zakładu, który mógłby przeprowadzić próby robocze, jako podstawę do podjęcia decyzji o ewentualnym uruchomieniu produkcji miedzi tellurowej w kraju.

Następny stop — m i e d ź - s r e b r o — zawiera do 1,0% srebra. Dodatek małych ilości srebra do miedzi nie ma prawie żadnego wpływu na przewodność elektryczną, natomiast bardzo poważnie zmienia temperaturę rekrystalizacji. Dodatek 0,1% Ag do miedzi powoduje, że temperatura rekrystalizacji stopu podnosi się o 200°C (zależnie od stopnia zgniotu, któremu uprzednio poddano materiał) do 300—350°C, tj. powyżej temperatury miękkiego lutowania.

Stop miedzi ze srebrem o zawartości 0,5% Ag nie wykazuje spadku twardości przy temperaturze 300°C, a po upływie 90 minut przy temperaturze 350°C twardość zmniejsza się jedynie o 8 jednostek H_V. Stop taki nadaje się i jest stosowany na segmenty komutatory.

Stop o zawartości 1,0% Ag jest jeszcze bardziej odporny na zmiany temperatury. Przy temperaturze 500°C następuje zasadniczo jedynie nieznaczny spadek twardości. Stop CuAg1 jest w kraju produkowany. Chociaż obecność srebra poniżej 5% nie wprowadza żadnej poprawy własności mechanicznych, fakt, że znaczna twardość utrzymuje się przy temperaturze 500°C po upływie 90 minut oznacza, że stop CuAg1 jest bardziej odpowiedni na elektrody aparatów spawalniczych niż miedź kadmowa. Ten ostatni stop zachowuje twardość do temperatury 400°C, przy przewodności elektrycznej równej 83% przewodności czystej miedzi, stop zaś CuAg1 posiada przewodność elektryczną równą 90% przewodności czystej miedzi. Oba stopy CuAg1 oraz CuCd1 konkurują ze sobą jako materiały na elektrody spawalnicze i są stosowane wówczas, gdy wymagane jest zachowanie twardości przy podwyższonych temperaturach z równoczesną wysoką przewodnością elektryczną.

Chociaż układ podwójny m i e d ź - k a d m, wykazujący zmienną rozpuszczalność kadmu w miedzi, jest tego typu, że sugeruje możliwość utwardzenia w wyniku obróbki cieplnej typu przesycenie-starzenie, obróbka cieplna nie wywołuje żadnych poważnych zmian własności mechanicznych. Stosowany jest stop zawierający 1% Cd, który wywołuje podwyższenie temperatury rekrystalizacji i zwiększa wytrzymałość na rozciąganie, jak również wytrzymałość na zmęczenie. Na przykład stop CuCd1 wykazuje w stanie twardym po umocnieniu wytrzymałość na rozciąganie R_r = 71,0 kG/mm² z zachowaniem przewodności równej 83% przewodności czystej miedzi. Można więc przyjąć, że stop ten posiada wytrzymałość na rozciąganie o 50% wyższą, a wytrzymałość na zmęczenie o 40% wyższą od czystej miedzi.

Najważniejszymi zastosowaniami miedzi kadmowej są: 1) druty na przewody napowietrznych linii telefonicznych ze względu na dużą wytrzymałość na rozciąganie i zmęczenie, 2) przewody kontaktowe w trakcji elektrycznej ze względu na dużą twardość i odporność na ścieranie.

Stopy o zawartości powyżej 1% Cd nie mają żadnej wartości przemysłowej, ponieważ nastręczają duże trudności przy przeróbce plastycznej na gorąco.

Ogólnie biorąc stop Cu-Cd stosuje się wówczas, kiedy dobra wytrzymałość na rozciąganie i na zmęczenie, a także twardość, usprawiedliwiają wyrzeczenie się dobrej przewodności elektrycznej. Stop CuCd1 jest obecnie w kraju produkowany.

Do grupy materiałów przewodowych należy również zaliczyć stop m i e d ź - s r e b r o o zawartości srebra 5—7%. Stop ten różni się tym od wyżej omówionego stopu CuAg1, że własności fizyczne i mechaniczne uzyskuje się tutaj w wyniku zarówno przeróbki plastycznej, jak i obróbki cieplnej. Stop zawiera: Ag=5,0—7,0%, Mg=poniżej 0,1%, Cu — reszta. Technologia produkcji półwyrobów z tego stopu została w roku bieżącym opracowana przez IMN i jeszcze w bieżącym roku będzie uruchomiona próbna produkcja.

Stop miedź-srebro jest przerabiany na cienki drut (średnica 0,20 mm), który następnie przewalcowuje się na tasiemki o zaokrąglonych brzegach, o grubości 60 mikronów. Stosuje się je do wyrobu precyzyjnych aparatów pomiarowych. Własności tego stopu po przeróbce plastycznej i obróbce cieplnej są następujące: wytrzymałość na rozciąganie R_r = 85 — 110 kG/mm², wydłużenie a = 5%, przewodność elektryczna w stosunku do czystej miedzi 70%.

Bardzo często stosowanym materiałem w budowie aparatów elektrycznych są b r ą z y f o s f o r o w e. Brązami fosforowymi nazywamy te stopy miedzi z cyną i ewentualnie jeszcze z innymi metalami, które zawierają fosforek miedzi Cu_3P. Początkowo nazwą tą określano wszystkie brązy odtleniane fosforem. Okazało się jednak, że nie wszystkie stopy odtleniane przy pomocy fosforu zawierają związek Cu_3P. Związek ten występuje zazwyczaj w roztworze fazy δ i trudno go od niej rozróżnić, przy czym faza δ występuje w większych ilościach w brązach fosforowych niż w brązach bezfosforowych o tej samej zawartości cyny.

Zawartość cyny w stosowanych brązach fosforowych, przerabianych plastycznie, waha się w granicach od 5 do 10%, a tylko w specjalnych stopach o dużej przewodności elektrycznej wynosi około 1%. Zawartość fosforu mieści się w granicach 0,03—0,7% w zależności od żądanych własności i zastosowania. Brązy fosforowe przeznaczone do przeróbki plastycznej nie mogą zawierać ołowiu.

Brązy fosforowe wykazują szereg korzystnych własności, jak podatność do przeróbki plastycznej na zimno i dużą wytrzymałość mechaniczną, stosunkowo łatwo jest nadawać im potrzebny kształt. Brązy fosforowe są odporne na zmęczenie, mają dobre własności sprężyste i mały współczynnik tarcia względem większości metali, są ponadto dobrym przewodnikiem ciepła i prądu elektrycznego. Jedną z bardzo ważnych zalet jest odporność na tak zwane sezonowe pękanie. Odporność na korozję jest prawie równa odporności czystej miedzi. Ponadto brązy fosforowe są niemagnetyczne i w wyniku odpowiednio dużej przewodności cieplnej oraz twardości — nie iskrzą. Stopy te doskonale nadają się do urządzeń pracujących w niskich temperaturach. Dobre własności mechaniczne brązów fosforowych są wynikiem przede wszystkim umocnienia na skutek przeróbki plastycznej na zimno.

T a b l i c a I. Własności mechaniczne brązów fosforowych

Gatunek	Stan	Wytrzymałość na rozciąganie R_r (kG/mm²)	Twardość Brinella H_B (kG/mm²)
CuSn5P	miękki	34,0	38,0
	półtwardy	49,0	78,0
	twardy	57,0	87,0
	bardzo twardy	64,0	93,0
	sprężysty	70,0	95,0
	bardzo sprężysty	75,0	97,0
CuSn8P	miękki	42,0	50,0
	półtwardy	55,0	84,0
	twardy	65,0	93,0
	bardzo twardy	74,0	96,0
	sprężysty	78,0	98,0
	bardzo sprężysty	84,0	100,0
CuSn10P	miękki	46,0	55,0
	półtwardy	58,0	92,0
	twardy	70,0	97,0
	bardzo twardy	80,0	100,0
	sprężysty	85,0	101,0
	bardzo sprężysty	90,0	103,0

Tablica II. Udarność i twardość brązu krzemowo-manganowego CuSi3Mn1 w zależności od temperatury

Temperatura (°C)	Udarność (kGm/cm²)	Twardość H_B (kG/mm²)
20	10,0 — 15,0	88,0
100	8,0	72,0
300	6,0	65,0
500	4,5	50,0
800	3,0	—

Ze względu na wymienione własności brązy fosforowe znajdują zastosowanie w najrozmaitszych przyrządach i urządzeniach, jak sprężyny różnych typów, styki elektryczne, części aparatów elektrycznych i pomiarowych, pierścienie ślizgowe, elektrody do spawania. W tabl. I zestawiono własności mechaniczne brązów fosforowych różnych gatunków i w różnych stanach umocnienia. Brązy fosforowe produkuje się w kraju w postaci taśm i drutów.

Stopem zastępczym dla deficytowego — z uwagi na zawartość importowanej cyny — brązu fosforowego CuSn6P (6% cyny, 0,3% fosforu) z przeznaczeniem na sprężyny w aparatach i urządzeniach elektrycznych jest brąz aluminiowy CuAl5. Produkowany jest on w postaci taśm i drutów i wykazuje następujące własności: wytrzymałość na rozciąganie R_r = 60,0 kG/mm² i wydłużenie a = 10% dla stanu twardego oraz R_r = 70,0 kG/mm² i a = 3% dla stanu sprężystego. Stop zawiera następujące składniki: Al—4 do 6%, Ni — 0,5%, Fe — 0,5%, Zn — 0,5%, Mn — 0,5%, Si — 0,1%, P — 0,01%, Cu — reszta. Według posiadanych wiadomości stop ten nie jest w kraju produkowany.

Jednym z następnych materiałów, często stosowanych w przemyśle tele- i elektrotechnicznym jest brąz krzemowo-manganowy CuSi3Mn1, o następującym składzie chemicznym: Si — 2,75 do 3,50%, Mn — 1,0 do 1,3%, Fe — 0,3%, Cu — reszta. Stop ten ma dobre własności wytrzymałościowe (R_r = 90 kG/mm², a = 1%), dobrą odporność na korozję, jest niemagnetyczny i nie iskrzy. Wykazuje dobre własności w wysokich temperaturach. W tabl. II zestawiono zależność własności i twardości brązu krzemowo-manganowego CuSi3Mn1 od temperatury. Taśmy i druty z brązu krzemowo-manganowego są obecnie w kraju produkowane.

Jednym ze stopów o doskonałych własnościach zarówno mechanicznych jak i fizyko-chemicznych jest brąz berylowy. Ze względu na wysoką cenę metalicznego berylu nie produkowanego dotychczas w kraju, stop ten jest bardzo drogi i jedynie w nielicznych urządzeniach można z uwagi na charakter, warunki i bezpieczeństwo pracy uzasadnić jego stosowanie.

Standartowym stopem nadającym się do przeróbki plastycznej jest stop o zawartości 2,0% Be. Łączy on w sobie dobrą przewodność elektryczną i cieplną z cennymi własnościami mechanicznymi po obróbce cieplnej. Własności fizyczne i mechaniczne tego stopu zestawiono w tabl. III według danych niemieckich.

Brąz berylowy znalazł w przemyśle różnorodne zastosowanie, ponieważ materiał ten obejmuje — dzięki możliwości stosowania obróbki cieplnej — szeroką skalę własności mechanicznych i elektrycznych. W stanie po obróbce cieplnej brąz berylowy ma doskonałe własności plastyczne i może otrzymywać dowolne kształty. Prosta stosunkowo obróbka cieplna, polegająca na przesyceniu stopu i następnym jego starzeniu przy niższej temperaturze, pozwala uzyskać materiał o blisko dwukrotnie wyższej twardości i wytrzymałości na rozciąganie od tych materiałów, które można osiągnąć drogą przeróbki plastycznej na zimno. Poza tym stop jest niemagnetyczny, nie iskrzący oraz wykazuje dużą odporność na korozję i zmęczenie. Brąz berylowy nie podlega starzeniu naturalnemu w temperaturach pokojowych, lecz wymaga sztucznego starzenia przy temperaturze 300—350°C.

Stopy miedź-beryl mogą być przerabiane według ogólnie znanych i stosowanych metod technologicznych, ponadto zaś — co jest niezmiernie ważne dla użytkowników — mogą być łączone ze sobą zarówno drogą lutowania miękkiego i twardego, jak spawania.

Ogólnie stopy miedź-beryl można podzielić na stopy nadające się do przeróbki plastycznej oraz na stopy odlewnicze, przy czym każdy z tych rodzajów może być z kolei podzielony pod względem własności na dwie grupy. Pierwsza grupa to stopy o dużej wytrzymałości na rozciąganie, twardości i sprężystości, druga zaś — to stopy o dużej przewodności elektrycznej i cieplnej. Stopy pierwszej grupy zawierają powyżej 1% berylu, drugiej zaś poniżej 1,0% berylu. W tabl. IV podano składy chemiczne omówionych gatunków stopów miedź-beryl według danych amerykańskich.

Typowymi przykładami zastosowania powyższych stopów są na przykład sprężyny płaskie w urządzeniach wyłącznikowych wysokiego napięcia. Stosuje się obecnie również miedź berylową do sprężyn doprowadzających prąd elektryczny. Sprężyny takie nie mogą jednak być bezpośrednio łączone ze stykami, lecz należy je łączyć za pomocą lutowania lub spawania z końcówkami z metali szlachetnych lub innych stopów stosowanych na styki. Temperatura pracy części z miedzi berylowej nie może przekraczać 775°C.

Tablica III. Własności fizyczne i mechaniczne stopu CuBe2

Własność	Stan stopu		
	miękki (po żarzeniu)	twardy (po zgniocie)	obrobiony cieplnie (przesycony i starzony)
Twardość Vickersa H_V (kG/mm²)	100,0	220,0	340,0
Wytrzymałość na rozciąganie R_r (kG/mm²)	50,0	90,0	125,0
Wydłużenie a (%)	40,0	2,0	2,0
Oporność elektryczna $\left(\frac{\Omega\ mm^2}{m}\right)$	0,096	0,100	0,050
Przewodność cieplna $\left(\frac{cal}{cm \cdot sec \cdot °C}\right)$	0,21	0,16	0,27

Duża twardość oraz odporność brązu berylowego na ścieranie czyni ten materiał odpowiednim do wyrobu łożysk kulkowych niemagnetycznych, co ma szczególnie duże znaczenie w budowie elektrycznych urządzeń pomiarowych, zegarów i liczników. Ponadto brąz berylowy stosuje się na styki elektryczne i elektrody. Obecnie produkuje się w kraju taśmy i druty berylowe według technologii IMN.

Miedź chromowa jest stopem, który po obróbce cieplnej łączy znaczną wytrzymałość na temperatury średnio podwyższone z dobrą przewodnością elektryczną i cieplną. Produkowane stopy miedź-chrom zawierają na ogół 0,4 — 1,0% Cr, a często też i inne składniki, jak np. cynk, krzem i siarkę, których dodatki powodują polepszenie własności stopu. Dobre własności mechaniczne stopu miedź-chrom otrzymuje się przy wyższych temperaturach; są one zawsze stałe po upływie znacznych okresów czasu przy temperaturze ok. 400°C. W szczególnych przypadkach stopy te mogą wytrzymywać w krótkich okresach czasu temperaturę 600°C bez znacznego zmniejszenia twardości. Dopiero po dwóch godzinach pracy przy temperaturze 600°C twardość H_V zmniejsza

Tablica IV. Skład chemiczny stopów miedź-beryl

Składnik stopu	Stopy przerabiane plastycznie				Stopy odlewnicze		
	o dużej wytrzymałości		o dużej przewodności		o dużej wytrzymałości		o dużej przewodności
Be	1,90 — 2,15	1,60 — 1,80	0,45 — 0,60	0,25 — 0,50	2,00 — 2,25	2,60 — 2,85	0,55 — 0,70
Co	0,25 — 0,35	0,25 — 0,35	2,35 — 2,60	1,40 — 1,70	0,35 — 0,60	0,35 — 0,65	2,35 — 2,60
Ag	—	—	—	0,90 — 1,10	—	—	—
Cu	reszta	reszta	reszta	reszta	reszta	reszta	reszta

Tablica V. Własności elektryczne i mechaniczne stopów CuCr, CuCd, CuNiP oraz miedzi

Własność	CuCrl	CuCdl	CuNil P0,2	Cu
Wytrzymałość na rozciąganie R_r (kG/mm²)	47,0 – 56,0	35,0 – 47,0	44,0 – 56,0	30,0 – 33,0
Wydłużenie a (%)	25,0 – 18,0	10,0 – 5,0	25,0 – 16,0	15,0 – 10,0
Twardość Vickersa H_v (kG/mm²)	140 – 160	120 – 140	160 – 175	110 – 120
Przewodność elektryczna w stosunku do miedzi (%)	80 – 85	83	60	100

się o niecałych 20 jednostek. Stop ten wielokrotnie zastępował miedź kadmową przy produkcji elektrod spawalniczych lub zgrzewarek.

Ostatnio opracowano w IMN technologię produkcji prętów z miedzi chromowo-cynkowej, przeznaczonych na elektrody do zgrzewarek. Wobec dodatniego wyniku prób przemysłowych wyprodukowanych elektrod uruchomiana jest obecnie ich produkcja.

W tabl. V podano również porównanie własności elektrycznych i mechanicznych miedzi chromowej, miedzi kadmowej, stopu miedź-nikiel-fosfor oraz czystej miedzi o dużej przewodności.

Następnym stopem omawianej grupy jest stop miedź-nikiel-fosfor, będący stopem bardzo złożonym z punktu widzenia metalurgicznego. W trakcie długotrwałych i na szeroką skalę zakrojonych badań nad stopami tego typu wykazano, że mogą wydzielać się w czasie obróbki cieplnej trzy związki międzymetaliczne: Ni_5P_2, Ni_3P, Ni_2P, nie ma jednak dotychczas żadnego pewnego dowodu na to, że któraś z tych faz wydziela się. Stwierdzono jednak, że stosunek ciężarowy składników nikiel i fosfor równy 5 : 1 daje najlepsze wyniki z zachowaniem drugiego warunku, a mianowicie ażeby łączny procent obu składników wynosił 1,2 — 1,5%. Własności fizyczne i mechaniczne tego stopu, w stanie odlanym czy po przeróbce plastycznej, są najlepsze po obróbce cieplnej.

Jak przy miedzi chromowej dodatek siarki do tego stopu daje ogromną łatwość obróbki wiórowej bez szkodliwego wpływu na inne własności. W tabl. V zestawiono własności tego stopu, które wyjaśniają wielkie jego znaczenie w przemyśle elektrotechnicznym i spawalniczym.

Z punktu widzenia własności wymaganych od odlewu korzystny jest stop o względnie dużej przewodności, łatwotopliwy i posiadający równocześnie wyżej opisane własności fizyczne i mechaniczne. Jest on stosowany na elektrody do spawania punktowego, na rękojeści, uchwyty i stoły do spawania, na uchwyty elektrod do spawania łukowego i oporowego, na styki przerywaczy prądowych (do 400 A), wyłączniki obwodu, klamry do kabli trolejbusowych, końcówki do przewodów i kabli elektrycznych, zaciski, sworznie i śruby stykowe, dysze spawalnicze. Technologia produkcji półwyrobów z tego stopu nie jest jeszcze opracowana i produkcji krajowej nie podjęto. Zagadnienie będzie opracowane przez IMN w roku 1956.

Następne przewodowe stopy miedzi to stopy potrójne, a mianowicie: stop miedź — srebro — kadm oraz stop miedź — nikiel — krzem.

Pierwszy z nich, zawierający 3 — 6% Ag, 0,3 — 1,0% Cd, reszta miedź, posiada wytrzymałość na rozciąganie R_r = = 45 ÷ 55 kG/mm², wydłużenie a = 15% oraz przewodność elektryczną równą 82% przewodności czystej miedzi. Ponadto stop ten zachowuje swoje własności, a głównie twardość do temperatury 350 — 400°C. Według posiadanych wiadomości stop ten nie jest obecnie w kraju produkowany.

Drugi stop zawiera 0,7 — 2,2% Ni, 0,2 — 1,0% Si, reszta miedź. Własności mechaniczne tego stopu są następujące: wytrzymałość na rozciąganie R_r = 40 — 70 kG/mm², wydłużenie a = 12%, zaś przewodność elektryczna wynosi 69% przewodności czystej miedzi. Fazą utwardzającą w tym stopie jest Ni_2Si — krzemek niklu. Ten typ stopu produkowany jest jako brąz tzw. „kuprodur". Stopu tego obecnie nie produkuje się w kraju.

Stopy aluminium. Od roku 1920 jako materiał zastępczy na przewody aluminiowo-stalowe używany jest coraz częściej stop aldrej, którego skład chemiczny jest następujący: Si 0,2 ÷ 1,0%, Mg 0,2 ÷ 1,0%, Al — reszta. Własności fizyczne i mechaniczne tego stopu konieczne dla zastosowania go w budowie linii wysokiego napięcia uzyskuje się na drodze obróbki cieplnej — wykorzystując znaczną rozpuszczalność krzemu w roztworze Al α — w stanie ciekłym. Po obróbce cieplnej — z uwzględnieniem ustalonego stopnia uprzedniej przeróbki plastycznej na zimno—własności mechaniczne stopu aldrej są następujące: wytrzymałość na rozciąganie R_r = 30—35 kG/mm², wydłużenie a = 5—9%, twardość Brinella H_B = 70—80 kG/mm². Stop ten ma przewodność elektryczną tylko o 10% mniejszą od przewodności czystego aluminium przy jednocześnie dwa razy większej wytrzymałości na rozciąganie i jest w kraju produkowany.

Stopy cynku. Stopy cynk-aluminium oraz cynk-żelazo wykazują dobre własności jako materiał na przewody elektryczne. Początkowo stosowano stop ZnAl1 posiadający dobrą podatność do przeróbki plastycznej. W próbnych jednak badaniach eksploatacyjnych stop ten wykazał małą wytrzymałość na pełzanie i małą odporność na korozję międzykrystaliczną.

W wyniku długotrwałych prób i badań wybrano — jako zastępczy materiał przewodowy — stop ZnFe, zawierający 0,1 — 0,2% Fe. Żelazo w stopie tym występuje w postaci nieregularnie rozmieszczonej heterogenicznej fazy $FeZn_{13}$, zawierającej 6% Fe. Obecność tej fazy w cynku powoduje duży wzrost jego wytrzymałości na pełzanie.

Przewodnictwo elektryczne stopu ZnAl1 oraz stopu ZnFe jest znacznie mniejsze od przewodnictwa aluminium i wynosi dla stopu ZnAl1 16,8 $\frac{m}{\Omega mm^2}$, dla stopu ZnFe 15,8 $\frac{m}{\Omega mm^2}$.

Własności drutów o średnicy 2,0 mm ze stopu ZnFe, wyprodukowanego w kraju, są następujące: wytrzymałość na rozciąganie R_r = 15,8 kG/mm², wydłużenie a = 44%, przewodność elektryczna γ = 16,1 $\frac{m}{\Omega mm^2}$.

Technologia produkcji drutów obu omawianych stopów opracowana została przez IMN i może być wykorzystana przez przemysł.

Stopy srebra. Jednym z typowych materiałów stykowych dla samochodowych urządzeń elektrycznych jest stop srebro-kadm-nikiel o składzie chemicznym:

Ag — 73,4 — 76,8%, Ni — 0,2 — 0,6%, Cd — reszta.

Stop produkowany jest obecnie w kraju według technologii IMN i dostarczany w postaci drutów o średnicach 1,0 i 1,6 mm w stanie miękkim (po wyżarzeniu), przy czym jego własności mechaniczne są następujące: wytrzymałość na rozciąganie R_r = 25,0 — 35,0 kG/mm², wydłużenie a = 35%.

Stopy niklu. Druty z niklu manganowego o zawartości 2,5% Mn oraz 5,0% Mn znajdują dwojakie zastosowanie: o średnicach 1,5 i 2,0 mm jako elektrody świec zapłonowych oraz o średnicach od 0,1 do 0,04 mm jako materiał zastępczy dla molibdenu na siatki do lamp elektronowych.

Oporność właściwa tych drutów jest następująca:

$$NiMn - \rho_{20} = 0{,}13 - 0{,}17 \frac{\Omega\ mm^2}{m},$$

$$NiMn5 - \rho_{20} = 0{,}18 - 0{,}23 \frac{\Omega\ mm^2}{m},$$

Druty cienkie o średnicy 0,1 — 0,04 mm mają następujące własności mechaniczne:

NiMn2,5 — stan twardy, R_r = 65 kG/mm², a = 1,0 — 3,0%,
„ „ — stan miękki, R_r = 38 „ „ , a = 35,0 — 45,0%,
NiMn5 — stan twardy, R_r = 75 „ „ , a = 1,0 — 3,0%,
„ „ — stan miękki, R_r = 52 „ „ , a = 15,0 — 25,0%

Oba gatunki stopów niklowych w postaci drutów są obecnie produkowane w kraju.

Materiały bimetalowe. Niska wartość wytrzymałości na rozciąganie aluminium powoduje, że przewody aluminiowe nie mogą mieć tak wielkiej rozpiętości jak przewody miedziane. Z tego też względu od dawna produkuje się za granicą tzw. stalowo-aluminiowe przewody skonstruowane w ten sposób, że dokoła 7 pocynkowanych drutów stalowych owija się jeszcze co najmniej dwie warstwy drutów aluminiowych. Stosunek przekrojów w tych linkach wynosi 1 : 4 do 1 : 6, wytrzymałość zaś na rozciąganie R_r = 30—45 kG/mm². Wadą tych lin jest większy — w stosunku do aluminium — ciężar, mniejsza elastyczność i niska wartość odpadów.

Tablica VI. Zestawienie metali stopów przewodowych oraz ich własności mechanicznych i fizycznych

Materiał	Stan	Skład chemiczny	R_r (kG/mm²)	a (%)	H_B (kG/mm²)	H_R (kG/mm²)	Przewodność w procentach przewodności miedzi *)
Srebro	miękki	99,95	16,0	50,0	25,0	—	106,0
Miedź	miękki	Cul — 99,9	22,0	38,0	44,0	—	100,0
„	twardy	„ „	35,0	18,0	90,0	58,0	98,0
Brąz tellurowy	twardy	CuTe 0,5	37,0	10,0	—	54,0	90,0
Brąz kadmowy	miękki	CuCdl	40,0	20,0	115,0	65,0	85,0
„ „	twardy	„	70,0	2,0	—	—	85,0
Brąz chromowy	po obróbce cieplnej	CuCr 0,5 Ag 0,1	55,0	25,0	145,0	85,0	84,0
Brąz chromowy	„ „ „	CuCr 0,5 Zn 0,2	33,0	20,0	100,0	—	83,0
Brąz cyrkonowy	„ „ „	CuCr 0,15	44,0	5,0	—	—	82,6
Brąz cyrkonowy	„ „ „	CuZr 0,5 Be 0,1	47,0	—	—	—	81,0
Brąz chromowy	„ „ „	CuCr 0,4 Be 0,1	38,0	6,0	—	—	75,0
Brąz chromowy	„ „ „	CuCr 0,9 Si 0,1 Fe 0,07	55,0	16,0	—	82,0	75,0
Brąz srebrowy	„ „ „	Cu Ag6	100,0	5,0	—	—	70,0
Kuprodur	twardy	CuNi 1,5 Si 1,0	50,0	12,0	—	—	69,0
Brąz cynowy	twardy	CuSn 0,5	45,0	8,0		75,0	65,0
Aluminium	miękki	Al1 99,7	14,0	45,0	5,0	—	57,0
Brąz berylowy	po obróbce cieplnej	CuBe 0,4 Co 2,5	77,0	20,0	220,0	94,0	55,0
Brąz cyrkonowy	„ „ „	CuZr1 Be 0,5	55,0	—	90,0	50,0	52,0
Brąz nikl.-tellur.	twardy	CuNi 1 Te 0,5 P0,2	53,0	20,0	—	85,0	50,0
Brąz chromowy	po zgniocie i po obróbce cieplnej	CuCr 0,5	55,0	—	140,0	—	50,0
Brąz cyrkonowy	po obróbce cieplnej	CuZr 0,5 Be 1,5	86,0	—	250,0	—	50,0
Brąz tytanowy	„ „ „	CuTi 0,8 Si 0,3	31,0	16,0	77,0	—	41,0
Brąz Korzona	„ „ „	CuNi 2,5 Si 0,6	55,0	8,0	200,0	—	40,0
Brąz cynowy	twardy	CuSn 1,5	52,0	5,0	—	80,0	40,0
Brąz berylowy	po obróbce cieplnej	CuBe 2,2	80,0	1,0	400,0	—	34,0
Brąz telefoniczny	miękki	CuCd 0,15 Sn 0,15 Mg 0,3	30,0	40,0	—	—	33,6
„ „	twardy		75,0	2,0	—	—	—
„ „	miękki	CuCd 0,3 Sn 0,5 Mg 0,4	32,0	40,0	—	—	23,0
„ „	twardy		65,0	2,0	—	—	—

*) Wg PNE „miedź wzorcowa" $\gamma = 58 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$

Ponadto opracowano już za granicą — szczególnie we Francji, a także i w Polsce — technologię produkcji bimetalowych drutów jezdnych stal-aluminium dla trakcji trolejbusowej.

Poważną pozycję wśród wyrobów zapotrzebowanych przez przemysł telekomunikacyjny stanowią druty przewodowe na napowietrzne linie łączności, produkowane dotychczas w większości przypadków z czystej miedzi, względnie z brązów o dużej zawartości miedzi.

Duże oszczędności miedzi, dochodzące do 70%, można osiągnąć wprowadzając jako materiał na przewody telekomunikacyjne druty bimetalowe stal-miedź. Druty tego gatunku mają rdzeń z żelaza „armco" oraz płaszcz z miedzi elektrolitycznej (stanowiący 30 względnie 40% powierzchni całego przekroju drutu) i wykazują małą oporność elektryczną $\left(R = 5{,}2 \frac{m\ \Omega}{m}\right)$ przy dobrych własnościach mechanicznych (R_r = 75,0 kG/mm²), technologicznych i antykorozyjnych. Druty tego gatunku produkuje nasz przemysł kablowy od kilku lat.

Do produkcji lamp żarowych i elektronowych potrzebne są druty płaszczowe do wtapiania w szkło, posiadające określone własności mechaniczne, określoną przewodność elektryczną oraz niski współczynnik rozszerzalności liniowej, odpowiadający takiemu współczynnikowi szkła, ażeby w wyniku wtapiania dawać gwarancję zachowania próżni w miejscu wtopienia. Przez drut płaszczowy rozumiemy drut bimetalowy, którego rdzeń jest ze stopu FeNi42, a płaszcz stanowi równomierną — ściśle określonej grubości, dobrze przylegającą — warstwę twardej elektrolitycznej miedzi. W celu zapewnienia tych własności drut powinien mieć określony stosunek wagowy płaszcza miedzianego do rdzenia. Dawniej do tego celu używano drutu platynowego, który jednak ze względów gospodarczych zastąpiono omawianymi drutami. Technologia produkcji drutów została opracowana przez IMN i jest obecnie wprowadzona w skali przemysłowej. Własności produkowanych drutów są — zgodnie z warunkami firmy Philips — następujące: średnica 0,25 — 0,50 mm, R_r = 75,4 kG/mm², oporność właściwa $4{,}8 \cdot 10^{-6}$ Ω.cm.

Na zakończenie omawiania materiałów przewodowych zestawiono w tabl. VI najczęściej stosowane metale i stopy z uwzględnieniem ich składu chemicznego i stanu oraz podano ich własności mechaniczne, jak również przewodność w procentach przewodności czystej miedzi.

2. Materiały oporowe.

Stopy miedź-mangan. Materiały oporowe są to druty i taśmy ze stopów o dużej oporności właściwej (ϱ_{20}) oraz możliwie małym współczynniku cieplnym oporności (α). Dzielą się na dwa rodzaje w zależności od zakresu temperatur, w których mają pracować, oraz oporności właściwej w temperaturach pokojowych. Pierwsze z nich, to materiały o dużej oporności właściwej rzędu 0,8—1,6 $\frac{\Omega\ mm^2}{m}$ i zakresie temperatury pracy do 1300°C — tzw. materiały oporowe grzejne, znajdujące zastosowanie jako metalowe elementy grzejne przy budowie pieców elektrycznych oporowych, grzejników itp.

Druga grupa stopów oporowych znajduje zastosowanie przy budowie elektrycznych aparatów oporowych oraz oporników ścisłych. Wykazują one niższe wartości oporności właściwej — rzędu 0,4 — 0,5 $\frac{\Omega mm^2}{m}$, przy czym najwyższa dopuszczalna temperatura ich pracy wynosi 400°C.

Stopy przeznaczone na oporniki ścisłe muszą posiadać następujące własności elektryczne: a) odpowiednio dużą oporność właściwą w temperaturze otoczenia (ϱ_{20}), b) jak najmniejszy współczynnik cieplny oporności (α), c) małą siłę termoelektryczną w stosunku do miedzi (STE), d) dostatecznie stałą oporność w zależności od czasu.

Ponadto — ze względu na procesy przeróbki plastycznej przy produkcji taśm względnie drutów — stopy przeznaczone na oporniki muszą mieć odpowiednie własności wytrzymałościowe i plastyczne.

Typowym stopem tej grupy jest manganin. Wykazuje on bardzo dobre własności zarówno elektryczne, jak i mechaniczne. Skład chemiczny stopu jest następujący: Cu — 86,0%, Mn — 12,0%, Ni — 2,0%. Jego własności elektryczne i mechaniczne są zestawione w tabl. VII.

Stop ten znajduje zastosowanie na oporniki precyzyjne, mostki pomiarowe i osprzęt aparatury miernictwa elektrycz-

Tablica VII. Własności elektryczne i mechaniczne stopów oporowych

Materiał	Skład chemiczny (%)	ρ_{20} $\left(\frac{\Omega\ mm^2}{m}\right)$	$\alpha \cdot 10^{-5}$ przy 20°C	STE $\left(\frac{\mu V}{°C}\right)$	R_r (kG/mm²)	a (%)
Inmet drut	Cu 3,5 — 85,0 Mn 11,3 — 12,0 Al 2,6 — 3,6 Fe 0,5 — 1,5	0,434 — 0,457	+ 0, 20 — + 1,0	— 0,38	55,0 — 65,0	5,0
Inmet taśma		0,400	+0,20	—0,30	55,0 — 65,0	5,0
Manganin	Cu 86,0 Mn 12,0 Ni 2,0	0,430	+2,00	—1,00	50,0 — 55,0	25,0
Izabelin	Cu 84,0 Mn 13,0 Al 3,0	0,500	—2,00	+ 0,20	50,0 — 55,0	25,0
Konstantan	Cu 55,0 Ni 45,0	0,458	—3,38	—40,0	44,6	24,0
NBW	Ag 82,0 Mn 10,0 Sn 8,0	0,550	—4,00	—0,50	61,0	2,0
NBW 173	Ag 80,0 Mn 17,0 Sn 3,0	0,580	—10,50	—2,00	47,0	1,0
AgMn9	Ag 91,22 Mn 8,78	0,320	—4,00	—2,00	45,0	2,0

nego. W roku bieżącym IMN opracowuje technologię produkcji drutów i taśm z tego stopu. Jako zastępcze stopy dla manganinu można wymienić pozostałe stopy z układu miedź-mangan, a więc: inmet, pewną odmianę stopu — nowokonstantan oraz izabelin.

Skład chemiczny różnych stopów oporowych, jak również ich własności elektryczne i mechaniczne zestawiono w tabl. VII. Jak widać, stopy te różnią się między sobą bardzo nieznacznie. Produkowane są przeważnie jako druty, czasem jako taśmy według ogólnie znanych i stosowanych metod.

W celu otrzymania odpowiednich własności elektrycznych stopu istotny jest proces końcowej obróbki cieplnej drutu oraz proces starzenia gotowych oporników.

S t o p y m i e d ź - n i k i e l. Stopem oporowym używanym w postaci zarówno taśm jak i drutów, jest konstantan, zawierający 45% niklu oraz miedź. Jego własności elektryczne, gorsze od odpowiednich własności stopów układu miedź-mangan, pozwalają stosować go w budowie oporników technicznych. Elektryczne i mechaniczne własności stopu podano w tabl. VII.

S t o p y s r e b r o - m a n g a n. Stopy tej grupy stosowane były w Niemczech do wyrobu drutów oporowych na oporniki precyzyjne. Niektóre z tych stopów po odpowiedniej obróbce cieplnej uzyskują własności elektryczne, kwalifikujące je jako materiał do produkcji oporników precyzyjnych. Spośród tych stopów należy wymienić stopy oznaczone symbolami: NBW 108, NBW 173 oraz stop Ag Mn bez cyny. Własności elektryczne i mechaniczne tych stopów zestawiono również w tabl. VII.

3. Wnioski.

Przy zgłaszaniu do instytutów tematów prac naukowo-badawczych z dziedziny materiałów przewodowych i oporowych konieczne jest przede wszystkim właściwe ustalenie kierunkowej problematyki prac na lata 1956-60. Do instytutów powinny być zgłaszane zagadnienia przeanalizowane dokładnie pod względem zarówno ścisłego sprecyzowania tematu oraz jego zakresu, jak i celowości badań z punktu widzenia gospodarczego oraz technicznego.

Instytuty ze swej strony, opracowując nowe procesy technologiczne powinny tak wykonać badania, ażeby — po przeprowadzeniu prób technologicznych na skalę przemysłową na podstawie wyników przemysłowych prób eksploatacyjnych — wdrożenie opracowanej technologii nie przedstawiało zasadniczych trudności i pozwalało uruchomić daną produkcję.

Na podstawie omówionych w niniejszym referacie materiałów przewodowych i oporowych wydaje się rzeczą słuszną zlecenie odpowiednim instytutom naukowo-badawczym opracowanie strony technologicznej produkcji następujących półfabrykatów: 1) drutów z miedzi beztlenowej o dużej przewodności (CuOFHC), 2) prętów, płaskowników i profili z miedzi tellurowej CuTel oraz stopów CuAg5Cd1 i CuNiP, 3) drutów ze stopu izabelin.

Biorąc pod uwagę sytuację gospodarczą kraju należy pamiętać o oszczędności metali nieżelaznych, która powinna być uwzględniona przede wszystkim przez dobór stopów o jak najmniejszej zawartości składników najbardziej deficytowych oraz przez jak najdalsze obniżenie zużycia tych materiałów na jednostkę wyrobu. W związku z tym byłoby celowe zalecenie biurom projektowym i konstrukcyjnym analizowanie możliwości wprowadzenia oszczędnościowych stopów zastępczych zamiast dotychczas stosowanych stopów deficytowych.

Autor oczekuje wniosków z zakresu technologii nowych, dotychczas w kraju nie wytwarzanych półwyrobów z metali i stopów nieżelaznych ze strony elektryków, obeznanych ze szczegółami stosowania i warunkami pracy tych półwyrobów w aparatach i urządzeniach elektrycznych.

LITERATURA

K e e W. Les alliages à haute conductibilité (Revue de Métallurgie, t. 49, nr 2 (1952), str. 89)

Les emplois de l'aluminium dans l'électricité (Revue d'Aluminium, t. 29, nr 186 (1952), str. 96)

P e a r s e n B. M. Copper-silver alloy wire (Wire Industry t. 17, nr 201 (1950), str. 755)

G e r r i t t s e n A. N. The electrical resistance of silver-manganese alloys at low temperatures (Physica, t. 17, nr 6 (1931), str. 573

K r a h l F. Sliatiny medi o vysokych hodnotach mechanickych a elektrickej vodivosti (Hutnicke listy, t. 2 (1952), str. 71—72)

ASTM B 105 — 39 Copper and Copper-Alloy Wires for Electrical Conductors

D e s i n g e r W. Kupfer-Beryllium-Legierungen und ihre technische Verwendung (Metall, t. 11 (1952), str. 439)

O s t a s z e w i c z J. Stalowo-aluminiowe przewody jezdne (Wiadomości Elektr., z. 11 (1951), str. 241).

GOST 1789-42 Pasy i taśmy z brązu berylowego

TW-CMO, 03-1-49 Pasy z brązu berylowego przeznaczone do wyrobu sprężyn kontaktowych do mikrowyłączników

R i t c h a r d s J. T. Berylium Copper (Materials and Methods, t. 58 (1950), str. 75)

B u n g e G., H a n a k E. Über die Eigenschaften einer technisch verwendbaren Kupfer-Chrom Legierung (Zeitschrift für Metallkunde, nr 2 (1953), str. 71)

M i s i o ł e k Z. Taśmy oporowe ze stopu „inmet" (Prace Inst. Min. Hutnictwa, z. 3 (1953), str. 119)

K r u p k o w s k i A., M i s i o ł e k Z. Wytwarzanie i własności drutów oporowych o składzie 82,5% Cu, 12,0% Mn, 4,0% Al 1,5% Fe (Prace badawcze GIMO, z. IV (1950), str. 273)

M i s i o ł e k Z., W u s a t o w s k i R. Metoda produkcji bimetalowych drutów przewodowych miedź-stal (Prace Instytutu Metalurgii, z. 1, 1952)

MGR INŻ. ADAM SEMKOWICZ
Huta Baildon

Materiały oporowe na elementy grzejne

691.7:621.316.8:621.36

Treść. Podłoże ekonomiczno-gospodarcze dla produkcji materiałów oporowych NiCr i Fe-Cr-Al. Klasyfikacja gatunków pod względem głównych składników i przeznaczenia. Badanie porównawcze materiałów oporowych produkcji krajowej i zagranicznej. Zagadnienia technologiczne, możliwości rozwojowe, polepszanie jakości produkcji.

1. Podłoże ekonomiczno-gospodarcze dla produkcji materiałów oporowych Ni—Cr i Fe—Cr—Al.

W miarę wzrostu uprzemysłowienia kraju oraz wzrostu stopy życiowej społeczeństwa wzrasta — i to gwałtownie — zapotrzebowanie materiałów oporowych do celów grzejnych. Elektryczne piece grzejne w wielu gałęziach przemysłu wyparły w znacznej mierze lub nawet całkowicie piece innych rodzajów, gdyż są wygodniejsze i tańsze w eksploatacji, a dając możliwość dokładniejszej regulacji temperatury, zmniejszają braki w produkcji, wynikające z trafiających się odchyleń od przepisanych temperatur nagrzewania.

W grzejnictwie domowym rozpowszechniają się coraz więcej najrozmaitsze rodzaje grzejników zarówno kuchennych, jak i do ogrzewania wnętrz. Ogromny postęp w zakresie elektryfikacji miast i wsi stworzył wielki popyt na tego rodzaju urządzenia.

W takich warunkach zagadnienie krajowej produkcji materiałów oporowych do celów grzejnych nabiera specjalnej wagi. Chodzi tu z jednej strony o uniezależnienie się od zagranicy w zakresie dostawy tych materiałów, z drugiej strony o postęp techniczny samego hutnictwa, o dalsze rozszerzenie naszej produkcji przemysłowej.

Grzejnictwo elektryczne dzielimy pod względem temperatury pracy na 3 kategorie: niskich, średnich i wysokich temperatur. Przyjęto normalnie granicę grzejnictwa niskich temperatur około 500°C, średnich 500 — 1000°C i wysokich powyżej 1000°C. W zależności od tego zakresu zastosowania mamy również praktyczny podział materiałów oporowych. Dla grzejnictwa niskich temperatur stosuje się najczęściej materiały oporowe o mniejszej zawartości składników stopowych typu fechral (ok. 14% Cr) lub fox A7 (Cr, Mn). Dla średnich temperatur stosuje się stopy i stale oporowe austenityczne (niklowe) w gatunku Cr-Ni 80/20, KNS12 oraz z grupy stopów ferrytycznych (chromowe) baildonal 12 (B-12), baildonal 10 (B-10), chromel, megapyr, kanthal itp. Dla grzejnictwa wysokich temperatur stosuje się elementy ceramiczne (sylitowe) oraz z materiałów oporowych metalicznych częściowo chromonikielinę (do 1150°C), kanthal A i A1 (do 1300°C), B-12 (do 1150°C). Niżej będzie wyjaśniony stopień opanowania produkcji materiałów oporowych grzejnych w poszczególnych zakresach temperatur.

Stopy niklowe do niedawna miały dominującą przewagę pod względem swego rozpowszechnienia. Niezbyt skomplikowana technologia produkcji tych stopów, innymi słowy łatwa ich fabrykacja, a z drugiej strony nadzwyczaj intensywnie rozwinięta sieć agentur sprzedaży niklu spowodowały niemal powszechne stosowanie stopów niklowych na elementy grzejne.

Stopy chromowe znane ze swych doskonałych własności, które predestynują je na materiały grzejne, już od 40 lat z górą zdobywają sobie z trudem teren zastosowania zwłaszcza dlatego, że są niełatwe w fabrykacji. Gdy przed drugą wojną światową dosyć liczne firmy potrafiły produkować stopy i stale oporowe z grupy niklowej (austenityczne), to tylko nieliczne umiały poradzić sobie z trudną produkcją stopów bogatych w chrom (ferrytycznych).

Nikiel jest obecnie na całym świecie metalem deficytowym. Z żalem należy wspominać te lata przeszłości, kiedy lekkomyślnie niszczono nikiel w elementach grzejnych. Dziś stopy ferrytyczne Fe-Cr-Al wypierają coraz szybciej przereklamowaną chromonikielinę i są tańsze przy dobrze opanowanej produkcji; wykazują dobrą żaroodporność, a ich wysoki opór właściwy, przewyższający opór chromonikieliny, pozwala na zaoszczędzenie ok. 1/3 ilości materiału oporowego potrzebnego do uzbrojenia urządzenia piecowego. Ponieważ przejście z uzbrojenia chromonikielinowego na baildonalowe może wymagać pewnych zmian konstrukcyjnych, zagadnienie powinno być dokładnie przeanalizowane.

W latach przedwojennych hutnictwo krajowe produkowało w zakresie materiałów oporowych jedynie gatunek KNS 12 (25/20). Produkcja własna zaspokajała więc zaledwie tylko skromny odcinek krajowego zapotrzebowania, wobec czego główną rolę odgrywał import. Sprowadzano głównie angielską chromonikielinę i szwedzki kanthal.

Nasz przemysł hutniczy od czasu ukończenia wojny zrobił w zakresie produkcji materiałów oporowych duży krok naprzód. Oprócz dawnego gatunku KNS 12, który właściwie znajduje coraz mniejsze zapotrzebowanie, opanowaliśmy produkcję chromonikieliny 80/20 oraz materiałów ferrytycznych typu kanthal, które są znane u nas pod nazwą B-12 i B-10.

2. Specyfikacja gatunków.

a) Materiałom oporowym do celów grzejnych stawia się następujące wymagania: duży opór właściwy, znaczną wytrzymałość na rozciąganie w wysokich temperaturach, dużą odporność na utlenianie w temperaturze pracy, łatwą obrabialność i spawalność, opłacalność gospodarczą i łatwość uzyskiwania surowców. To ostatnie wymaganie nabiera w obecnych warunkach gospodarczych szczególnego znaczenia.

Stopy, których głównym składnikiem jest nikiel, miały i mają do czasów obecnych szerokie zastosowanie w grzejnictwie. Dzielimy je na dwie grupy: stopy niklowo-chromowe bez żelaza i stopy niklu i chromu z żelazem. Z obu tych grup eksploatujemy w grzejnictwie jedynie stopy składające się z roztworów stałych, a więc jednofazowe. Tabl. I podaje własności najważniejszych z nich.

b) Nikiel jako dodatek stopowy wprowadza dużą odporność na utlenianie i korozję w temperaturach podwyższonych. Stopy te jednak nie są odporne na działanie siarki i nie mogą być stosowane w takich urządzeniach, w których atmosfera zawiera siarkę. Tworząc z chromem roztwór stały ciągły, stop zawierający 80% Ni i 20% Cr (znany pod nazwą chromonikieliny) jest klasycznym tworzywem jednofazowym, nie podlegającym żadnym przemianom, co właśnie predestynuje go do pracy w wysokich temperaturach.

Stop o składzie 80/20 może pracować przy temperaturze 1150°, a więc jest to stop częściowo zaspokajający potrzeby grzejnictwa wysokich temperatur. Wytrzymałość na rozciąganie w temperaturach wysokich jest znaczna. Ta właśnie zaleta pozwala na wygodniejszą instalację elementów grzejnych w piecu elektrycznym, co stanowi przewagę w stosunku do materiałów oporowych ferrytycznych, mających w temperaturze pracy bardzo małą wytrzymałość na rozciąganie.

W stosunku do chromonikieliny 80/20 stopy Fe-Cr-Ni ustępują pod względem zarówno żaroodporności, jak i innych własności. Graniczna temperatura stosowania tych stopów wynosi ok. 1050°C.

Z zakresu gatunków niklowych oprócz chromonikieliny 80/20 produkujemy stal, nadającą się do fabrykacji elementów grzejnych, o starym symbolu KNS-12 oraz gatunek fox A7,

Tablica I. Skład chemiczny i własności stopów Cr—Ni

Stop	Chromonikielina*)	Cronifer	Kontracid	KNS 12*)
Skład chemiczny	Cr 80% Ni 20%	Ni 70% Cr 20% Fe 8% Mn 2%	Ni 60% Cr 15% Fe 15% Mo 7% Mn 2% Si 1%	Cr 25% Ni 20% Mn 2,5% Fe — r
Temperatura topnienia (°C)	1400	1395	1365	1360
Struktura	austenityczna			
Temperatura zastosowania (°C)	1150	1050	1150	1000
Oporność (Ω mm²/m przy 20°C)	1,10	1,11	1,16	0,86

*) Produkowany w kraju.

Tablica II. Skład chemiczny i własności stopów Fe—Cr—Al

Stop	B-10, megapyr, fechral*)	B-12*)	Kanthal A
Skład chemiczny	Cr 18% Al 5,5% Fe 76,5%	Cr 27% Al 5,5% Fe 67,5%	Cr 25% Al 5,5% Co 2% Fe 67,5%
Temperatura topnienia (°C)	1510	1510	1500
Struktura	ferrytyczna		
Oporność (Ω mm²/m przy 20°C)	1,3 — 1,5	1,4 — 1,6	1,45
Temperatura zastosowania	900 — 1000°	1100—1200°	1300°

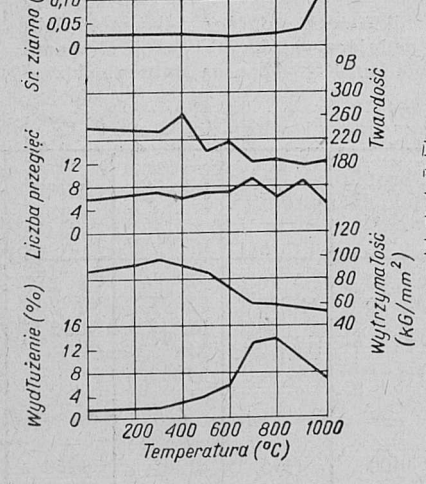
*) Produkowany w kraju.

który jednakże staramy się wycofać z produkcji jako materiał oporowy grzejny z uwagi na jego małą żaroodporność.

c) Jak już wspomniano, na czoło materiałów oporowych wysunęła się zdecydowanie grupa stopów ferrytycznych z układu Fe-Cr-Al. Oprócz tych 3 składników niektóre gatunki zawierają jeszcze dodatek Co oraz bardzo małe dodatki niektórych metali ziem rzadkich, a mianowicie Cr i Ca. Tabl. II podaje skład chemiczny i własności najważniejszych stopów z tej grupy. Stopy te cechuje duży opór właściwy, który dla B-10 wynosi 1,36 Ω mm²/m, dla stopu zaś B-12 wynosi 1,42 Ω mm²/m. Współczynnik zmiany oporu stopów z temperaturą jest mały, znacznie korzystniejszy niż dla stopów Ni-Cr-Fe. Wysoka temperatura topliwości oraz duża odporność na utlenianie w temperaturach pracy pozwalają na stosowanie tej grupy stopów do wyższych temperatur niż te, które są dopuszczalne dla stopów niklowych. Materiały ferrytyczne daje się stosunkowo łatwo obrabiać, a surowce ich są dostępne.

Proces fabrykacji wymienionych stopów nastręcza sporo trudności, jednakże opanowanie technologii pozwala na uzyskiwanie dużej wydajności przy niewielkiej ilości braku.

Typową wadą materiału ferrytycznego jest skłonność do



Rys. 1. Wpływ temperatury wyżarzania na własności mechaniczne twardo ciągnionego stopu B-10 (20% Cr, 5% Al, reszta Fe)

rozrostu ziarna w czasie pracy. Drugą wadą jest stosunkowo mała wytrzymałość w wysokich temperaturach. Powoduje to konieczność stosowania specjalnego systemu podparcia i wyłącza możliwość zawieszania elementów, które jest wygodniejsze i lepsze.

Drut po przeróbce ciągarskiej jest twardy i wymaga zmiękczenia. Również taśma w stanie walcowanym jest zbyt sztywna i nie nadaje się bezpośrednio do formowania spiral elementów grzejnych. Potrzebna jest dodatkowo obróbka cieplna, polegająca na wyżarzeniu w zakresie temperatur 650 — 750°C i szybkim studzeniu. Operacja ta jest łatwa do wykonania w każdym warsztacie przy pomocy krótkotrwałego przepuszczenia prądu elektrycznego przez zwój drutu. Wykres na rys. 1 przedstawia wpływ temperatury nagrzewania na własności stopu oporowego o składzie chemicznym 20% Cr, 5% Al, reszta Fe (B-10). Materiały oporowe Fe-Cr-Al mogą stać się kłopotliwe w zastosowaniu np. do opornic rozruchowych silników elektrycznych (tramwajowych), które w pewnych okresach pracy uzyskują właśnie tego rzędu temperatury. Nie wynika z tego bynajmniej zasada niestosowania tych materiałów na opornice silników elektrycznych, chodzi jednak o właściwe rozwiązanie konstrukcyjne, które by te trudności usuwało. Zagadnienie to zasługuje na specjalną uwagę i powinno być przedmiotem dyskusji.

Bardzo duży wpływ na trwałość pracy materiałów opornikowych ma dodatek pierwiastków ziem rzadkich. Dodatek Zr i Ca w ilości ok. 0,01% każdego z nich podnosi kilkakrotnie trwałość w pracy. Stopy naszej produkcji tych dodatków nie zawierają.

Stopy kanthal zawierają ok. 2% kobaltu. Dodatek ten podnosi w pewnym stopniu wytrzymałość na rozciąganie w temperaturach pracy. Stopy naszej produkcji, jak również stopy radzieckie tej samej grupy, są bez kobaltu. Wynika stąd praktycznie konieczność stosowania tych materiałów do temperatur poniżej 1250°.

Należy pamiętać jeszcze o tym, że dla pełnego wyzyskania wartości materiałów oporowych Fe-Cr-Al potrzebne jest specjalne podłoże ogniotrwałe o jak najmniejszej zawartości tlenku żelaza, który działa rozkładająco na ochronną warstewkę Al_2O_3 zabezpieczającą przed utlenianiem się w głąb materiału. Stąd wynika pewne zalecenie co do wymurowania pieca, jeżeli ma być stosowana taśma lub drut Fe-Cr-Al.

3. Badania jakościowe.

Badania jakościowe składają się z następujących czynności: a) pomiar oporu właściwego przy temperaturze 20°C, b) pomiar oporu właściwego (w zależności od temperatury), c) wytrzymałość na rozciąganie w temperaturach normalnych, d) wytrzymałość na rozciąganie w temperaturach podwyższonych, e) żaroodporność w zakresie temperatur pracy, f) analiza chemiczna składu.

Pomiar oporu właściwego wykonuje się przy pomocy mostka Thomsona. Zasadniczo dla produkcji bieżącej wykonuje się normalnie dla każdego wytopu pomiar oporu właściwego przy temperaturze 20°, a pomiar zmiany oporu właściwego przy różnych temperaturach wykonuje się sporadycznie. Badanie wytrzymałości na rozciąganie obowiązuje również tylko dla materiałów prototypowych lub w wypadku wprowadzenia zmian technologicznych w fabrykacji. Badanie żaroodporności, tzn. stałości elementów w zakresie temperatur pracy, wykonuje się zasadniczo dla każdego wytopu, przyjmując z góry określoną stałą temperaturę kontroli. Dla materiałów prototypowych wykonuje się krzywą trwałości w zależności od czasu i temperatury. Stosowana metoda pomiaru jest zgodna z normą PN-53/MH/IM-10. Jest to zmodyfikowana metoda Basha i Harscha, polegająca na periodycznym żarzeniu i studzeniu próbki drutu o średnicy ok. 0,7 mm, przy czym czas zarówno żarzenia, jak i stygnięcia wynosi 2 minuty. Przy tej próbie utrzymujemy — w odróżnieniu od oryginalnej metody Basha i Harscha — stałą temperaturę próby, regulując prąd żarzenia.

Warunki powyższe są znacznie ostrzejsze niż w metodzie oryginalnej, dzięki czemu skraca ona czas trwania próby, który przeciętnie wynosi około 100 godzin dla określonej temperatury w danym gatunku stali.

Przy opracowywaniu nowych materiałów, wzgl. w razie zmiany technologii fabrykacji, przeprowadza się również próby robocze. Do tego celu służą piece wielkości półprzemysłowej oraz grzejniki gospodarstwa domowego. Próba trwałości w danym wypadku odbywa się w warunkach pracy ciągłej aż do czasu przepalenia się uzwojenia. W czasie trwania próby mierzy się zmianę oporu i zużycia mocy.

4. Porównanie jakości produkcji krajowej i zagranicznej.

Dla ustalenia jakości naszych materiałów oporowych grupy ferrytycznej porównywano je z odpowiednimi zagranicznymi. Badano opór właściwy i zmienność oporu właściwego z temperaturą, wytrzymałość na rozciąganie w wysokich temperaturach oraz trwałość. Z krajowej produkcji do badań użyto w grupie ferrytycznej B-10 i B-12, a z zagranicznych

Tablica III

Gatunek i numer wytopu	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Al (%)	Fe (%)
B 10 — 70471	0,04	0,4	0,5	0,004	0,010	19,7	0,1	5,5	r
B 12 — 70470	0,04	0,4	0,6	0,004	0,010	24,6	0,2	5,6	r
Megapyr Hereus	0,10	0,26	0,7	0,026	0,012	19,0	0,3	5,7	r
Kanthal A	0,06	0,03	0,4	—	—	25,4	0,15	5,3	r
						Co = 1,9%, Zr = 0,056%, Ca = 0,01%			
Cr Ni 80/20 87500	0,05	0,4	0,6	0,007	0,009	20,5	75,20	—	2,78
KNS 12 87734	0,18	1,7	1,4	0,016	0,018	23,6	17,8	—	r
Fox A7 30358	0,12	6,26	9,8	0,008	0,007	19,4	8,54	—	r
						Ti = 0,10%			

dla porównania badano oryginalny drut kanthal A i megapyr (Hereus). W grupie austenitycznej wykonano jedynie badania materiałów własnych wobec braku odpowiedników zagranicznych. Są to materiały Cr Ni 80/20 (odpowiednik chromonikieliny), KNS 12 i fox A7. W tabl. III podano symbole i skład chemiczny badanych materiałów.

Opór właściwy mierzony przy temperaturze otoczenia dla powyższych gatunków jest następujący:

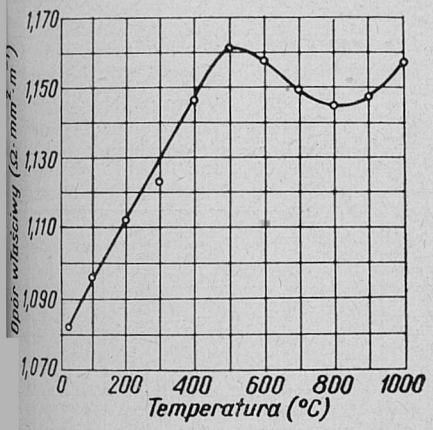
B-10	— 1,36	Ω mm²/m
B-12	— 1,41	,,
Kanthal A	— 1,42	,,
Megapyr (Hereus)	— 1,39	,,
CrNi 80/20	— 1,08	,,
KNS 12	— 0,9	,,
Fox A7	— 0,85	,,

turą, przedstawiono na rys. 2 — 7. Przebieg ten jest typowy dla powyższych gatunków stali i nie odbiega również od wzorów zagranicznych. Jest widoczna wyraźna różnica zachowania się materiałów niklowych szczególnie z grupy Fe-Ni-Cr w stosunku do grupy Fe-Cr-Al. Materiały tej drugiej grupy mają mały współczynnik zmiany oporu z temperaturą, z czego wynikają, oczywiście, korzyści przy projektowaniu i eksploatacji w stosunku do materiałów Fe-Ni-Cr.

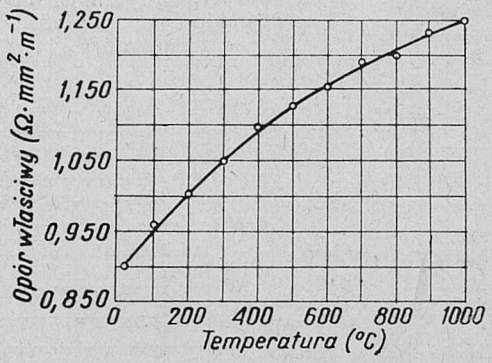
Procentowy wzrost oporności z temperaturą w zakresie 20° — 1000°C jest następujący:

B 10	— 7,5%,	Cr-Ni 80/20	— 7,5%,
B 12	— 3,5%,	KNS 12	— 39,0%,
Kanthal A	— 3,2%,	Fox A7	— 53,0%.
Megapyr (Hereus)	— 7,5%,		

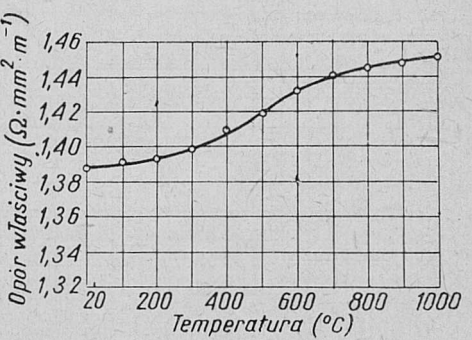
Procentowy wzrost oporności materiału B-10 w zależności od czasu pracy przedstawiono na rys. 8.



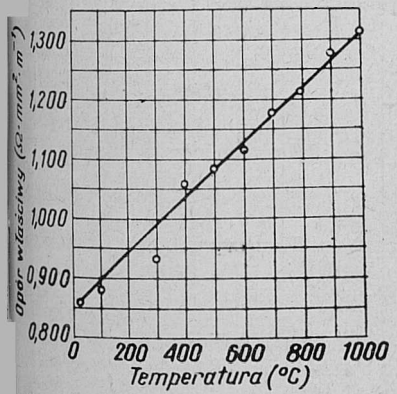
Rys. 2. Zmiana oporu właściwego drutu Cr20 Ni80 w zależności od temperatury



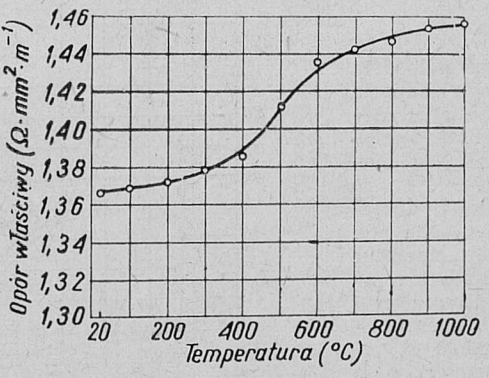
Rys. 3. Zmiana oporu właściwego drutu KNS 12 w zależności od temperatury



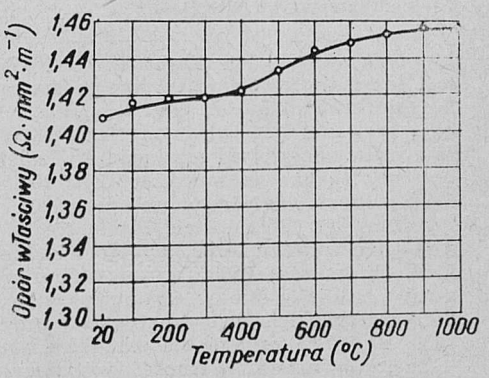
Rys. 4. Zmiana oporu właściwego drutu megapyr (o średn. 0,71 mm) w zależności od temperatury



Rys. 5. Zmiana oporu właściwego drutu fox A7 w zależności od temperatury



Rys. 6. Zmiana oporu właściwego drutu baildonal B-10 w zależności od temperatury



Rys. 7. Zmiana oporu właściwego drutu baildonal B-12 w zależności od temperatury

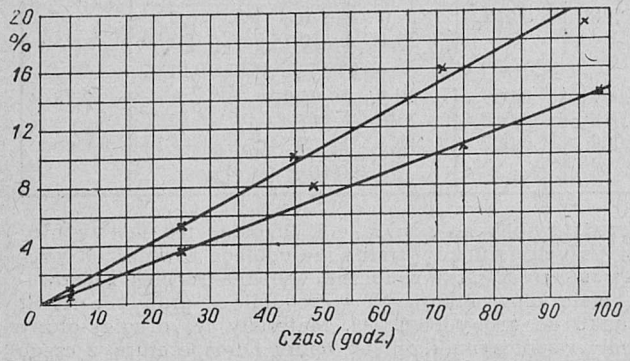
Jak wynika z podanych liczb, opór właściwy odpowiadających sobie gatunków w grupie ferrytycznej, a więc B-12 i kanthal A oraz B-10 i megapyr, jest ten sam.

Zmiany oporu właściwego z temperaturą wykonano na wszystkich naszych gatunkach oraz na materiale megapyr. Wykresy, ilustrujące przebieg zmienności oporu z tempera-

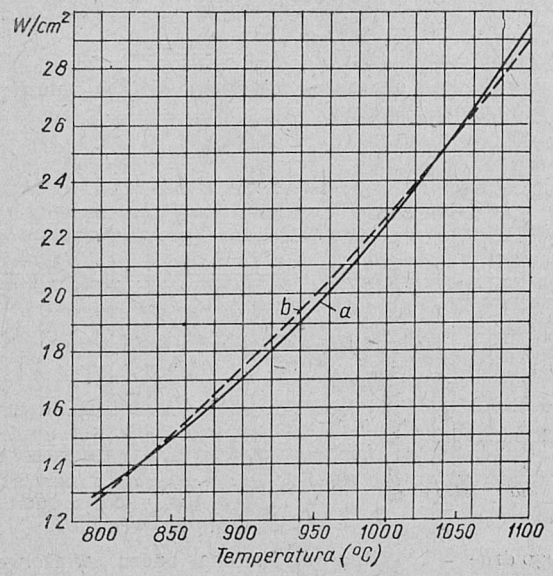
Obciążenie powierzchniowe stopu B-10 przedstawiono na wykresie rys. 9. Równocześnie na tym samym wykresie przedstawiono punkty obciążenia powierzchniowego kanthalu. Jak widać z rysunku, obie charakterystyki — praktycznie biorąc — pokrywają się. Można stąd wyciągnąć wniosek, że również dopuszczalna obciążalność po-

wierzchniowa, którą wyznacza się doświadczalnie, a która silnie maleje z temperaturą pracy elementu grzejnego w piecu, również będzie w obu materiałach jednakowa.

Wytrzymałość na rozciąganie materiałów ferrytycznych w temperaturach pracy jest blisko 3-krotnie mniejsza od wytrzymałości materiałów austenitycznych. Jest to ich poważna wada. Wytrzymałość ta jest tak mała, że elementy grzejne muszą być podparte na całej swej długości, gdyż w stanie zawieszenia ulegają zerwaniu pod własnym ciężarem. Wyniki pomiarów wytrzymałości na rozciąganie w zależności od temperatury podano na wykresach rys. 10 i 11.



Rys. 8. Procentowy wzrost oporności baildonalu B-10 w zależności od czasu pracy w temperaturze 1050°C
a — charakterystyka dla materiału B 70961 przy 1050°C
b — charakterystyka dla materiału B 70962 przy 1025°C

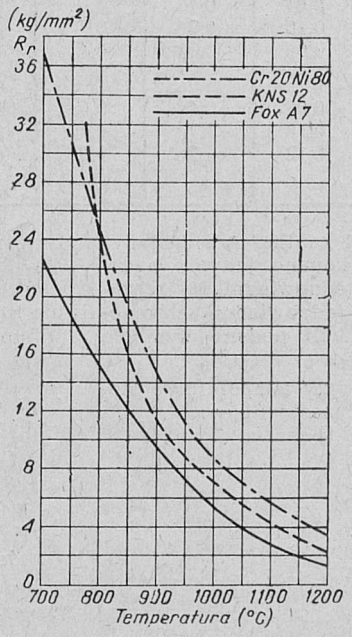


Rys. 9. Obciążenie powierzchniowe baildonalu B-10 w zależności od temperatury
a — charakterystyka dla materiału B 70961
b — charakterystyka dla kanthalu

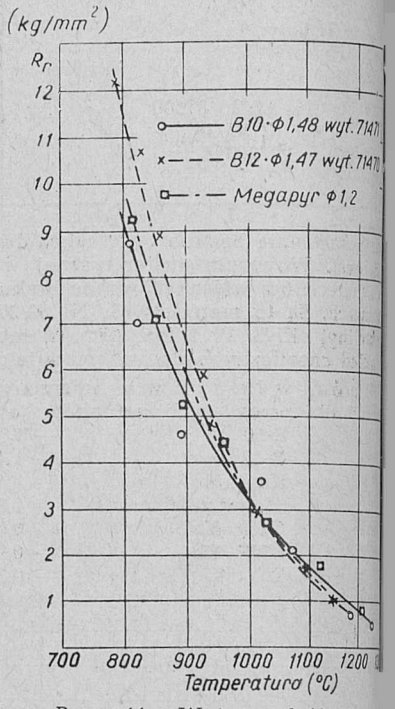
W zakresie temperatur powyżej 900° gatunki austenityczne (rys. 10) niewiele różnią się między sobą pod względem wytrzymałości, dopiero w zakresie temperatur niższych (poniżej 850°C) różnica ta uwydatnia się jaskrawo. Na ogół biorąc wytrzymałość w zakresie temperatur wysokich jest dosyć duża: przy temperaturze 1200° $R_r \cong 3{,}5$ kg/mm² dla gatunku Cr-Ni 80/20.

Znacznie niższe własności wytrzymałościowe mają gatunki ferrytyczne. Przy temperaturze 1200° wytrzymałość ich spada poniżej 1 kg/mm². Gatunki naszej produkcji w zasadzie nie odbiegają pod tym względem od produkcji zagranicznej. Należy tutaj dodać, że firma Kanthal dla podwyższenia wytrzymałości wprowadza do stopu około 2% Co.

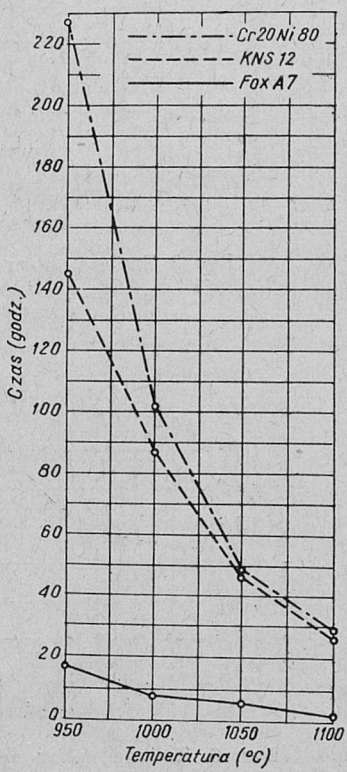
Zagadnienie zwiększenia wytrzymałości trwałej w temperaturach pracy elementów grzejnych Fe-Cr-Al powinno być przedmiotem specjalnych badań. Biorąc pod uwagę deficytowość kobaltu należałoby znaleźć możliwości podwyższenia wytrzymałości trwałej przy pomocy innych dodatków stopowych ekonomicznie dostępnych. Niezależnie od tego istniałyby pewne możliwości polepszenia sposobu instalacji elementów grzejnych Fe-Cr-Al. Wypróbowany przez nas sposób zawieszenia drutu oporowego na ogniotrwałej osi dał dobre rezultaty.



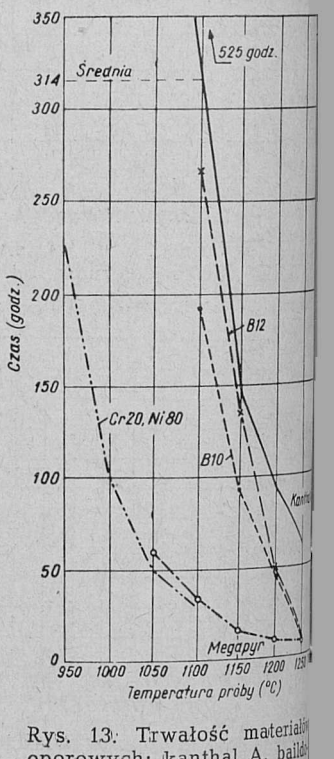
Rys. 10. Wytrzymałość drutów austenitycznych na rozciąganie w zależności od temperatury



Rys. 11. Wytrzymałość drutów ferrytycznych na rozciąganie w zależności od temperatury



Rys. 12. Trwałość drutu oporowego



Rys. 13. Trwałość materiałów oporowych: kanthal A, baildonal B-12, baildonal B-10, megapyr oraz Cr20 Ni80

Próbę trwałości (żaroodporności) w temperaturach pracy wykonano, jak już wspominano, przy pomocy zmodyfikowanej metody Basha i Harscha, ujętej w normie PN-53/M-04310. Badano materiały własne B-10 i B-12 oraz kanthal A i megapyr z grupy ferrytycznej Cr-Ni 80/20, KNS

i fox A7 z grupy austenitycznej. Wyniki tych prób podano na rys. 12 i rys. 13.

W grupie materiałów austenitycznych największą trwałość wykazuje materiał Cr-Ni 80/20. Materiał KNS 12 w zakresie temperatur ok. 1050 — 1100° wykazał trwałość niemal taką samą, jak materiał Cr-Ni 80/20. Znaczna różnica trwałości uwidocznia się w zakresie niższych temperatur, tj. 950 — 1000°C. Jeżeli przebieg krzywej trwałości dla gatunku KNS 12 przyjąć za normalny, to dla Cr-Ni 80/20 krzywa biegnie zbyt nisko. Świadczy to raczej o tym, że ten gatunek materiału oporowego nie jest przez nas jeszcze dostatecznie opanowany. Jego trwałość w temperaturze ok. 1000°C powinna być znacznie większa niż materiału KNS 12.

Materiał fox A7 nie odpowiada właściwie wymaganiom stawianym przeciętnym elementom grzejnym. Krzywa trwałości, jak to widać na rys. 12, biegnie znacznie poniżej krzywej trwałości KNS 12. Należałoby stąd wysunąć wniosek, że gatunek ten nie powinien być używany do fabrykacji elementów grzejnych.

W klasie materiałów ferrytycznych naszej produkcji najlepszą trwałość wykazuje gatunek B-12, a następnie B-10. Gatunki B-10 i B-12 mają powyżej 1200° niemal jednakową trwałość, jak widać z rys. 13. Jest to, jak w omawianym wyżej wypadku stopów z niklem, objaw nienormalny. Gatunek B-12 powinien mieć wyższą trwałość w tym zakresie temperatur w stosunku do B-10. Dowodzi to konieczności poprawy przebiegu technologicznego. Dodanie metali ziem rzadkich Zr i Cr niewątpliwie poprawi sytuację. W stosunku do krzywej przebiegu trwałości materiału kanthal A materiał B-12, który jest jego odpowiednikiem, niewiele odbiega pod względem trwałości aż do temperatury 1150°. Powyżej tej temperatury zaczyna ujawniać się coraz większa różnica trwałości na korzyść kanthalu A. W temperaturze 1250°C przewaga kanthalu jest blisko 5-krotna. Jest to prawdopodobnie wynikiem dodania metali ziem rzadkich. Drut megapyr nie wykazał dobrych własności żaroodpornych i jego krzywa trwałości w stosunku do B-10, który jest jego odpowiednikiem, jest położona znacznie niżej. Szczególnie jaskrawo uwydatnia się różnica trwałości B-10 i megapyru w zakresie temperatur pracy ok. 1200°, gdzie B-10 jest ~ 4-krotnie lepszy niż megapyr.

Na rys. 13 dla porównania naniesiono krzywą trwałości chromonikieliny naszej produkcji Cr-Ni 80/20. Z porównania przebiegu krzywych widać, jak wielka jest różnica trwałości pomiędzy materiałami austenitycznymi i ferrytycznymi.

Wyciągając wnioski odnośnie produkowanych przez nas materiałów obydwu grup, należałoby stwierdzić, że produkcja gatunków ferrytycznych jest przez nas lepiej opanowana niż gatunków austenitycznych.

Oprócz badań laboratoryjnych wykonaliśmy również badania trwałości drutów i taśm naszej produkcji w sposób praktyczny. Kuchenki z uzwojeniem B-10 i B-12 nie uległy przepaleniu nawet po 5000 godzin pracy, po czym próby przerwano przy dobrym stanie uzwojenia. Uzwojenia grzejne B-10 i B-12 są u nas stosowane dla dużych jednostek piecowych. Ostatnio założono uzwojenie B-10 dla pieca o mocy ok. 900 kW. Długość elementów grzejnych (taśmy) w tym wypadku wynosiła ok. 2500 m.

5. Zagadnienia technologiczne.

Jakość surowca ma bardzo duży wpływ na trwałość materiałów oporowych w czasie pracy. Siarka, fosfor i ołów to najbardziej szkodliwe domieszki trafiające się w żelazostopach normalnej jakości. Składniki te tworzą niskotopliwe związki poważnie skracając okres eksploatacji i obniżając dopuszczalne temperatury pracy.

Dla grupy austenitycznej najważniejszym dodatkiem stopowym jest nikiel. Najczęściej stosowany i zalecany do tego celu jest nikiel Monda, specjalnie reklamowany przez firmę Mond Nickel Co. W naszych warunkach łatwiej osiągalny jest nikiel katodowy, który całkowicie pod względem czystości odpowiada produkcji materiałów oporowych.

Chrom, który jest składnikiem podstawowym zarówno w stopach Fe-Cr-Al, jak i w stopach Ni-Cr, powinien być możliwie jak najczystszy. Stwierdziliśmy w okresie wykonywania wytopów doświadczalnych, że stop B-10 wykonany ze składników metalicznie czystych (chrom metaliczny, żelazo armco, aluminium 99,5%) wykazał znacznie lepszą trwałość niż stop o takim samym składzie wykonany z żelazochromu.

Składnikiem uzupełniającym dla stopów oporowych w grupie austenitycznej (poza chromonikieliną) i dla grupy ferrytycznej jest żelazo. Chodzi tu również o wysoką jakość żelaza, które najlepiej dodawać w postaci żelaza armco. Uzupełnianie składu przy pomocy odpadów stali węglowych jest szkodliwe. Węgiel powinien być utrzymany na możliwie najniższym poziomie, reaguje on bowiem w wysokich temperaturach z niektórymi tlenkami tworząc CO_2, niszczący ochronną warstwę tlenków powierzchniowych, która stanowi zabezpieczenie przed utlenianiem się materiału w głąb. W naszych warunkach produkcyjnych zawartość węgla jest nieco za wysoka, dochodzi bowiem do 0,1%.

Aluminium stosowane jako dodatek powinno być najwyższej czystości i nie należy stosować aluminium pochodzącego ze złomu.

6. Urządzenia hutnicze i sposoby produkcji.

Do wytapiania stosowane są powszechnie piece indukcyjne wielkiej częstotliwości. Źródła zachodnio-europejskie zalecają mniejsze jednostki piecowe rzędu 300 — 500 kg. W hutnictwie radzieckim stosuje się następującą specjalną metodę wytapiania tych materiałów: w piecu elektrycznym łukowym roztapia się żelazo-chrom, który poddaje się rafinacji; równocześnie w piecu martenowskim topi się niskowęglowy złom stalowy, a w kadzi bezpośrednio przy pomocy palników roztapia się aluminium; do roztopionego aluminium spuszcza się roztopiony żelazo-chrom z pieca elektrycznego, a do tego płynną stal z pieca martenowskiego; odtlenianie wykonuje się przy pomocy czterochlorku glinu. Ta metoda fabrykacji nadaje się do produkcji masowej. Podane wyżej źródła stwierdzają również, że materiały oporowe wytapiane ze składników czystych i w piecach indukcyjnych dają produkt bardzo wysokiej jakości. Niektóre firmy zagraniczne stosują do wytapiania nawet piece próżniowe, co jednak nie ma uzasadnienia praktycznego.

Dodawanie cyrkonu i wapnia nastręcza sporo trudności, gdyż wymaga specjalnego małego pieca do topienia, współpracującego z piecem podstawowym. Do tego małego pieca wlewa się próbę roztopionego wsadu z pieca dużego i dodaje się pewne ilości metali ziem rzadkich. Odlewa się małe wlewki, które poddaje się próbie kucia dla sprawdzenia, czy dodatek metali ziem rzadkich nie wpłynął ujemnie na zdolność do przeróbki plastycznej. Jeżeli próba jest udana, wówczas takie same ilości metali ziem rzadkich dodaje się do pieca głównego. Jeżeli jest nieudana, to trzeba ponownie wykonać tę próbę ze zmniejszoną ilością dodatków.

Wlewki stopów austenitycznych przed przeróbką plastyczną są dokładnie skórowane celem usunięcia wad powierzchniowych. Wlewki stopów ferrytycznych są kute bezpośrednio po odlaniu z wyzyskaniem ciepła odlewania. Tego rodzaju postępowanie skraca znacznie cykl produkcyjny oraz zmniejsza możliwość powstawania kruchości typowej dla tych gatunków stali. Z uwagi na wąski zakres temperatury przeróbki plastycznej bardzo ważną rolę odgrywają urządzenia do pomiaru i regulacji temperatury przy przeróbce na gorąco. Są tu niezbędne termopary dotykowe, gdyż końcowa temperatura przeróbki plastycznej jest już w zasięgu tych temperatur, które nie dają się zmierzyć przy pomocy pirometrów optycznych. W razie niedotrzymania właściwej temperatury walcowania, szczególnie w stopach typu B-12, występuje charakterystyczna kruchość, której usunąć już potem nie można, a która dyskwalifikuje materiał do dalszej przeróbki. Przeróbka plastyczna na zimno, a więc przeciąganie drutów i walcowanie taśm, nie napotyka specjalnych trudności pod warunkiem dotrzymania wszystkich szczegółów w technologii wytapiania i w przeróbce na gorąco. Obróbka cieplna międzyoperacyjna, która polega w wypadku drutów ferrytycznych na żarzeniu przy temperaturze ok. 650°, musi być wykonana z całą dokładnością, gdyż przekroczenie dopuszczalnych temperatur żarzenia powoduje intensywną rekrystalizację, która komplikuje lub uniemożliwia całkowicie dalszą przeróbkę na zimno.

Wytrawianie materiałów oporowych, które stanowi czynność międzyoperacyjną, powinno odbywać się przy pomocy gorących ługów, gdyż wytrawianie w kwasach często pozostawia wżery nie dające się usunąć.

Biorąc pod uwagę nasze możliwości produkcyjne, należy stwierdzić, że jakkolwiek pozwalają one na produkcję w skali przemysłowej dobrych gatunków materiałów oporowych, to jednak nie są one nowoczesne, poza jednostkami piecowymi. Walcowanie drutu o średnicy 7 mm (na gorąco) odbywa się na walcarkach duo zwrotnych, które nie pozwalają na dokładne panowanie nad temperaturą walcowania. Wynika stąd nierzadko brak produkcyjny. Nowoczesne walcownie drutu systemu ciągłego stosują kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt

Tablica IV

Gatunek	C % max	Mn % max	Si % max	P % max	S % max	Cr %	Ni %	Al %	Fe %
H20N80	0,15	1,5	0,5	0,030	0,023	20,0 23,0	75,0	—	reszta
H15N60	0,15	1,5	1,0	0,035	0,025	15,0 18,0	55,0 61,0	—	„
H25N19	0,15	2,3	1,0	0,030	0,030	24,0 26,0	18,0 20,0	—	„
H13JU4	0,15	0,7	1,0	0,035	0,030	12,0 15,0	0,6 max	3,5 5,5	„
H17JU5	0,12	0,7	1,2	0,035	0,030	16,0 19,0	0,6 max	4,0 6,0	„
H25JU5	0,12	0,7	1,2	0,035	0,030	23,0 27,0	0,6 max	4,5 0,5	„

walcarek ustawionych rzędem, jak to bywa w ciągłych walcowniach taśmy.

Zarówno nasze stalownie, jak i walcownie, cierpią na brak odpowiednich urządzeń do dokładnego pomiaru temperatur. Potrzebne są nam termopary zanurzeniowe i termopary stykowe, żeby usuwać trudności produkcyjne i unikać braków.

7. Normy resortowe dla materiałów oporowych.

Dla materiałów oporowych istnieją na razie dwie normy resortowe Ministerstwa Hutnictwa, a mianowicie norma RN-54/MH/IM-2 dla drutów ze stopów żaroodpornych i norma RM-54/MH/IM-8 dla taśm oporowych. Obie te normy podają gatunki stopów do celów grzejnych. Tablicę IV zaczerpnięto z tych norm. Dla wyjaśnienia należy podać symbole i nazwy dawniejsze:

materiał wg norm resort. H20N80 odpowiada dawnej nazwie CrNi 80/20,

materiał wg norm resort. H25N19 odpowiada dawnej nazwie KNS 12,

materiał wg norm resort. H17JU5 odpowiada dawnej nazwie B-10,

materiał wg norm resort. H25JU5 odpowiada dawnej nazwie B-12.

Stopy z zawartością niklu zgodnie z przepisami tych norm powinny być zamawiane tylko za zgodą ministerstwa. Słuszna ta zasada do tej pory nie weszła w życie.

W normach resortowych znajdują się jeszcze dodatkowo dwa gatunki materiałów oporowych — H15N60 i H13JU4, co do których nie mamy doświadczenia produkcyjnego, gdyż nie były jeszcze u nas fabrykowane. W normach tych znajdują się jeszcze dalsze szczegóły w sprawie asortymentów wymiarowych, warunków oceny jakości dostawy itd. Powyższe normy nie zostały — ściśle mówiąc — wprowadzone w życie, co, oczywiście, jest ze szkodą dla konsumenta, który nie otrzymuje atestów, jak również pozbawia wytwórcę systematycznej kontroli nad produkcją.

8. Wskazówki dla eksploatacji.

Materiały oporowe grupy ferrytycznej w obecnym stanie opanowania są na poziomie dobrych materiałów oporowych z możliwością trwałej eksploatacji w przemyśle. Gatunek B-10 zalecany jest do temperatur 1000°, B-12 do temperatur 1150°C. Obydwa te gatunki są odporne — praktycznie biorąc — na każdą atmosferę, co daje szeroką możliwość zastosowania. Stop B-10 szczególnie dobrze nadaje się dla grzejnictwa domowego, natomiast B-12 powinien znaleźć zastosowanie przede wszystkim w piecach przemysłowych.

Gatunki austenityczne nie nadają się do pracy w atmosferze zawierającej siarkę. Poza tym mogą pracować w każdych innych warunkach.

9. Możliwości rozwojowe i polepszenie jakości produkcji.

Linia rozbudowy hutnictwa idzie w kierunku stworzenia lepszych niż do tej pory warunków produkcyjnych. Należy się spodziewać, że zarówno stan ilościowy, jak i jakościowy, będzie poprawiony. Jeśli zachodziłaby ewentualność znacznego zwiększenia ilościowego produkcji drutów oporowych, należałoby pomyśleć o ciągłych gorących walcowniach drutu aż do średnicy 6 mm.

Pozostaje jeszcze do polepszenia stan żaroodporności w zakresie temperatur 1200° — 1300° dla materiałów ferrytycznych oraz ogólne polepszenie jakości materiałów Cr-Ni 80/20. Należy podnieść jakość odlewanych wlewków, których stan powierzchni nie zawsze jest zadowalający. Przez wprowadzenie dodatków metali ziem rzadkich jakość materiałów oporowych zarówno grupy ferrytycznej, jak i Cr-Ni 80/20, znacznie się poprawi. W ten sposób trwałość elementów grzejnych mogłaby dorównać wzorcowym dla nas stopom, tj. chromonikielinie i kanthalowi.

10. Współpraca z instytutami.

Niezależnie od badań własnych konieczna jest współpraca z instytutami naukowymi w zakresie ujawniania wad i szukania sposobu polepszania jakości produkcji. Każdy nowy gatunek, a także i te, które przechodzą zmiany ustalonych przepisów technologicznych, powinny być dokładnie badane i opisane przez instytut. Również instytut powinien opracować przepis eksploatacji oraz podać warunki, w których można najkorzystniej wyzyskać materiał oporowy w zastosowaniu praktycznym.

Wskazane są dalsze badania nad wpływem czystości składników na ich trwałość. Należałoby w dalszym ciągu wykonywać doświadczenia nad opanowaniem produkcji materiałów oporowych o zawartości 30% Cr; opracować nowoczesne metody wytrawiania; znaleźć sposób podwyższenia wytrzymałości w wysokich temperaturach bez uciekania się do dodatku kobaltu; opracować ciągłe metody kontroli drutów i taśm z uwagi na trafiające się wady materiałowe.

11. Wnioski.

1) Przemysł krajowy opanował produkcję materiałów oporowych w grupie austenitycznej Cr-Ni 80/20 i KNS 12 i w grupie ferrytycznej B-10 i B-12.

2) Grupa materiałów ferrytycznych w obecnym stanie opanowania produkcji przewyższa jakościowo materiały z grupy austenitycznej.

3) Należałoby pracować w dalszym ciągu nad polepszeniem jakości gatunku Cr-Ni 80/20 w pełnym zakresie temperatur oraz gatunku B-12 w zakresie temperatur 1200 — 1300°C.

4) Należy wprowadzić w życie normy na materiały oporowe przez nas produkowane.

12. Tematy do dyskusji.

a) Możliwości stosowania stopów oporowych grzejnych bezniklowych zamiast chromonikieliny i innych stopów zawierających nikiel w dziedzinach: piece przemysłowe, grzejnictwo domowe, oporniki rozruchowe silników elektrycznych.

b) Celowość importu materiałów oporowych przy obecnym stanie opanowania produkcji tych materiałów przez przemysł krajowy.

c) Dlaczego dotychczasowe zapotrzebowania odbiorców nie obejmują stopu H15Ju4 (12 ÷ 15% Cr + Al), który nadaje się do pracy do 900°C.

LITERATURA

Marmorsztiejn D. W. Spławy żelezo-chrom-aluminij 1950

Schulze A. Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik

Eljotin W. P., Pawłow J. A., Lewin B. E. Przewodstwo fierrospławow; 1951

Kuryłowicz J. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej Instytutu Elektrotechniki TK-1-1, Wrocław

Semkowicz A., Morito K. Badanie porównawcze własności materiałów oporowych ferrytycznych Huty Baildon i zagranicznych

Semkowicz A., Skręt M. Badanie własności materiałów oporowych austenitycznych produkcji Huty Baildon

MGR INŻ. MARIA MIŁKOWSKA, Z. PROF.
Katedra Techniki Łączenia
Politechniki Wrocławskiej

Metale stykowe i proszki mikrofonowe

669.011.9:621.336.22:621.395.613

Treść. Konieczność importowania szlachetnych metali stykowych i proszków mikrofonowych oraz duży postęp w wytwarzaniu stopów i materiałów spiekanych zmuszają do rewizji istniejących w naszym przemyśle tradycji w zakresie styków elektrycznych. Artykuł zawiera pobieżny przegląd własności stosowanych materiałów stykowych i wskazuje na konieczność systematycznego badania zjawisk zachodzących na stykach. Przy zastosowaniu promieniotwórczych izotopów można będzie prawdopodobnie uzyskać pełne wyjaśnienie tych zjawisk, a tym samym rozwiązać zadowalająco problem materiałów stykowych. Sugestie do dyskusji nad organizacją ośrodków badawczych i doradczych w zakresie styków elektrycznych. Problemy do rozwiązania na najbliższą przyszłość.

1. Uwagi wstępne.

Połączenie w niniejszym referacie zagadnienia metali stykowych z zagadnieniem proszków mikrofonowych wynika stąd, że proszki mikrofonowe są odmianą — aczkolwiek całkiem szczególną — styków elektrycznych. Oba zagadnienia są bardzo rozległe i nie mogą być rozpatrywane w płaszczyźnie tylko jednej specjalności naukowej; oba zawierają problemy otwarte.

Do wykazu materiałów stykowych przybywają nowe pozycje; zmieniają się warunki pracy styków; powstają nowe wymagania.

Mogłoby się wydawać, że zagadnienie proszków mikrofonowych jest w wystarczającym stopniu przeanalizowane i rozwiązane. Jednakże stale rosnąca liczba nowych materiałów syntetycznych i rozwój metod ich otrzymywania zmuszają do przeglądu istniejącego stanu i w tej dziedzinie.

Cały problem ma dwie strony. Pierwsza dotyczy użycia materiałów najbardziej odpowiednich dla danych warunków i czyniących zadość wymaganiom niezawodnej i dostatecznie długiej pracy zespołu technicznego bez zbyt kłopotliwej konserwacji. Druga strona obejmuje sprawy gospodarcze, bardzo ważne w Polsce, która dysponuje tylko nielicznymi materiałami własnymi, pozostałe zaś musi importować z zagranicy (tabl. I). Oszczędne i świadome dysponowanie posiadanym materiałem jest równie ważne, jak zredukowanie ilości materiału importowanego odpowiednio do rzeczywistej uzasadnionej potrzeby.

Styk elektryczny w porównaniu z całością zespołu, w którym pracuje, ma znikomą objętość, więc zdawałoby się, że rozchód metali na styki jest niewielki. Jednakże wobec masowości stosowania styków w urządzeniach elektrycznych wszelkiego rodzaju staje się jasne, że w zakresie styków oszczędność szlachetnego metalu w całej gospodarce krajowej musi sięgać wielu ton. Według zebranych danych roczne zużycie srebra na styki wynosi około 550 kg tylko w czterech i to nie największych naszych zakładach produkcyjnych drobny sprzęt elektryczny; ilość ta nie stanowi nawet połowy ogólnego zapotrzebowania srebra na ten cel. Zapotrzebowanie wolframu jest jeszcze większe.

Oszczędność na materiałach stykowych powinna być realizowana rozsądnie. W sprzęcie wielkiego znaczenia, gdzie jest wymagana pełna niezawodność działania styków, koszty materiału nie mogą wyłącznie decydować o jego wyborze, jednakże konieczność użycia cennego metalu musi być oparta na dokładnej znajomości zarówno cech stosowanych materiałów stykowych, jak i zjawisk zachodzących na stykach w różnych warunkach ich pracy.

Tablica I. Metale stykowe

Metal stykowy	Pochodzenie (krajowy, importowany)	Cena (zł/kg) *)	Metal stykowy	Pochodzenie (krajowy, importowany)	Cena (zł/kg) *)
Srebro	kraj.	600.—	Kadm	kraj.	320.—
Miedź	kraj. + imp.	20.—	Mangan	imp.	79.50
Złoto	kraj. + imp.	—	Kobalt	imp.	400.—
Platyna	imp.	—	Magnez	kraj.	26.—
Palad	imp.	—	Cynk	kraj.	4.60
Wolfram	imp.	—	Cyna	imp.	132.—
Molibden	imp.	1200.—	Osm	imp.	—
Rod	imp.	—	Ruten	imp.	—
Iryd	imp.	—	Beryl	imp.	7000.—
Nikiel	imp.	70.—	Chrom	imp.	80.—

*) Według cennika nr 15-Z C. Z. Zbytu M. N., 1955/56.

Zjawiska występujące na stykach tłumaczy szereg hipotez, z których żadna nie wyjaśnia ich w pełni. Bez dokładnego poznania i wyjaśnienia tych zajwisk problem materiałów stykowych nie może być rozwiązany zadowalająco.

2. Metale stykowe.

Metale używane do wyrobu styków są następujące: srebro, miedź, platyna, palad, złoto i wolfram. W skład stopów i spieków stykowych wchodzą głównie: molibden, nikiel, rod, iryd, kadm, mangan, kobalt, magnez, beryl, cynk, cyna, osm, ruten. Są to wszystko metale szlachetne albo półszlachetne.

Dobór metali powinien być dokonywany w ścisłym powiązaniu z warunkami pracy styków. Główne z tych warunków to obciążenie elektryczne i mechaniczne, rodzaj prądu, charakterystyczne cechy i stopień ważności obwodu elektrycznego, atmosfera i temperatura otoczenia oraz wymagana liczba i częstość łączenia. Z warunków tych wynika następujący podział metali stykowych:

a) metale do wyrobu styków energetycznych, pracujących przy wysokich lub średnich napięciach i dużych prądach; mechaniczne obciążenie tych styków również bywa znaczne; wymagana liczba łączeń i ich częstość bywa przeważnie mała;

b) metale do wyrobu styków telekomunikacyjnych, na których napięcie ustalone zazwyczaj nie przekracza kilkudziesięciu woltów przy prądach rzędu miliamperów; obciążenia mechaniczne mieszczą się w granicach od kilku do kilkudziesięciu gramów; wymagana liczba i częstość łączeń jest przeważnie bardzo duża;

c) metale stykowe do przyrządów pomiarowych;

d) metale stykowe do celów specjalnych.

a) Metale na styki energetyczne. Głównymi metalami używanymi do wyrobu styków energetycznych są: srebro, miedź i wolfram. Głównym powodem uszkodzenia styków jest iskrzenie i trwały łuk elektryczny. Ponieważ napięcia występujące na stykach energetycznych wystarczają do przebicia korozyjnych i innych zanieczyszczających warstw, które pokrywają powierzchnie styków, przeto nie jest wymagana duża odporność metalu na wpływy chemiczne. Poza tym docisk i siła tarcia na stykach energetycznych bywają znaczne, a więc w czasie zamykania się styków występuje miażdżenie lub ścieranie izolujących warstw, wskutek czego metal w styku pozostaje prawie czysty. Znaczny docisk i siły tarcia mogą stać się powodem uszkodzenia styku wskutek zużycia mechanicznego, toteż stosowane metale stykowe powinny odznaczać się wielką twardością. Bardziej niebezpieczne jest jednak zużycie elektryczne spowodowane ubytkiem metalu wskutek elektroerozji, czyli tzw. zgar, oraz stapianie się styków.

Znaczne napięcia występujące na stykach energetycznych jonizują atmosferę między stykami, wskutek czego powstaje iskrzenie lub trwały łuk zarówno przy zamykaniu, jak przy otwieraniu styków. Niebezpieczeństwo powstawania trwałego łuku jest większe przy otwieraniu styków, ponieważ energia magnetyczna nagromadzona w obwodzie powoduje powstawanie przepięć na rozwierających się stykach. Przepięcia te znacznie przekraczają normalne napięcia pracy. Urządzenia gaszące pomagają wprawdzie opanować iskrzenie lub łuk, lecz są kosztowne, nie mogą być stosowane na wszystkich stykach, a poza tym nie wygaszają iskier lub łuku całkowicie. Uciekamy się więc do innych sposobów opanowania wymienionych zjawisk, a mianowicie przez dobór metali twardych, trudnotopliwych, tworzących na powierzchni zaporowe warstwy tlenków i innych związków, utrudniających wyjście elektronów i jonów metalu. W tym kierunku dużą pracę wykonały instytuty metalurgiczne oraz huty, wytwarzające nowe materiały stykowe, tzw. spieki (tabl. II), których głównymi składnikami są: wolfram, molibden, srebro, miedź, nikiel i grafit. Materiały spiekane są twarde lub bardzo twarde, ich zgar jest niewielki. Wysoki punkt topnienia zabezpiecza je w dużym stopniu przed zgubnym wpływem nadmiernego

rozgrzewania się podczas iskrzenia i trwałego łuku. Mogą one pracować przy wysokich napięciach i dużych prądach. Mały współczynnik rozszerzalności cieplnej umożliwia umocowywanie tych styków w stali.

Metale stykowe łączone metodą spiekania zachowują swe indywidualne własności, dzięki czemu można przez kombinacje dwóch lub więcej metali tworzyć materiały stykowe dostosowane do różnych warunków pracy. Własności spieków zależą od materiału wiążącego oraz od rodzaju i procentowej zawartości pozostałych metali składowych. W tabl. II podane są fizyczne własności najszerzej stosowanych spieków stykowych, znanych pod nazwą „elkonitów".

Tablica II. Fizyczne własności materiałów stykowych [1]

Materiał	Ciężar właściwy (G/cm³)	Twardość (°Vickersa)	Temperatura topnienia (°C)	Oporność (Ω · cm)	Przewodność %	
					elektryczna w stosunku do miedzi	cieplna w stosunku do srebra
Metale i stopy						
Srebro	10,5	26	960	1,6	106	1,00
Platyna	21,3	65	1770	11,6	15	0,17
Palad	11,9	40	1555	10,7	16	0,17
Złoto	19,3	20	1063	2,4	72	0,70
Iryd	22,4	220	2454	5,3	32	0,14
10% Au-Ag	11,4	29	965	3,6	48	0,47
5% Pd-Ag (501)	10,5	33	975	3,8	45	0,53
10% Pd-Ag (502)	10,6	40	1000	5,8	30	0,34
20% Pd-Ag (503)	10,7	55	1070	10,1	17	0,22
Srebro wzorc. (7,5% Cu)	10,3	56	778	1,9	90	0,83
10% Cu-Ag (510)	10,3	62	778	2,0	86	0,82
20% Cu-Ag (520)	10,2	85	777	2,1	82	0,80
50% Cu-Ag (550)	9,7	95	778	2,1	82	0,75
Cd-Ag (El.17)	10,3	55	850	5,7	30	0,24
Cd-Cu-Ag (El.18)	10,1	65	800	4,0	43	—
10% Ir-Pt	21,6	120	1780	24,5	7,0	0,074
20% Ir-Pt	21,7	200	1815	30,0	5,7	0,042
25% Ir-Pt	21,7	240	1845	32,0	5,4	0,039
30% Ir-Pt	21,8	285	1885	32,3	5,3	0,037
10% Ru-Pt	19,9	200	1780	42,2	4,1	—
14% Ru-Pt	19,5	240	1800	45,8	3,7	—
Ir-Ru-Pt (Irru)	20,8	310	1890	39,0	4,4	—
Ir-Os-Pt (540)	22,0	540	2400	44,5	3,9	—
Mo-Pt (526)	20,5	195	1700	58,5	2,9	—
40% Ag-Pd	11,0	95	1290	42,0	4,0	0,075
40% Cu-Pd (60)	10,0	145	1200	35,0	4,9	—
30% Ag-Au	16,6	32	1025	10,4	16	0,16
Pt-Ag-Au (PGS)	17,1	60	1100	16,8	11	—
Cu-Ag-Au (625)	13,7	165	861	14,0	12	—
Miedź	8,9	35	1083	1,7	100	0,94
Wolfram	19,3	290	3400	5,5	31	0,39
Spieki						
Cu-W 1W3	12,8	140	—	4,6	41	0,45
Cu-W 3W3	13,6	160	—	5,3	33	0,37
Cu-W 30W3	15,2	240	—	6,1	28	0,32
Ag-W 50S	13,6	115	—	2,8	61	0,66
Ag-W 35S	14,8	140	—	3,3	52	0,60
Ag-W 20S	15,6	220	—	4,0	43	0,55
Ag-węglik W G13	12,5	110	—	3,0	57	—
Ag-węglik W G14	13,2	200	—	4,8	36	—
Ag-Mo G17	10,4	180	—	3,6	48	0,57
Ag-Mo G18	10,3	150	—	3,3	52	0,60
Ag-tlenek Cd D54	10,0	58	—	2,1	82	0,88
Ag-Ni D55	10,2	50	—	2,1	82	0,87
Ag-Ni D56	9,9	68	—	2,4	72	0,74
Ag-grafit D58	9,7	40	—	2,0	86	0,90
Ag-grafit D59	9,5	48	—	2,3	75	0,85

Prowadzone w kraju prace nad spiekami mają pierwszorzędne znaczenie. Produkuje się obecnie złożone materiały stykowe W-Cu, W-Ag oraz CdO-Ag. Materiały o zawartości około 20% Cu lub Ag są wykonywane metodą nasiąkania szkieletów wolframowych; materiały zawierające więcej Cu lub Ag, jak również spieki CdO-Ag — metodą prasowania i spiekania.

Ponadto wyrabia się wolframowe pastylki do iskierników o średnicach od 2 do 5 mm i grubości od jednego do kilku milimetrów oraz molibdenowe pastylki o tej samej grubości i średnicach od 2 do 7 mm.

Mogą być produkowane tzw. spieki ciężkie W-Cu-Ni (90% W) oraz spieki Ag-Ni, Mo-Ag i inne na żądanie przemysłu elektrotechnicznego, który, jak się wydaje, nie jest dostatecznie zorientowany ani w zakresie stosowania tego rodzaju materiałów stykowych, ani też w możliwościach ich produkcji w kraju.

Rozpowszechnienie krajowych materiałów stykowych, rozszerzenie zakresu ich stosowania oraz badania nad ich pracą w różnych warunkach są konieczne do systematycznego ich doskonalenia.

b) Metale na styki do sprzętu telekomunikacyjnego. Dominującym metalem stykowym w tym zakresie jest srebro. Duże zastosowanie mają również metale bardziej szlachetne, a więc platyna, palad i w szczególnych przypadkach rod i iryd.

Spiekane materiały stykowe mają niewielkie zastosowanie w sprzęcie telekomunikacyjnym, ponieważ wymagana jest tu przede wszystkim doskonała przewodność styku oraz odporność na wpływy chemiczne, zapewniająca niezmienność oporności styków, konieczną ze względu na niebezpieczeństwo zakłócających szumów w obwodach fonicznych.

Spośród innych wymagań należy podkreślić małą skłonność metalu do przechodzenia z jednej strony styku na drugą pod wpływem pola elektrycznego, wytwarzanego przez napięcie panujące na stykach, czyli do tak zwanej wędrówki. W jakim stopniu przechodzenie metalu deformuje i niszczy styk, widać z rys. 1, przedstawiającego wierzchołek stożka (*a*) i kowadełko (*b*) srebrnego styku telefonicznego przekaźnika po 50 000 łączeń przy prądzie stałym 0,75 A i napięciu 36 V. Wskutek wędrówki metalu na wierzchołku stożka powstały nieregularne wzgórza, na kowadełku zaś wytworzyły się głębokie kratery. Otoczenie miejsca właściwego stykania się na blaszce i boki stożka pokryła gruba warstwa rozpylonego metalu. W tym stanie styk przestał przewodzić prąd. Należy zaznaczyć, że wymagana liczba niezawodnych łączeń dla styków tego typu jest rzędu 10^8. Przedwczesne uszkodzenie nastąpiło przypuszczalnie z powodu elektrycznego przeciążenia styku oraz niedotrzymania stopnia czystości srebra. Do celów telekomunikacyjnych wymagana jest czystość srebra 99,9%; przemysł teletechniczny otrzymuje srebro o czystości w najlepszym razie 99,7%.

W trudniejszych warunkach pracy (przy prądach około 1 A, w obwodach z dużą indukcyjnością i dużymi wahaniami oporności oraz w obwodach kontroli zdalnej i sygnalizacji, w których styki pracują z dużymi przerwami i w międzyczasie mogą pokryć się grubymi warstwami tlenków lub innych związków, również w atmosferach zanieczyszczonych parami siarki) styki srebrne zawodzą. Zamiast srebra w tych przypadkach stosuje się platynę. Ponieważ twardość czystej platyny jest niewystarczająca, używana jest platyna wzorcowa, czyli

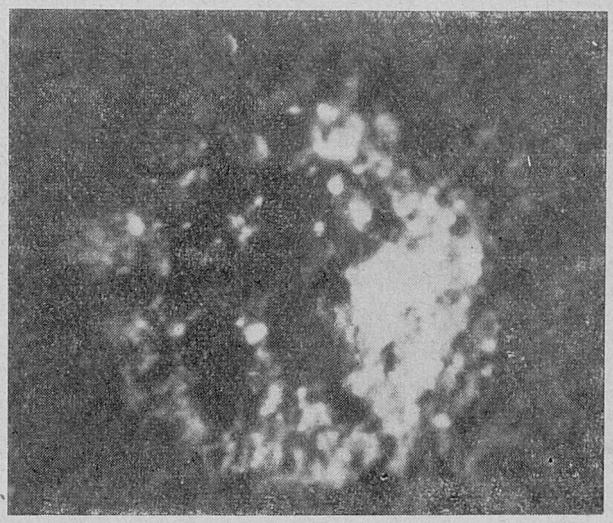
z 5-procentową domieszką innego metalu z grupy platyny. W warunkach tych dobrze pracuje również pallad.

Kompletną czystość powierzchni stykowych, a więc niezmienną oporność i przy tym wielką trwałość styków, zapewniają iryd i rod, stosowane w obwodach wielkiej i bardzo wielkiej częstotliwości oraz w innych przypadkach, w których jest wymagana niezmienna oporność styku i pełna niezawodność jego działania po długich przerwach.

Doskonałe przystosowanie do warunków pracy w sprzęcie telekomunikacyjnym wykazują główne metale stykowe: srebro, miedź, złoto, platyna, palad, iryd i rod w stopach wzajemnych i z innymi metalami (tabl. II).

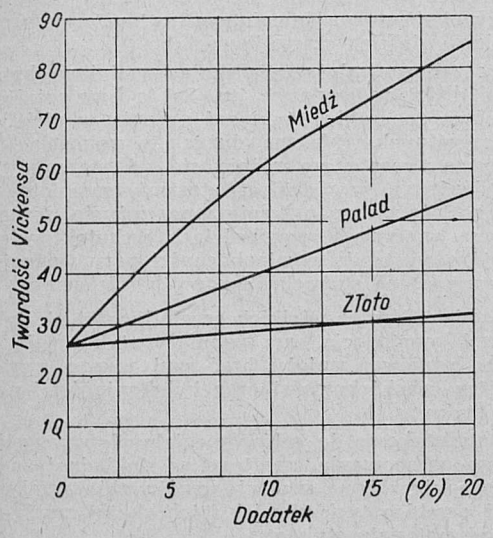


(a) Wierzchołek stożka

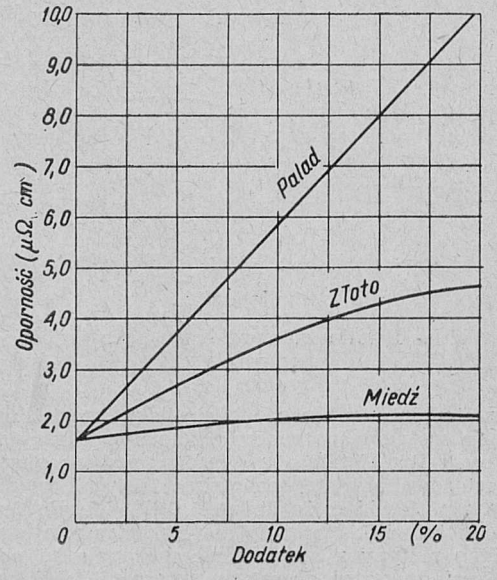


(b) Kowadełko

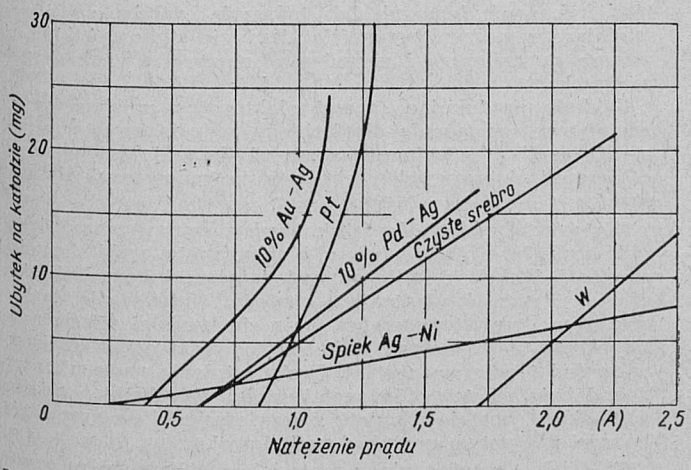
Rys. 1. Stan srebrnego styku po 50 000 łączeń przy 36 V i 0,75 A prądu stałego



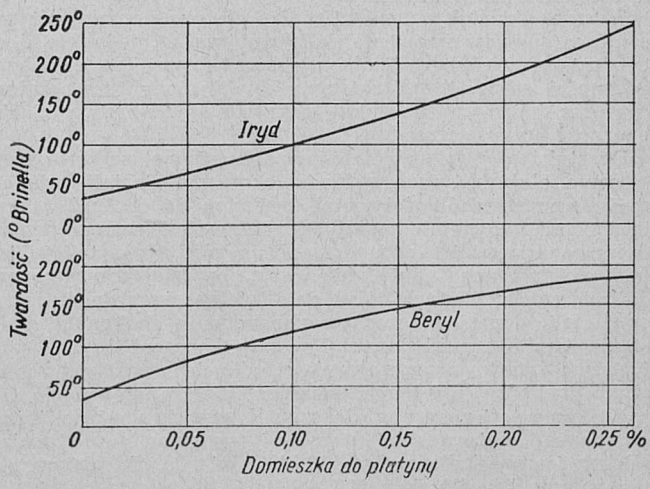
Rys. 2. Wpływ dodatku miedzi, paladu lub złota na twardość stopów srebra



Rys. 3. Wpływ dodatku miedzi, paladu lub złota na oporność stopów srebra



Rys. 4. Stosunkowa skłonność do przechodzenia metalu (po 400 000 łączeń przy 110 V; prąd stały)



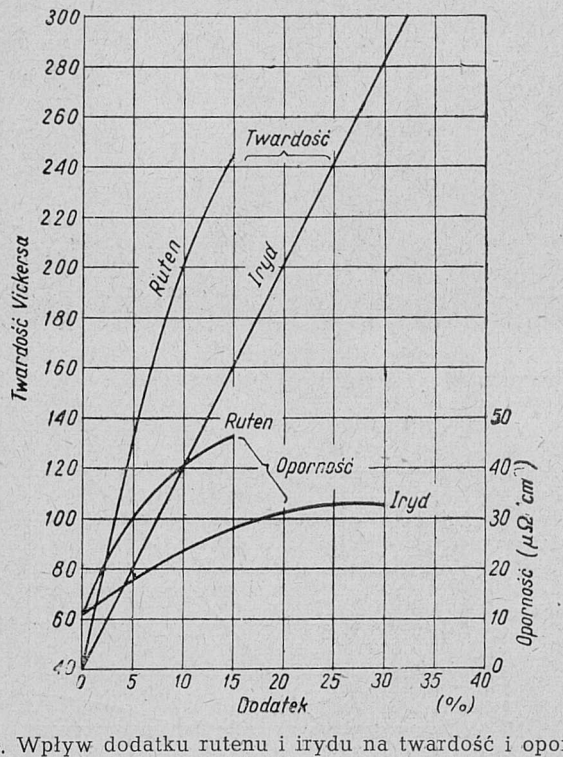
Rys. 5. Wpływ domieszek irydu i berylu na twardość stopu platyny

Dodatek metali szlachetnych (nie mniejszy od 30%) nadaje metalom mniej szlachetnym dużą odporność na korozję i tworzenie warstw tlenkowych i innych na powierzchni.

Stopy srebra z paladem mogą zastępować platynę w zakresie średnich obciążeń mechanicznych i elektrycznych. Stopy te są twardsze i tańsze od platyny. Wykresy podane na rys. 2 wskazują, jaki jest wpływ procentowej zawartości paladu, miedzi i złota w stopach srebra na twardość tych stopów, a na rys. 3 widoczny jest wpływ dodatku tych metali na oporność stopów srebra.

Specjalnie małą skłonność do przechodzenia metalu wykazuje spiek srebra z niklem (rys. 4).

Stopy platyny z irydem są niezwykle twarde, zachowują czystą powierzchnię we wszelkich warunkach pracy i stały



Rys. 6. Wpływ dodatku rutenu i irydu na twardość i oporność stopów platyny

się niezastąpione w obwodach wielkich częstotliwości oraz w sprzęcie szczególnego znaczenia, np. sygnalizacyjnym, łodzi podwodnych itp. Ostatnio z wielkim powodzeniem zamiast irydu zastosowano w stopach platyny beryl. Z wykresu podanego na rys. 5 widać, że dodatek 0,07% berylu jest równoważny dodatkowi 0,10% irydu dla otrzymania tej samej twardości. Stop platyny z berylem nie wykazuje na powierzchni śladów zanieczyszczeń nawet po rozgrzaniu styków do temperatury 1200°C. Dzięki drobnoziarnistej budowie ma on małą skłonność do wędrówki.

Również dodatek rutenu utwardza platynę bardziej niż procentowo równoważny dodatek irydu (rys. 6), jednakże dodatek rutenu większy od 5% ujemnie wpływa na szlachetne własności stopu. Stop taki przy podniesionej temperaturze (podczas iskrzenia lub łuku) pokrywa się warstwą tlenku; oporność styku wzrasta.

Do styków w sprzęcie telekomunikacyjnym ma duże zastosowanie elektrolityczne nakładanie warstw metali szlachetnych, a w szczególności metali trudnych do obróbki, jak np. iryd i rod, na metale mniej szlachetne, lecz dobrze przewodzące prąd i podatne do nadawania im różnych kształtów. Metoda elektrycznego nakładania jest najbardziej korzystna przy dużych powierzchniach, gdyż daje wielką oszczędność cennego metalu przy jednoczesnym zapewnieniu doskonałej pracy styku. Grubość nakładanych warstw wynosi od 0,0004 do 0,01 mm i tylko w szczególnie trudnych warunkach pracy styku dochodzi do 0,1 mm. Twardość metali nałożonych elektrolitycznie jest znacznie większa niż uzyskiwana przy innych sposobach wytwarzania styków: wyrażona w stopniach Vickersa wynosi dla srebra 110, dla złota 65, dla platyny 450, dla paladu 300, dla rodu 800.

Rozchód szlachetnego metalu stykowego można zmniejszyć do minimum i jednocześnie znacznie uprościć wykonywanie zespołów stykowych przez zastosowanie bimetali. Bimetal wytwarza się w postaci blach lub taśm, prętów lub rure z taniego metalu podstawowego, który pokrywa się warstw szlachetnego metalu na całej powierzchni lub jej część a mianowicie tej, która będzie stanowiła właściwą powierzch nię styku. Minimalna grubość takiej warstwy wynosi 0,01 mm

Do produkcji bimetali stykowych używane są następując materiały:

podłoża	warstwy stykowe
miedź	srebro czyste
mosiądz	srebro wzorcowe
brąz fosforowy	10% Au-Ag
Ni-Ag	5% Pd-Ag
Be-Cu	platyna
nikiel	Pt-Ag-Au
stal miękka	Ag-Ni

c) Metale stykowe do przyrządów pomiarowych. Styki w przyrządach pomiarowych pracują przeważnie przy małych lub bardzo małych napięciach i prądach. Naciski lub siły tarcia są również najczęściej niewielkie. Na ogół wymagana jest bardzo mała oporność styku i doskonała czystość jego powierzchni. Metal stykowy dostosowuje się do klasy przyrządu. W przyrządach mniej dokładnych są używane styki z miedzi lub srebra, w przyrządach bardziej dokładnych i czułych stosuje się złoto, platynę, palad, iryd i rod oraz wysokoprocentowe stopy tych metali.

d) Metale stykowe do celów specjalnych. Zakres ten dotyczy między innymi urządzeń pracujących w bardzo wysokich lub bardzo niskich temperaturach, w atmosferach bardzo suchych lub bardzo wilgotnych, w atmosferach specjalnych, np. morskich, podzwrotnikowych i in., przy obniżonym ciśnieniu, np. na dużych wysokościach, w obwodach wielkich częstotliwości.

Do tego zakresu należą urządzenia kopalniane, hutnicze, samolotowe, łodzi podwodnych itp. Są to przeważnie urządzenia o dużym znaczeniu, styki zaś pracują w nich w warunkach szczególnych. Np. na dużych wysokościach warunki atmosferyczne zasadniczo różnią się od warunków naziemnych. Swierdzono, że niektóre katastrofy samolotowe spowodowane zostały przez przyspieszone zużycie zespołów stykowych na znacznych wysokościach wskutek zwiększonego tarcia, które wystąpiło w nieobecności pary wodnej, spełniającej zazwyczaj na stykach ślizgowych rolę smaru.

W obwodach bardzo wielkich częstotliwości nie tylko materiał, lecz i konstrukcja oraz wymiary styku mają specjalne znaczenie, ponieważ należy brać pod uwagę występowanie wpływu tzw. naskórkowości oraz indukcyjności i pojemności członów styku.

Materiały stykowe do celów specjalnych wymagają bardzo starannego opracowania, opartego na dokładnej analizie zjawisk występujących na stykach w różnych warunkach pracy, ponieważ przebieg tych zjawisk i ich skutki zależą w dużym stopniu od materiału styków.

3. Zadania przemysłu.

Aby rozpocząć wytwarzanie i stosowanie nowych materiałów stykowych lepszych lub tańszych, należy zrewidować istniejące w naszym przemyśle „tradycje stykowe", które nie zawsze są najlepsze i zawodzą w nowych warunkach technicznych.

Zakłady produkujące sprzęt elektryczny powinny sprecyzować swe wymagania dla każdego rodzaju sprzętu na podstawie analizy nadsyłanych przez użytkowników tego sprzętu reklamacji, dotyczących uszkodzeń spowodowanych złą pracą styków.

Wytwórnie materiałów stykowych powinny zacząć dostarczać surowiec stykowy (płyty, blachy, pręty, rurki, druty itp.) zawsze jednakowy, ściśle odpowiadający normom. Należałoby szerzej stosować ulepszające metody wytwarzania surowca stykowego; np. stopy srebra stają się bardziej szlachetne po kilkakrotnym utlenianiu i każdorazowym oczyszczaniu powierzchni i polerowaniu jej. Uszlachetnienie następuje prawdopodobnie dlatego, że metal mniej szlachetny, związany w tlenkach, zostaje usunięty z powierzchni i na pewnej głębokości z warstwy przypowierzchniowej.

W ścisłym powiązaniu z materiałem stykowym są wymiary styków, nadawanie im kształtów, umocowywanie ich a nawet konserwacja.

Najlepszy materiał może zawieść, jeżeli styk będzie miał nieodpowiednie wymiary lub niewłaściwy kształt, jeżeli będzie umocowany w niedopasowanym do niego materiale i w nieodpowiedni sposób. Należy pamiętać o tym, że przy wyrabianiu i umocowywaniu styków własności materiału mogą ulec zmianie, np. może nastąpić utwardzenie lub zmiękczenie. Ciężkie metale, wchodzące w skład lutowia, w zetknięciu ze złotem lub platyną powodują przejście tych ostatnich w stan krystaliczny. Już przy zanieszyszczeniu złota lub platyny cyną w wysokości 0,05% styk staje się kruchy; zanieczyszczenie złota ołowiem w wysokości 0,25% zmniejsza ciągliwość złota o 65%.

Niejednokrotnie powodem obniżenia jakości powierzchni stykowych staje się nieodpowiedni środek polerujący lub zmywający, używany przy konserwacji styków.

4. Ośrodki badawcze.

Prace nad materiałami stykowymi mają charakter wybitnie zespołowy. Zestawienie materiału należy do metalurga i chemika, sposób obróbki do technologa, badanie zjawisk zachodzących na stykach do fizyka, sprecyzowanie żądań i obserwacja pracy styków w warunkach eksploatacyjnych do elektryka. Całe zagadnienie jest niezwykle skomplikowane i wymaga pracy wybitnych i doświadczonych fachowców w każdej z wymienionych wyżej specjalizacji oraz kosztownych urządzeń i precyzyjnej aparatury. Wyposażenie jednego ośrodka we wszystkie urządzenia techniczne potrzebne do badań i zgrupowanie w nim odpowiednich fachowców wydaje się w naszych warunkach niemożliwe. Ponieważ jednak prace nad materiałami stykowymi muszą być prowadzone i rozwijane, wskazane byłoby rozdzielić je między laboratoria hutnicze i fabryczne oraz zakłady naukowe przy zachowaniu ścisłej współpracy tych instytucji z instytucjami eksploatującymi sprzęt elektryczny.

Nieodzownym warunkiem wiarogodności wyników badań i słuszności wniosków jest czystość i niezmienność materiałów dostarczanych do prób. Ponieważ własności materiałów zależą nie tylko od składu chemicznego, lecz i od sposobów i środków technicznych wytwarzania, najwłaściwiej byłoby wyznaczyć określone zakłady do produkowania tylko określonych gatunków surowca stykowego, przy czym każdy zakład byłby jedynym ich dostawcą. W ten sposób uzyskana byłaby również niezmienność surowca dostarczanego do zakładów produkujących sprzęt elektryczny.

5. Przepisy i normy.

W zakresie materiałów stykowych brak wielu przepisów i norm dla składu chemicznego, sposobu wytwarzania i kontroli surowca stykowego oraz tolerancji odbioru. Nie znormalizowane są również dla różnych materiałów kształty i wymiary styków, podłoża i sposoby umocowywania styków oraz środki i sposoby konserwacji.

Istnieją również tylko zalecenia co do zakresu stosowania różnych materiałów stykowych. Z zaleceń tych można jednak korzystać tylko jako z pewnych przybliżeń, które wymagają potwierdzenia doświadczalnego.

6. Proszki mikrofonowe.

Proszki mikrofonowe stanowią szczególny przypadek styków elektrycznych pracujących na zasadzie zmienności oporu przejścia. Zmienność ta nie jest wszakże powodowana zmianami jakości powierzchni stykowych, lecz jest skutkiem zwiększania lub zmniejszania obszaru stykowego, uzyskiwanego przez zmienny nacisk membrany na proszek.

Powierzchnia ziarn proszku mikrofonowego wykazuje pod mikroskopem pewną chropowatość; stopień chropowatości i obszar stykania się membrany i ziarn proszku pod wpływem zmiennego nacisku membrany podczas pracy mikrofonu powinny ulegać zmianom elastycznym. Siły docisku między ziarnami proszku są rzędu kilku dyn, lecz powierzchnie stykania się są tak małe, że tylko bardzo twardy materiał może znosić bez deformacji plastycznych taki docisk, jaki w tych warunkach przypada na jednostkę powierzchni. Zachodzi więc obawa przekroczenia granic elastyczności proszku mikrofonowego i powstawania nieodwracalnych zmian plastycznych powierzchni stykowych. Toteż granica elastyczności proszku mikrofonowego powinna być bardzo wysoka.

Dalsze wymagania dla proszków mikrofonowych, warunkujące dobroć mikrofonu, dotyczą oporności właściwej, przewodności cieplnej i kształtu oraz struktury stykających się powierzchni.

W celu uzyskania wymaganych własności do wyrobu proszków mikrofonowych używa się specjalnych gatunków antracytu, pochodzących ze starych warstw tektonicznie nie naruszonych. Antracyt ten jest starannie mielony i wyżarzany w wys. temp. w atmosferze wodoru. Podczas wyżarzania na powierzchni ziarn proszku powstaje warstwa spieczonego węgla odznaczającego się wielką twardością i elastycznością. Jego oporność właściwa powinna być dostatecznie duża dla uzyskania wymaganej głębokości modulacji. Zmiany tej oporności muszą być odwracalne i dlatego przy pracy nie może być przekroczony graniczny spadek napięcia na mikrofonie. Gdy zmiany oporności stają się nieodwracalne, mikrofon traci swe własności i powstają w nim szumy własne.

Proszków mikrofonowych nie produkowano w Polsce przed wojną. Dostawcą proszków była francuska firma Le Carbonne w Paryżu. Obecnie używane są u nas proszki radzieckie, niemieckie i angielskie.

Wobec trudności importowych i wysokiej ceny (15—18 dolarów za kilogram) wynika zagadnienie produkcji proszków mikrofonowych w kraju. Posiadany zapas importowego antracytu umożliwił naszym chemikom próby wyrobu proszków mikrofonowych. Praca znajduje się w końcowej fazie.

Ponieważ nie posiadamy w kraju antracytu wymaganego do produkcji proszków mikrofonowych, więc opracowane metody nie rozwiążą sprawy samowystarczalności. Należałoby zająć się opracowaniem materiału zastępczego. Ostatnio zamiast pełnych proszków węglowych zaczęto stosować proszek krzemionkowy [3]. Proszek ten pod wieloma względami nie ustępuje w niczym proszkom antracytowym.

Produkcja proszku krzemionkowego odbywa się w głównych zarysach w sposób następujący: ziarna krzemionkowe rozgrzewa się w bębnie obracającym się wewnątrz pieca w atmosferze powietrza. Gdy zostanie osiągnięta równowaga temperatur, płomień gasi się czystym azotem, do bębna zaś wprowadza się zmieszany z azotem metan oczyszczony przez kondensację przy — 153°C. Poruszany stale piasek krzemionkowy w zetknięciu z atmosferą metanu pokrywa się bardzo równomiernie warstwą krystalicznego węgla.

Gdy zostanie osiągnięta odpowiednia grubość warstwy (około $3 \cdot 10^{-5}$ cm) strumień metanu zostaje zamknięty i proszek usuwa się z pieca. Stygnie on teraz szybko w atmosferze azotu do temperatury około 20°C i w tejże atmosferze jest pakowany do szklanych tubek oraz zamykany hermetycznie. Struktura powłoki węglowej wykazuje krystaliczną budowę grafitu zmodyfikowaną pod względem ułożenia warstw atomowych. Twardość tego węgla jest bardzo duża (9,8 MOH), oporność właściwa wystarczająca (1 do 1,8 Ω.cm). Tlenki wytwarzające się na powierzchni są lotne, a więc nie zachodzą na niej zmiany wpływające na oporność w sposób nieodwracalny.

Sprawa normalizacji proszków mikrofonowych, ustalającej rodzaje proszków, ich chemiczny skład, wymagane własności oraz metody kontroli, pozostaje do załatwienia. Obecnie mamy tylko tymczasowe warunki techniczne (I 221 — 001) dla proszków mikrofonowych, opracowane przez CBKT na podstawie warunków technicznych radzieckich.

7. Wnioski.

Z powyższego bardzo pobieżnego przeglądu materiałów stykowych można na najbliższą przyszłość wysunąć następujące problemy:

1) udoskonalenie produkowanych spieków stykowych w kierunku zwiększenia trwałości (czasu służby) wykonywanych z nich styków energetycznych;

2) opracowanie spieków stykowych nadających się do zastosowania w sprzęcie telekomunikacyjnym;

3) zwiększenie zastosowania styków z bimetali i metali platerowanych;

4) rozpoczęcie systematycznych i skoordynowanych badań zjawisk stykowych, przy czym pożądane byłoby zastosowanie izotopów promieniotwórczych do tych badań;

5) stworzenie instytucji doradczej dla specjalnych przypadków (mógłby nią być jeden z zakładów PAN lub jeden z ośrodków badawczych resortowych);

6) opracowanie tymczasowych przepisów i norm dotyczących materiałów stykowych;

7) zagadnienie produkcji krajowej proszków mikrofonowych.

LITERATURA

[1] Hunt L. B. Electrical Contacts (London, 1952)
[2] Theer A. Über die Herstellung von Mikrofonfüllungen aus Antrazit (PTT, 3, 1950)
[3] Grisdale R. O. The Properties of Carbon Contacts (J. of Appl. Phys., October, 1953).

MGR INŻ. F. FRYCZ
Zakł. Mat. El. Inst. Elektr.

Szczotki do maszyn elektrycznych

621.3.047:621.313

Treść. Osiągnięcia krajowe w okresie 10-lecia PRL w dziedzinie produkcji i badania tworzyw szczotkowych. Zagadnienia naukowe, dla instytucji naukowych i laboratoriów przemysłowych, dotyczące surowców wyjściowych, technologii produkcji i metod badania szczotek do maszyn elektrycznych.

1. Uwagi ogólne.

W okresie przedwojennym na skutek opóźnionego rozwoju przemysłu energetycznego, słabej elektryfikacji kraju oraz niskiego stanu przemysłu elektrotechnicznego zainteresowanie zagadnieniami szczotek do maszyn elektrycznych było znikome. Zasadniczo całokształt zagadnień szczotkowych do maszyn elektrycznych został postawiony do rozwiązania po raz pierwszy dopiero po wojnie. Produkcja jedynego w kraju zakładu pozostawiała pod względem jakościowym wiele do życzenia. Podjęte w Instytucie Metali Nieżelaznych prace doświadczalne nad technologią szczotek metalowo-grafitowych oraz słaba jakość produkcji krajowej wyłoniły konieczność opracowania zasadniczych metod badania. Zagadnieniem badań zajęły się: Zakład Maszyn Elektrycznych Politechniki Śląskiej i Instytut Elektrotechniki. Za dotychczasowe osiągnięcia w zakresie badań można uważać opanowanie zasadniczych metod badawczych, pozwalających ustalać decydujące własności materiałów szczotkowych oraz wnioskować o ich przydatności w użytkowaniu. Opracowane metody przekazywane są obecnie bezpośrednio zakładom produkcyjnym. Prace badawcze obu instytucji objęły większość gatunków tworzyw szczotkowych produkcji zagranicznej i krajowej. Zakres podjętych badań — chociaż nie wyczerpuje całości zagadnienia — jest wystarczający do ustalenia potrzebnego asortymentu i właściwego postawienia produkcji szczotek w kraju.

O naszych pracach doświadczalnych w zakresie technologii produkcji potrzebnych nam gatunków szczotek metalografitowych można powiedzieć, że technologię tę już opanowaliśmy. Jakościowe i ilościowe pokrycie własnego zapotrzebowania tych gatunków jest już raczej kwestią natury organizacyjno-technicznej. Nie mamy natomiast pozytywnych wyników prac nad opanowaniem metod produkcji szczotek elektrografitowych, grafitowych i węglowych.

Oceniając ogólnie problematykę tworzyw szczotkowych w okresie 10-lecia PRL należy stwierdzić, że zagadnieniu krajowej produkcji szczotek do maszyn elektrycznych poświęcono dostatecznie dużo uwagi i zainteresowania, a tym samym stworzono możliwość przystąpienia do rozwiązywania konkretnych zagadnień w tej dziedzinie przemysłu.

2. Krajowe zapotrzebowanie tworzyw szczotkowych.

Przewidywane nasze roczne zapotrzebowanie szczotek czterech rodzajów (metalografitowe, elektrografitowe, grafitowe, węglowe) w okresie planu 5-letniego oraz planowane pokrycie tego zapotrzebowania jest podane w tabl. I.

3. Zagadnienia naukowo-techniczne do rozwiązania.

Surowce wyjściowe. Zilustrowane w tabl. I nastawienie krajowego przemysłu tworzyw szczotkowych wymagać będzie stworzenia rodzimego źródła odpowiednich surowców wyjściowych, zwłaszcza jeśli chodzi o różne postacie węgla i substancji wiążących. Do rozwiązania będzie daleko idące rozpoznanie tych surowców wpływu ich własności fizykochemicznych, ustalenie wpływu ich własności na procesy wytwórcze oraz na jakość końcowego wyrobu. Na podstawie dokładnego rozpoznania surowców wyjściowych można będzie dopiero ustalać procesy wytwórcze, określić wymagania produkcji pod tym względem oraz opracować właściwe metody kontroli jakościowej. Ustalenie wymagań w stosunku do surowców będzie wstępną pracą nad metodami wytwórczymi, co z kolei pozwoli na ulokowanie ich produkcji we właściwych zakładach przemysłu węglowego. Opracowanie dokładnego rozpoznania surowców pod względem jakościowym jest również niezbędne jako podkład teoretyczny do celów normalizacyjnych. Oczywiste jest, że rozwiązanie zagadnienia musi przypaść instytucjom naukowo-badawczym.

Tablica I.

Rok	Zapotrzebowanie roczne płyt materiałowych (t)	Planowane roczne pokrycie z własnej produkcji		Krotność wzrostu produkcji własnej w stosunku do 1955 r.	Zapotrzebowanie według grup w przybliżeniu (%)			
		(t)	(%)		metalografitowych	elektrografitowych	grafitowych	węglowych
1955	80	20	25	—	—	—	—	—
1956	100	35	35	1,75	55	33	10	2
1957	120	50	42	2,5	50	35	10	5
1958	145	200	140	10	50	35	10	5
1959	170	250	145	12,5	45	40	10	5
1960	200	250	125	12,5	45	40	10	5

Z kolei przed instytutami badawczymi stanie zagadnienie nowych i ekonomicznych metod wzbogacania surowców węglowych. Dotychczas znane metody polegają na obróbce sproszkowanych węgli gorącym i stężonym roztworem NaOH, względnie drugi sposób — kwasem solnym po uprzednim poddaniu procesowi kalcynacji i ostudzeniu. W obu przypadkach oczyszczane surowce muszą być poddane gruntownemu przemyciu i wysuszeniu.

Obie te metody, aczkolwiek dają dobre wyniki, nie znalazły praktycznego zastosowania, gdyż są bardzo kosztowne. Współczesne nastawienie w dziedzinie wzbogacania surowców kieruje się na opanowanie metod opartych na obróbce termicznej, to jest na wypalaniu oraz oddestylowywaniu zanieczyszczeń na drodze procesu eletrografityzacji. Opanowanie i opracowanie ekonomicznych metod wzbogacania surowców wyjściowych umożliwi wykorzystanie do produkcji tworzyw szczotkowych łatwo dostępnych w kraju węgli drzewnych i koksów pochodzenia torfowego oraz zastąpienie nie posiadanego koksu naftowego wyłącznie koksem węglowym.

Osobną uwagę należy zwrócić na koks naftowy. Jest to bardzo pożądany surowiec w przemyśle węgli elektrotechnicznych z uwagi na bardzo małą zawartość zanieczyszczeń i inne cenne własności. Wprowadzone w ostatnich latach w przemyśle naftowym nowe metody destylacji ropy naftowej uczynią go niedostępnym również z importu. Nowe bowiem metody destylacji ropy naftowej umożliwiają prawie całkowite rozłożenie jej składu, eliminując tym samym uboczną produkcję koksu naftowego jako ekonomicznie nieopłacalną. Zagraniczne wytwórnie materiałów szczotkowych przechodzą z tego powodu na koks węglowy.

Bardzo ważne w warunkach krajowych jest zagadnienie zastąpienia nie posiadanego grafitu naturalnego odpowiednim grafitem sztucznym, możliwym do otrzymania na drodze obróbki termicznej w piecach Achesona z przetworów węgla kamiennego. Zagraniczny przemysł szczotkowy nie interesował się w takim stopniu grafitem sztucznym tylko dlatego, że mógł korzystać obficie z grafitów naturalnych o dobrych własnościach (bogate ich złoża istnieją na Madagaskarze, Cejlonie, Syberii i w innych miejscach). Natomiast w warunkach krajowych zagadnienie grafitu sztucznego jest bardzo istotne i wymaga szczegółowego przedyskutowania oraz włączenia w plan prac naukowo-badawczych. Wyniki prac nad rozwiązaniem tego zagadnienia będą potrzebne przemysłowi szczotkowemu już w 1957/58 r.

Niezbędny będzie również pewien wkład pracy naukowo-badawczej w zrewidowanie dawnego i, być może, opracowanie nowego procesu wytwórczego sadzy lampowej odpowiedniej do produkcji szczotek; produkcją takiej sadzy do zupełnie innych celów zajmuje się obecnie spółdzielnia „Barwinit" w Stalinogrodzie. Sadza lampowa, jako składnik niemetalicznych tworzyw szczotkowych, pozwala ustalać wielkości oporności właściwej poszczególnych gatunków, jest ona bowiem składnikiem, który nie daje się dotychczas zgrafityzować. Osobnym zagadnieniem byłoby podjęcie prób nad zgrafityzowaniem sadzy, względnie prac nad wyjaśnieniem przyczyn i zjawisk czyniących proces ten nieosiągalnym. Ewentualne opanowanie tego procesu mogłoby rozszerzyć zakres jej zastosowania. Zagadnienie to wymaga przedyskutowania pod względem celowości.

Podjęta w kraju produkcja proszku Cu metodą elektrolityczną, a proszku Sn i Pb sposobem rozpylania — specjalnie do szczotek miedziografitowych — wymagałaby w pewnym

stopniu opieki I. M. N. do ostatecznego i samodzielnego jej wprowadzenia.

Ponieważ stwierdzono, że utlenione proszki Cu ujemnie wpływają na jakość tworzyw szczotkowych, może powstać konieczność opracowania sposobów ich konserwacji i stabilizacji wymaganych własności. Naglącą potrzebą chwili jest sfinalizowanie prac podjętych przez I. M. N. nad opanowaniem procesu technologicznego aglomeryzacji i srebrzenia proszku Cu, potrzebnego do otrzymania najodpowiedniejszego sposobu zbrojenia szczotek w linki łączeniowe przez zaprasowanie.

T e c h n o l o g i a p r o d u k c j i. Zagadnienia natury naukowo-badawczej kształtują się tu w zależności od rodzaju grupy materiałów szczotkowych. W grupie materiałów metalografitowych konieczne jest ostateczne i dokładne studium procesów wytwórczych wszystkich gatunków pod względem celowości, prawidłowości i zgodności z wymaganiami współczesnej wiedzy i techniki. Wynikiem tej pracy powinna być teoretyczna podbudowa ustalonych procesów wytwórczych oraz ostateczne opracowanie kompletnych dokumentacji technologicznych na wybrane gatunki. Ustalony asortyment powinien możliwie uwzględniać całokształt potrzeb i wyrażać się możliwie minimalną ilością gatunków. W doborze odpowiedniego asortymentu w poszczególnych grupach zaleca się przyjąć wytyczne normy radzieckiej GOST — 2332 — 43. Ścisłe kopiowanie gatunków radzieckich może okazać się nieosiągalne i nie jest bezwzględnie potrzebne.

W stosunku do grupy asortymentów elektrografitowych tematem pracy badawczej należałoby objąć jeżeli nie każdy z poszczególnych gatunków, to przynajmniej osobno gatunki miękkie, osobno średnio-twarde i osobno gatunki twarde. Grupa tych materiałów jest bowiem produkcyjnie najbardziej skomplikowana. Rozbicie tematyki zagadnień na poszczególne gatunki miałoby uzasadnienie w stosunkowo dużej liczbie procesów przejściowych oraz wielocykliczności tychże procesów. Przeciętny cykl produkcyjny trwa do około 3 miesięcy. Najtrudniejsze w opanowaniu i prowadzeniu są procesy obróbki termicznej, wypalanie (cel — skoksowanie lepiszcza) i elektrografityzacja w piecach Achesona.

Z uwagi na to, że dotychczasowa produkcja krajowa w jednym z zakładów prowadzona była na prawach licencji zagranicznej, wydaje się celowy pewien wkład pracy w przeprowadzenie studium, analizy i udokumentowania stosowanych tam metod produkcyjnych. Uzyskany tą drogą materiał mógłby stanowić wytyczne do podejmowania koncepcji własnych w rozwiązaniu zagadnienia nad opracowaniem metod produkcji dobrych materiałów elektrografitowych.

Chociaż w ramach tematów prac naukowych nad ustaleniem technologii produkcyjnej poszczególnych gatunków elektrografitowych przewidziane jest opracowanie parametrów prowadzenia obróbki cieplnej, to jednak niezależnie od tego wydaje się rzeczą konieczną podjęcie studium badawczego nad procesami wypalania i grafityzacji pod kątem teoretycznego ustalenia i wyjaśnienia istoty zjawisk, które w nich występują. Z zagadnieniem tym wiązałoby się opracowanie odpowiednich metod pomiarowo-kontrolnych dla niezawodnego prowadzenia tych procesów. Dalszym zagadnieniem do częściowo niezależnego potraktowania w stosunku do technologii produkcji byłoby ustalenie wpływów składu granulometrycznego oraz ciśnień prasowania wymieszanej masy na bieg dalszych procesów wytwórczych oraz na jakość tworzywa szczotkowego.

Zagadnienia technologii grupy materiałów węglowych mieszczą się na ogół w grupie materiałów elektrografitowych. Pozostawałoby tylko ustalenie asortymentu i opracowanie dokumentacji technologicznych, co mogłoby być wykonane pod nadzorem instytutów badawczych przez same zakłady produkcyjne.

W grupie materiałów grafitowych należałoby rozwiązać kwestię lepiszcza, wiążącego przy niskiej stosunkowo temperaturze. Lepiszcze takie w przypadku stosowania grafitów naturalnych pozwala zachować tworzywu szczotkowemu bardzo pożądane naturalne własności smarowne.

Dalszą pracą doświadczalną, którą mogłyby podjąć instytuty, jest dobór jakości syciw oraz sposobów nasycania do celów zarówno specjalnych, jak i ogólnych.

Nabyte dotychczas doświadczenie w sprawach technologicznych wskazywałoby na konieczność przedyskutowania celowości dalszego prowadzenia podjętych swego czasu prac nad opanowaniem produkcji szczotek metalografitowych na drodze elektrolitycznej.

W perspektywicznym ujęciu współpraca instytutów z zakładami produkcyjnymi powinna objąć opracowanie nowych gatunków tworzyw na tle przyszłych potrzeb przemysłu elektrotechnicznego.

M e t o d y b a d a ń. Pierwszym zasadniczym zagadnieniem jest opracowanie metod pomiarowo-kontrolnych i dobór odpowiedniej aparatury do należytego prowadzenia procesów technologicznych według ustalonych warunków.

W zakresie badań odbiorczych zadaniem instytutów jest przekazanie zakładom opracowanych metod badania kontrolnego i badania typu oraz projektu laboratoriów fabrycznych. Zadaniem do rozwiązania jest opracowanie metod laboratoryjnych do wyznaczania maksymalnej szybkości obwodowej oraz znamionowej gęstości prądu dla poszczególnych gatunków szczotkowych.

Uzasadnieniem potrzeby opracowania tych metod jest to, że za granicą parametry ustalane są na podstawie danych eksploatacyjnych, co w warunkach krajowych jest o tyle niewygodne, ze wymagałoby wieloletnich prób i obserwacji związanych z pewnym ryzykiem dla ciągłości ruchu maszyn elektrycznych. Nieustalenie tych parametrów na drodze laboratoryjnej utrudniałoby poważnie dobór szczotek przy projektowaniu. Tematem długich prac będzie badanie zjawisk komutacji, niezbędne do ustalenia właściwych kryteriów wymaganych przy doborze szczotek do poszczególnych typów maszyn.

Zagadnieniem natury teoretycznej będą badania zjawisk stykowych, występujących na styku szczotki z komutatorem podczas pracy, dla wysnucia wniosków o dalszych możliwościach poprawy własności nowych gatunków szczotek.

Oddzielnym zadaniem instytutów będzie dalsze prowadzenie podjętych już badań charakteru specjalnego.

Dalej należy zająć się zbieraniem danych z doświadczenia eksploatacyjnego, dotyczącego pracy szczotek różnych gatunków w różnych warunkach. Materiały te, a zwłaszcza doświadczenie, zebrane na typowych przypadkach złej pracy z winy niewłaściwego użytkowania, pozwoliłyby na opracowanie wskazówek w sprawach właściwego korzystania ze szczotek.

Dezyderatem w stosunku do przemysłu elektrotechnicznego jest potrzeba opracowania przepisów eksploatacji maszyn elektrycznych ze szczególnym podkreśleniem konieczności konserwowania komutatora i szczotek.

4. Dezyderaty i wnioski.

I. S u r o w c e w y j ś c i o w e.

1) Opracowanie jakościowych wymagań na surowce wyjściowe.

2) Opanowanie nowych metod wzbogacania surowców przy pomocy obróbki cieplnej.

3) Opracowanie technologii produkcji odpowiedniego grafitu sztucznego do tworzyw szczotkowych.

4) Ustalenie wymagań i metod wytwórczych na proszki metaliczne do szczotek metalografitowych.

II. T e c h n o l o g i a p r o d u k c j i.

1) Opracowanie studium teoretycznego dotychczasowych procesów wytwórczych, gatunków metalografitowych, wprowadzenie ewentualnej korektury i udokumentowanie jej.

2) Opracowanie procesów technologicznych na różne gatunki materiałów szczotkowych elektrografitowych.

3) Teoretyczne opracowanie zjawisk i istoty procesu elektrografityzacji.

4) Prowadzenie prac badawczych nad poprawą własności tworzyw szczotkowych drogą nasycania ich odpowiednio dobranym sposobem i nad jakością syciwa.

5) Ciągłe prowadzenie prac badawczych nad poprawą jakości i nad opracowywaniem nowych gatunków tworzyw szczotkowych na tle przyszłych potrzeb przemysłu elektrotechnicznego.

III. M e t o d y b a d a ń.

1) Opracowanie i przekazanie zakładom produkcyjnym metod badawczych w zakresie odbioru oraz projektów laboratoriów fabrycznych.

2) Prowadzenie prac w kierunku opanowania nowych, doskonalszych metod badania.

3) Badanie zjawisk komutacji i zjawisk występujących na styku szczotki z komutatorem.

4) Prowadzenie badań eksploatacyjnych dla ustalenia kryteriów koniecznych do właściwego doboru szczotek do maszyn różnych typów.

MGR INŻ. EDMUND BRYJAK
Huta Baildon

Możliwości produkcyjne i zamierzenia krajowego przemysłu metalurgii proszków

(Komunikat)

621.775.7:338(085:9)(438)

Treść. Obecne krajowe możliwości produkcyjne pewnych wytworów proszkowych. Węgliki spiekane różnych gatunków dla różnych zastosowań, a więc do narzędzi tnących i do przeróbki plastycznej, styki elektryczne typu W-Cu, W-Ag, Ag-CdO, czysto wolframowe, np. płytki wolframowe, wyroby wolframowe i molibdenowe, proszki metali, łożyska porowate i inne. Planowana produkcja w planie pięcioletnim 1956—1960.

Od czasu pierwszej Konferencji Materiałoznawstwa Elektrycznego (Wrocław, 1951) *) polska metalurgia proszków poczyniła znaczne postępy produkcyjne i zaspokaja już pewne zapotrzebowania przemysłu krajowego. W planie 5-letnim nastąpi dalsze ilościowe, jakościowe i asortymentowe rozszerzenie produkcji.

Komunikat niniejszy dotyczy wytworów resortu hutnictwa, objętego Centralnymi Zarządami Przemysłu Stali Specjalnej, Metali Nieżelaznych i Wyrobów Metalowych.

W ę g l i k i s p i e k a n e. Przemysł elektrotechniczny jest zainteresowany w dwóch grupach narzędzi: a) narzędzi tnących i b) narzędzi do przeróbki plastycznej.

a) Płytki do celów skrawalniczych są dostatecznie znane, należy natomiast zwrócić uwagę elektryków na możliwość wykonania wykrojników zbrojonych wykładzinami z węglików spiekanych. Wytwórca węglików spiekanych może dostarczyć odpowiednie wykładziny, natomiast użytkownik musi je sobie oprawiać i szlifować. Wykrojniki opisane można stosować w masowej produkcji transformatorków, silniczków i innych drobnych detali, szczególnie w budowie aparatów radiowych i innych aparatów elektrycznych, lamp elektronowych, przyrządów itp. Czas służby wykrojnika zbrojonego węglikami spiekanymi jest kilkunastokrotnie dłuższy niż czas służby najlepszej stali na wykrojniki.

b) Fabryki kabli, drutów nawojowych, drutów jezdnych dla trakcji elektrycznej są zainteresowane w ciągadłach różnych wymiarów i profili. Dostawa ciągadeł nie przedstawia już w obecnej chwili problemu. Zaopatrujemy przemysł elektrotechniczny w ciągadła o profilu sześciokątnym, kwadratowym i o specjalnych profilach. Dostarczamy już pokaźne ilości ciągadeł trolejowych do drutów jezdnych dla trakcji elektrycznej Warszawa — Stalinogród. Rozpoczęliśmy również produkcję ciągadeł profilowych do ciągnienia drutów dla elektrofiltrów.

Wykonujemy również różne typy ciągadeł do rur i prętów oraz matryce do głębokiego tłoczenia, kalibrowania, wyciskania itp. Matryce te mogą znaleźć szerokie zastosowanie w przemyśle elektrotechnicznym. Matryce dostarczamy tylko częściowo w formie wykończonej, tj. szlifowanej i polerowanej. Większe ilości matryc dostarczamy w formie oprawionego w stal oczka surowego z węglików spiekanych. Użytkownik musi sobie szlifowanie, docieranie i polerowanie wykonać we własnym zakresie, przy czym może w pełni skorzystać z doświadczenia krajowego wytwórcy ciągadeł i matryc.

S t y k i e l e k t r y c z n e. Uruchomiono produkcję całego szeregu asortymentów styków spiekanych, składających się z czystych metali lub ze spiekanych materiałów złożonych. Terminy dostawy ich są krótkie. Produkuje się następujące rodzaje styków:

a) wolfram-miedź,
b) wolfram-srebro,
c) srebro-tlenek kadmu,
d) czysto wolframowe, np. pastylki wolframowe.

Dobór styków zależy od zastosowania, np. jeżeli materiał stykowy używa się w stykach typu iskrowego, wtedy wymaga się od niego małego zgaru przy iskrzeniu oraz odporności na spiekanie i zespawywanie się. Natomiast jeśli styk ma głównie przewodzić prąd, wtedy wymagany jest mały opór styku. Często jednak materiał stykowy musi łączyć obydwie podane własności, co właśnie spełniają materiały spiekane.

Od materiału na styki spiekane wymagane są następujące własności: 1) duża gęstość i twardość, 2) duże przewodnictwo elektryczne i cieplne, 3) odporność na spiekanie i zespawanie się, 4) wysoki punkt topnienia, 5) odporność na działanie prądu elektrycznego, 6) odporność na korozję w różnych ośrodkach, 7) zdolność do lutowania się z różnymi materiałami.

Styki spiekane w o l f r a m - m i e d ź i w o l f r a m - s r e b r o są stykami z materiałów złożonych typu metal wysokotopliwy (np. wolfram lub molibden) oraz metal dobrze przewodzący prąd (np. miedź lub srebro); produkuje się je już w szerokim asortymencie w kraju. Styki pracujące w powietrzu wykonuje się z materiału W-Cu w formie styków opalinowych do wysokonapięciowych wyłączników energetycznych, w formie nakładek do zgrzewarek punktowych i innych. Styki W-Cu zanurzone w oleju pracują dobrze w wyłącznikach olejowych, wykazując 4—8-krotnie mniejszy zgar niż miedź. Typowe są tu styki stosowane do górniczych maszyn wyciągowych.

Styki typu s r e b r o - t l e n e k k a d m u stosuje się w rozmaitego rodzaju przekaźnikach, do aparatów dużej mocy, dla których styki czysto srebrowe są nietrwałe. Styki Ag-CdO są bardziej wytrzymałe na działanie wysokich temperatur niż styki srebrowe. Tlenek kadmu ma stosunkowo duże przewodnictwo elektryczne i dysocjuje w temperaturach powyżej 1000°C z wytworzeniem jedynie fazy gazowej. Dysocjacji towarzyszy wydzielanie się obfitych ilości gazów, które gaszą powstający łuk. Dalszą zaletą styków Ag-CdO jest większa odporność na zespawywanie się.

Styki c z y s t o w o l f r a m o w e produkujemy w formie prętów, a przede wszystkim w formie pastylek wolframowych o średnicy od 5 do 2 mm, ciętych z pręta wolframowego. Mają one główne zastosowanie do iskierników w motoryzacji (w samochodach i motocyklach) oraz w teletechnice. Przy produkcji pastylek istnieją jeszcze pewne trudności jakościowe; prace nad ich opanowaniem są w toku.

Inne styki, np. o składzie Ag-Ni, stopy ciężkie W-Cu-Ni, dalej Ag-Cd, Ag-Fe, Ag-Pb, Ag-Ni-Mo itp., można również produkować w kraju, należy tylko uprzednio ustalić z wytwórcą warunki techniczne.

W y r o b y w o l f r a m o w e i m o l i b d e n o w e. Z programu produkcyjnego wyrobów wolframowych i molibdenowych oprócz już wymienionych pastylek wolframowych produkuje się lub będzie się produkowało:

a) pręty wolframowe i molibdenowe,
b) grube druty i spirale,
c) blachy i taśmy,
d) specjalne związki chemiczne molibdenowe żaroodporne.

Produkcja p r ę t ó w w o l f r a m o w y c h i m o l i b d e n o w y c h została już uruchomiona. Obecnie produkuje się już pręty o średnicy od 2 do 5 mm, szlifowane, o długości 300 mm i większej. Prętów wolframowych używa się jako elektrod do spawania metodą „arcatom". Metodą tą spawa się taśmy, blachy, np. przy walcowaniu taśm na walcarce „sędzimir", blachy kwasoodporne w przemyśle chemicznym, rury itd. Krótsze odcinki prętów wolframowych stosuje się do piór pisaków elektrycznych (elektrografów). Pręty wolframowe i molibdenowe można stosować do budowy pieców elektrycznych.

Druty w o l f r a m o w e, a szczególnie druty m o l i b d e n o w e będzie się produkowało na przełomie 1955/1956 roku. Asortyment nasz obejmie druty i spirale o średnicy od ~ 2,5 mm do 0,2 mm. Dostarczać je będzie w krążkach lub spiralach przy grubszych gatunkach. Spirale i druty będą miały zastosowanie w budowie pieców z atmosferą ochronną do 1600 — 1700°C.

Pod koniec 1956 r. będą już produkowane u nas b l a c h y i t a ś m y m o l i b d e n o w e o grubości do 0,1 mm i szerokości 200 mm. Cieńsze blachy i taśmy o grubości poniżej 0,1 mm będą prawdopodobnie również produkowane, ale w terminie późniejszym. Blachy i taśmy znajdą zastosowanie przede wszystkim w produkcji lamp radiowych, a taśmy również do budowy pieców elektrycznych (z atmosferą ochronną np. wodorową). Z grubych blach wolframowych o grubości 3 mm będzie się wycinało antykatody do rur rentgenowskich.

Do s p e c j a l n y c h z w i ą z k ó w c h e m i c z n y c h ż a r o o d p o r n y c h zalicza się krzemek molibdenu. Stosuje się go w formie nakrzemowanych powierzchniowo drutów molibdenowych lub w formie prętów z czystego krzemku molibdenu $MoSi_2$. Pręty z $MoSi_2$ spełniają to samo zadanie co sylity. Ewentualne uruchomienie tej produkcji zależy od ukończenia prac badawczych. Wytwory z krzemku molibdenu stosuje się w budowie pieców do temp. 1600—1650°C.

*) Por. Przegl. Elektr., 1952, z. 2, str. 70.

bez potrzeby zastosowania atmosfery ochronnej. Brak jednak w obecnej chwili odpowiedniego doświadczenia z tymi piecami.

Magnesy spiekane. Magnesy spiekane wykazują nieco gorsze własności magnetyczne niż magnesy lane, jednak są one chętnie stosowane dla mniejszych wymiarów, praktycznie poniżej 60 g. Nie znaczy to jednakże, że nie stosuje się ich dla większych mas. Są magnesy spiekane z nabiegunnikami ważące nawet 500 g.

Do zalet magnesów spiekanych można zaliczyć: a) taniość; b) dokładność wykonania (nie wymagają żadnej obróbki mechanicznej lub wymagają tylko bardzo małej); c) możność połączenia układu magnesowego w jedną całość drogą metalurgiczną, a więc magnesu z materiału magnetycznie twardego z nabiegunnikami z materiału magnetycznie miękkiego; ułatwia to montaż magnesu, gdyż nabiegunniki można łatwo mechanicznie obrabiać — wiercić, gwintować itd.

Produkcja magnesów spiekanych — na początek gatunku Al-Ni — jest planowana na przełomie 1956/1957; będzie wtedy wypełniona obecnie istniejąca luka.

Łożyska porowate. Produkcja ważnych elementów małych maszyn i aparatów elektrycznych, jak łożyska porowate, tzw. samosmarujące się, wyrabiane z proszków żelaza, jest już uruchomiona w skali doświadczalnej. Na większą skalę należy się spodziewać produkcji w roku 1955/1956.

Proszki metali. Ważny surowiec do produkcji szczotek węglowo-metalowych — proszek miedzi elektrolitycznej — produkuje się już w kraju. Oprócz miedzi w proszku produkuje się również proszki żelaza i niklu oraz inne.

Proszek do defektoskopii. Produkcja proszku do defektoskopii dla tzw. „ferrofluxów" zaspokaja w pełni zapotrzebowanie krajowe.

Inne materiały. Mniej więcej w drugiej połowie planu 5-letniego planuje się uruchomienie bardzo trudnej produkcji tantalu, toru i cyrkonu, ewentualnie i innych metali potrzebnych dla elektroniki w formie blach, taśm, prętów i drutów.

Oczywiście, trudno w tej chwili dokładnie przewidzieć rozwój przemysłu metalurgii proszków; będzie on zależał głównie od zapotrzebowania. Jeżeli pewne gatunki interesujące przemysł elektrotechniczny nie zostały wymienione wyżej, należy nawiązać kontakt z wytwórcami i wyjaśnić możliwości produkcji.

Jak wynika z powyższego przeglądu, polski przemysł metalurgii proszków zrobił od czasu I Konferencji Materiałoznawstwa Elektrycznego duże postępy. Jeżeli produkcja pewnych materiałów nie jest jeszcze uruchomiona, to jednak pracuje się nad jej uruchomieniem. Przemysł metalurgii proszków musimy budować od podstaw po uprzednich długotrwałych badaniach. Ścisła współpraca między wytwórcą wyrobów a ich użytkownikiem jest niezbędna, żeby zapoznać metalurga z potrzebami i specjalnymi wymaganiami elektryka. Dobry materiał będzie można uzyskać dopiero po żmudnych i długotrwałych próbach i wzajemnej wymianie doświadczeń. Nie należy zrażać się początkowymi niepowodzeniami, skoro chcemy opanować w Polsce w krótkim czasie technologię, nad którą gdzie indziej pracowano znacznie dłużej.

INŻ. JAN CIEŚLIK
Huta Baildon

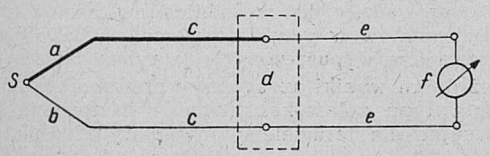
Perspektywy rozwojowe krajowej produkcji drutów na termoelementy

621.36;621.362;621.3.082.61;621.321

Treść. Termoelementy, ich rola i znaczenie w gospodarce pomiarowej cieplnej. Wymagania stawiane materiałom na termoelementy. Proces technologiczny produkcji drutu na termoelementy. Badania i próby trwałości. Perspektywy rozwojowe.

Przyrządy, którymi rozporządzamy obecnie do technicznych pomiarów temperatury, możemy podzielić na dwie grupy: termometrów stykowych i pirometrów optycznych. W pierwszej grupie, obejmującej różnego rodzaju termoelementy, jak żelazo-konstantan, nikielchrom-nikiel, chromel-alumel, platynarod-platyna oraz termometry oporowe, zasadnicze znaczenie mają termoelementy używane do pomiaru temperatur w piecach przemysłowych i laboratoryjnych w zakresie od 0 do 1700°C.

Zasada pomiaru za pomocą termoelementu polega na wyzyskaniu zjawiska Seebecka — powstawania w obwodzie,



Rys. 1. Obwód pomiarowy termoelementu

S — spoina metali
a — elektroda +
b — elektroda —
c — przewód kompensacyjny
d — zimne końce
e — przewód doprowadzający
f — wskaźnik

składającym się z dwóch heterogenicznych metali, w miejscu ich spojenia, siły termoelektrycznej, jeżeli temperatura spojenia różni się od temperatury wolnych końców tych metali.

Występująca siła termoelektryczna nie zależy ani od grubości, ani od długości użytych elektrod, lecz zależy jedynie od składu chemicznego oraz od różnicy temperatur między spoiną a zimnymi końcami, przy czym przyrost siły termoelektrycznej jest wprost proporcjonalny do różnicy temperatur.

W zamkniętym obwodzie pomiarowym termoelementu (rys. 1) przewód kompensacyjny służy do przedłużenia termoelementu aż do miejsca, w którym dogodnie jest mierzyć temperaturę według wskazań termoelementu. Żyły przewodów kompensacyjnych powinny być wykonane z tego samego materiału co przynależne elektrody termoelementu lub z materiału zastępczego.

Zaletą termoelementów jest ich prostota i wygoda oraz szeroki zakres pomiaru temperatur. Mały wymiar termoelementów umożliwia dokonanie pomiarów w trudno dostępnych punktach, a poza tym istnieje możliwość umieszczenia wskaźników temperatury w znacznych odległościach od miejsca pomiaru.

Od termoelementu wymagamy stateczności charakterystyki termoelektrycznej przy długotrwałej pracy, dostatecznie długiego okresu pracy bez kruszenia się lub wyparowania, możliwości wymiany termoelementu bez konieczności przecechowania wskaźników.

Siła termoelektryczna powinna mieć przy zmianie temperatury przebieg prostoliniowy i możliwie duże wartości. Żądane przebiegi charakterystyk siły termoelektrycznej dla poszczególnych termoelementów ujęte są — z podaniem dopuszczalnych odchyłek pomiarowych — w normach państwowych. W Polsce jest wydana norma zalecona PN/M-53854 dla charakterystyk termoelementów i norma PN/M-53859 dla przewodów kompensacyjnych. Normy polskie charakteryzuje w pewnych punktach znaczne zwężenie granic dopuszczalnych odchyłek w stosunku do norm DIN czy GOST, co stwarza dodatkowe trudności dla krajowego producenta termoelementów. Dlatego też w pierwszym etapie uruchomienia produkcji przewidziane jest wprowadzenie resortowych warunków technicznych dla dostaw drutów na termoelementy, opartych ściśle na DIN.

Jak wynika z powyższego przeglądu wymagań stawianych materiałom na termoelementy, produkcja ich nie jest łatwa i niewiele producentów na świecie mogło im sprostać. Na kontynencie europejskim głównymi dostawcami są firmy Siebert, Hereus, Degusa, Kanthal. Dotychczasowe zaspokojenie potrzeb naszego rynku odbywało się drogą importu materiałów na termoelementy z krajów zachodnich.

Dla uniezależnienia kraju od importu zagranicznego hutnictwo nasze podjęło próby opanowania produkcji termoelementów najczęściej spotykanych w praktyce, tj. termoelementów typu NiCr-Ni, chromel-alumel i żelazo-konstantan, oraz produkcję przewodów kompensacyjnych potrzebnych do tych termoelementów.

W toku wstępnych konferencji ustalono, że istnieje zamienność między termoelementami gatunku chromel-alumel oraz NiCr-Ni. Termoelementy te mają prawie pokrywające się przebiegi charakterystyk termoelektrycznych przedstawione w tabl. I.

Tablica I. Charakterystyki termometrycznych termoelementów NiCr-Ni i chromel-alumel według norm PN/M—53854, DIN 43710, GOST T 3044—45 dla temperatury otoczenia 0°C

Temperatura (°C)	Siła termoelektryczna (mV)										
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
PN/M-53854 NiCr-NI	0,00	4,10	8,13	12,21	16,39	20,64	24,90	29,14	33,31	37,36	41,31
DIN 43710 NiCr-Ni	0,00	4,04	8,14	12,24	16,38	20,64	24,94	29,15	33,27	37,32	41,32
GOST T3044-45 chromel-alumel.	0,00	4,10	8,13	12,21	16,39	20,64	24,90	29,14	33,31	37,36	41,31

Termoelement chromel-alumel jest termoelementem nowocześniejszym, mniej wrażliwym na atmosferę zawierającą siarkę, pozwalającym ponadto na stały pomiar temperatury o 100° wyższej niż najwyższa stale dopuszczalna temperatura pomiarowa termoelementów NiCr-Ni.

Wymienione w tabl. I wartości sił termoelektrycznych obowiązują dla gotowego termoelementu; charakterystyki poszczególnych elektrod termoelementu nie zostały jeszcze w Polsce ujęte w normy, wobec czego obydwie elektrody powinny pochodzić zawsze od tego samego wytwórcy. Budowa termoelementów z elektrod pochodzących od różnych wytwórców prowadzi zwykle do błędnych pomiarów.

Proces produkcji drutów na elektrody do termoelementów jest bardzo trudny i musi odpowiadać dużym wymaganiom technicznym, począwszy od starannej kontroli jakości składników stopowych. Wytopy stopów, używanych do produkcji poszczególnych elektrod termoelementów, oddaje się do produkcji na podstawie prób pilotowych.

Próbki drutu, pochodzące z wlewków próbnych, po przejściu całkowitego cyklu przerobu są badane w zakładowym laboratorium fizycznym na własności termoelektryczne, a następnie są przekazywane do Głównego Urzędu Miar do sprawdzenia otrzymanych wyników. Ocena GUM decyduje o zwolnieniu całego wytopu do dalszego przerobu.

Wszystkie operacje muszą być dokładnie regulowane i kontrolowane, albowiem każda z nich może mieć wpływ na przebieg charakterystyki i trwałość drutu na termoelementy. Na przykład nieodpowiednia temperatura walcowania, za duże zgnioty ciągarek lub nieodpowiednia koncentracja kwasów do trawienia może powodować dyskwalifikację wytopów.

Drut ze zwolnionego do przerobu wytopu zwija się i dzieli na krążki o ciężarze 10 do 20 kg. Początek i koniec każdego krążka podlega zbadaniu na przebieg siły termoelektrycznej, powstającej przy styku z czystą platyną według danych GOST W 1790—42. Po ustaleniu siły termoelektrycznej każdego krążka w laboratorium kompletuje się z dwóch krążków drutu przynależny zestaw, z którego można wykonywać termoelementy o charakterystykach zgodnych z normą. Wszystkie zestawy przeznaczone do wysyłki zaopatruje się w poświadczenie huty z wynikami badań, a każdy krążek jest oznaczony wywieszką według następujących wzorów:

CHROMEL

Nr krążka 45.

Materiał na termoelementy chromel-alumel o średnicy 1,6 mm.

Wytop nr 71651, 14 kg, 800 m.

Znak +; łączyć tylko z krążkiem nr 44.

Tablica A. Charakterystyka termoelementu $\frac{PN}{M/53854}$

Temperatura (°C)	Siła termoelektryczna (mV)			
	89055 —	71651 +	termoelement	Δ w stosunku do PN
300	2,56	9,34	11,90	+ 0,31
500	4,18	16,20	20,38	+ 0,26
700	5,98	22,92	28,90	+ 0,24
1000	8,63	32,54	41,17	+ 0,14

Temperatura odniesienia 0°C. Lab. fiz. H 123

ALUMEL

Nr krążka 44.

Materiał na termoelementy chromel-alumel o średnicy 1,6 mm.

Wytop nr 89055, 13,6 kg, 800 m.

Znak —; łączyć tylko z krążkiem nr 45.

(Charakterystyka termoelementu $\frac{PN}{M/53854}$ jak wyżej).

Odbiorca korzystając z poświadczenia i wywieszek ma możność kompletowania termoelementów o dowolnej długości w zależności od potrzeb, musi tylko przestrzegać kolejności łączenia zestawów.

Pierwsze próby opanowania produkcji termoelementów w kraju doprowadziły do uzyskania powtarzalnych wyników dla termoelementów w gatunku chromel-alumel. Wyniki pierwszych zestawów wypuszczonych na rynek podaje tabl. II.

Również dobre wyniki uzyskano w produkcji drutów na termoelementy typu żelazo-konstantan i drutów na przewody kompensacyjne dla termoelementów platynarod-platyna. Niezależnie od wyżej wymienionych gatunków wyprodukowano pewną ilość drutu na termoelementy żelazo-kopel.

Przeprowadzone próby trwałości gotowych termoelementów wykazały dostateczny czas służby termoelementów typu chromel-alumel przy pracy w piecach elektrycznych. W piecach o atmosferze gazowej występuje czasami wpływ tej atmosfery (a głównie połączeń siarki zawartej w gazach) w postaci kruchości powierzchniowej i zaniku siły termoelektrycznej. Zjawiska te występowały tak samo w termoelementach pochodzenia zagranicznego, pracujących w identycznych warunkach. Powodem tych zjawisk są nieszczelne lub niedostatecznie wyczyszczone osłony ze stali

Tablica II. Charakterystyki termoelektryczne termoelementów w gatunku chromel-alumel pochodzenia krajowego według badań GUM (wytopy nr 71651 i nr 89055)

Temperatura (°C)	I partia drutów				II partia drutów		PN dla NiCr-Ni	
	Sprawdzenie bezpośrednie termoelementu (z partią drugą)		Wyniki obliczenia z tabl. A		Wyniki obliczenia z tabl. B			
	(m V)	Δ w stosunku do PN (mV)	(m V)	Δ w stosunku do PN (m V)	(m V)	Δ w stosunku do PN (m V)	(m V)	tolerancja (m V)
300	11,86	+ 0,35	11,90	+ 0,31	11,85	+ 0,36	12,21	± 0,4
400	16,11	+ 0,28	16,13	+ 0,26	16,10	+ 0,29	16,39	
500	20,39	+ 0,25	20,38	+ 0,26	20,39	+ 0,27	20,64	
600	24,71	+ 0,19	24,68	+ 0,22	24,71	+ 0,19	24,90	± 0,5
700	29,01	+ 0,13	28,90	+ 0,24	29,01	+ 0,13	29,14	
800	33,19	+ 0,12	33,10	+ 0,21	33,22	+ 0,9	33,31	
900	37,26	+ 0,10	37,22	+ 0,14	37,28	+ 0,8	37,36	
1000	41,27	+ 0,04	41,17	+ 0,14	41,32	— 0,01	41,31	

nierdzewnej, których zadaniem jest ochrona termoelementów od działania czynników zewnętrznych.

Występowaniu kruchości można częściowo zapobiec przez poddanie osłon przed zabudową termoelementów prażeniu przez 3 godziny w temperaturze 800°C. Kruchość termoelementów występuje ponownie, jeżeli wyprażona osłona będzie wewnątrz naoliwiona. Przypuszcza się, że oliwa lub inne ciała zawierające węgiel lub siarkę, a znajdujące się wewnątrz osłony, względnie ciała, które przenikają przez nieszczelności osłony, powodują kruchość termoelementów. Z tego powodu wszystkie osłony ze stali nierdzewnej, przeznaczone do termoelementów chromel-alumel, powinny być starannie wyczyszczone przed wbudowaniem. Termoelementy nie powinny pracować w stanie nieosłoniętym w miejscach prawdopodobnego występowania olejów lub ciał zawierających siarkę.

Termoelementy ulegają zużyciu z biegiem czasu pracy, co określa się pojęciem starzenia materiału i co występuje w postaci spadku siły termoelektrycznej. Zjawisko starzenia jest spowodowane zmianą oporu wewnętrznego termoelementu oraz zmianą struktury krystalograficznej, powodującej powstawanie dodatkowych sił termoelektrycznych między warstwą tlenków a metalem. Zjawisku temu można zapobiec przez zastosowanie tzw. sztucznego starzenia w temperaturze przynajmniej o 150°C wyższej od temperatury pracy termoelementu. Stwarza to dodatkowe trudności dla producenta ze względu na konieczność otrzymania tak wysokich temperatur w elektrycznych piecach żarzelniczych.

W kraju prowadzi się dalsze badania nad ustaleniem warunków pracy termoelementów produkcji krajowej. Produkcję termoelementów w kraju należy uznać za opanowaną i zapotrzebowanie krajowe roku bieżącego, jak i lat następnych, będzie pokryte produkcją krajową.

Przed przemysłem hutniczym zarysowują się następujące główne zadania związane z produkcją termoelementów:

a) przejście z wytopów w piecach elektrycznych do wytopów w piecach próżniowych, co zmniejszy przypadkowość w otrzymaniu właściwego wytopu,

b) usprawnienie procesu produkcyjnego,

c) zwiększenie trwałości termoelementów drogą ulepszonej obróbki termicznej.

Do pilnych zadań, które powinny rozwiązać przemysły, dostarczające wyposażenie do termoelementów, należałoby zaliczyć:

a) rozszerzenie asortymentu powszechnie używanych osłon metalowych i ceramicznych, chroniących termoelementy przed działaniem kąpieli solnych, metalowych, żużla i atmosfer gazowych;

b) poprawę jakości osłon ceramicznych, które są bardzo kruche;

c) ulepszenie konstrukcji osłon w kierunku zabezpieczenia termoelementów przed działaniem szkodliwej atmosfery;

d) uruchomienie produkcji części zamiennych do aparatury pomiarowej, jak silniczki synchroniczne do napędu taśmy w aparatach rejestrujących, a dalej piórek, taśm papierowych, sprężyn do mechanizmów pomiarowych, żarówek do pirometrów optycznych.

II. MATERIAŁY MAGNETYCZNE

INŻ. M. MARKUSZEWICZ, K. N. T.
Instytut Metalurgii

Blachy elektrotechniczne

669—41:669.14.018:621.3

Treść. Blachy ze stali niskowęglowej i krzemowej walcowane na gorąco. Taśmy walcowane na zimno. Metody otrzymywania. Własności. Zagadnienia użytkowania i najważniejsze zastosowania.

1. Wstęp.

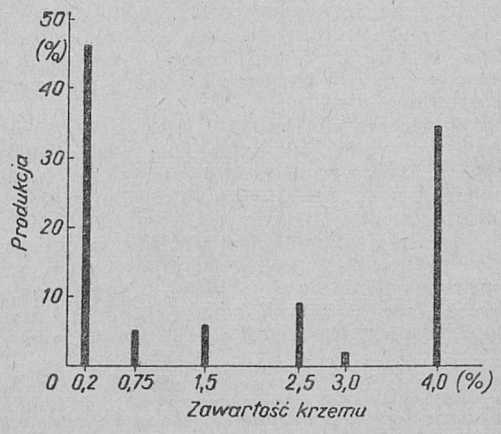
W ciągu ostatnich lat opracowano szereg nowych materiałów magnetycznych, dotychczas jednak dominujące znaczenie mają żelazo i stopy żalaza z krzemem, stosowane głównie w postaci blach i taśm do budowy większości urządzeń elektrotechnicznych. Stąd duże znaczenie — techniczne i gospodarcze — mają stała poprawa własności magnetycznych tych materiałów i właściwe ich stosowanie.

Jak wynika z prac Cioffi'ego, Williamsa, Bozortha i innych, czyste żelazo ma cenne własności ferromagnetyczne. Na przykład przenikalność początkowa żelaza armco wyżarzonego przy wysokiej temperaturze w atmosferze wodoru wynosi 14 000 Gs/Oe, przenikalność maksymalna 280 000 Gs/Oe, natężenie koercyjne około 0,03 ersteda. Uzyskanie tak wysokich własności jest jednak w skali przemysłowej bardzo kłopotliwe i kosztowne, nie ma więc dotychczas zastosowania praktycznego. Ważnym zagadnieniem jest w tym przypadku uzyskanie dostępnymi środkami w skali technicznej żelaza o możliwie największej przenikalności i małej koercji. Niezależnie od tego zastosowanie żelaza w elektrotechnice ograniczone jest jego stosunkowo małą opornością właściwą i związanymi z nią dużymi stratami z prądów wirowych. Stosuje się je między innymi na nabiegunniki maszyn elektrycznych, rdzenie elektromagnesów, obwody magnetyczne przekaźników, osłony magnetyczne itd. Początkowo żelazo stosowano również jako materiał rdzeniowy do budowy maszyn elektrycznych i transformatorów.

Duży postęp w produkcji maszyn elektrycznych i aparatów magnesowanych prądem zmiennym nastąpił dzięki wprowadzeniu krzemu jako składnika stopowego. Na początku bieżącego stulecia Barrett, Brown i Hadfield stwierdzili, że dodatek krzemu zwiększa oporność elektryczną i przenikalność magnetyczną żelaza, zmniejsza straty z prądów wirowych i z histerezy, powodując pewne zmniejszenie nasycenia. Badania te łącznie z badaniami Gumlicha stworzyły podstawę do przemysłowego opracowania produkcji blach krzemowych co nastąpiło w latach 1905—1910. Szerokiemu zastosowaniu tych materiałów w elektrotechnice sprzyjało również stwierdzenie ich małej wrażliwości na starzenie.

Dalszym ważnym etapem były prace Yensena i współpracowników rozpoczęte w roku 1914, a dotyczące wpływu domieszek na własności magnetyczne żelaza i jego stopów. Badania Honda i Kaya, Williamsa i innych z lat 1926—1937 wykazały istnienie wybitnej anizotropii magnetycznej pojedynczych kryształów żelaza i stopów żelaza z krzemem i były punktem wyjścia do przemysłowego wytwarzania materiałów wielokrystalicznych teksturowanych, co nastąpiło w latach 1935—1945. Dla techniki wprowadzenie materiałów teksturowanych jest równie rewolucyjne, jak stwierdzenie w początku XX wieku wpływu krzemu i wprowadzenie go jako składnika stopowego blach elektrotechnicznych. Postęp w zakresie technologii materiału walcowanego na gorąco doprowadził w czasie półwiecza do zmniejszenia strat o połowę; podobny procentowy spadek stratności (do około 0,6 W/kg przy 10 kGs w kierunku walcowania) wywołało wprowadzenie materiału teksturowanego. Uzyskany wzrost przenikalności maksymalnej jest jeszcze większy. Wartości uzyskiwane obecnie przekraczają ponad 10-krotnie wartości otrzymywane na początku bieżącego stulecia.

Na rys. 1 przedstawiono udział procentowy poszczególnych gatunków w ogólnej produkcji blach krzemowych walcowa-



Rys. 1. Produkcja poszczególnych gatunków blach krzemowych walcowanych na gorąco

nych na gorąco. Jak widać, największy jest udział stali o najmniejszej zawartości krzemu; dzieje się to na skutek zarówno dużej indukcji nasycenia, jak i niskiej ceny. Również duży procent blach wytwarzany jest ze stali o zawartości około 4% Si. W tym przypadku znaczne koszty (około 50% większe niż stali o zawartości 0,2% Si) są uzasadnione wysoką jakością materiału.

Blachy krzemowe stosowane są przede wszystkim do budowy maszyn elektrycznych i transformatorów, przy czym gatunki o małej zawartości krzemu używane są do małych maszyn, gdzie indukcja nasycenia jest szczególnie ważna. Gatunki o średniej zawartości krzemu stosuje się do większych maszyn ze względu na zmniejszenie strat. Gatunki o największej zawartości krzemu stosuje się do budowy transformatorów, ponieważ małe straty są w tym przypadku rzeczą zasadniczą. Ostatnio do tego celu znajdują coraz szersze zastosowanie stale krzemowe anizotropowe o zawartości około 3,2% Si.

Elektrotechniczne blachy krzemowe używane są również do budowy aparatów pomiarowych. Zasadniczym wymaganiem w stosunku do blachy na przekładniki prądowe jest to, żeby prąd magnesujący stanowił nieznaczną część prądu obciążenia. Gdy wymagana jest bardzo duża dokładność, wówczas najbardziej odpowiednie są stopy żelazo-niklowe o dużej przenikalności. W przypadku mniejszych wymagań stop żelaza z krzemem o zawartości 4% Si, pracujący przy indukcji od 100 do 1000 Gs, jest szeroko stosowany. Szczególnie dobre własności wykazują tutaj rdzenie zwijane z materiałów teksturowanych. Wymagania od materiału na przekładniki napięciowe są mniej ostre; dopuszcza się prąd magnesujący tego samego rzędu co prąd obciążenia. Stop żelaza z krzemem o zawartości 3,5 — 4% Si, pracujący przy 7 do 9 kGs jest tu ogólnie stosowany.

Oprócz powyższych stopy żelazo-krzemowe znajdują szereg innych zastosowań w elektrotechnice jak np. do budowy liczników, transformatorów częstotliwości akustycznych, transformatorów stabilizujących napięcie, przekaźników, elektromagnesów, jarzm układów odchylających w lampach telewizyjnych itd. W obwodach prostowników, gdzie spolaryzowane dławiki są szeroko stosowane jako elementy wygładzające i wymagana jest duża przenikalność przyrostowa, materiał o zawartości 4% Si jest w powszechnym użyciu. Przy większych polach polaryzujących, większa przenikalność przyrostowa może być osiągnięta przy użyciu blach o małej zawartości krzemu. Dławiki niespolaryzowane ze szczeliną powietrzną stosowane są do różnych celów, z których najbardziej typowe są dławiki do obwodów świetlówkowych. Ze względu na znaczną przenikalność w zakresie poniżej nasycenia oraz ostre kolano krzywej magnesowania materiały krzemowe anizotropowe mogą z powodzeniem zastępować stopy żelazo-niklowe do budowy rdzeni wzmacniaczy magnetycznych.

Blachy krzemowe dla przemysłu silnoprądowego stosuje się zwykle o grubości 0,5 do 0,35 mm. W urządzeniach wielkiej częstotliwości stosuje się również blachy cieńsze o grubości 0,20 do 0,05 mm zwykle w postaci taśm walcowanych na zimno. Odpowiedni dobór grubości blach ma bardzo duże znaczenie, np. stosowanie blach o grubości 0,5 mm zamiast 0,35 mm do budowy dużych transformatorów może być korzystne pomimo pewnego wzrostu strat z prądów wirowych, prowadzi bowiem do wzrostu współczynnika zapełnienia (np. od około 0,87 do 0,92) oraz zwiększenia objętości czynnej rdzenia transformatora. W innych przypadkach należy liczyć się z tym, że w miarę zmniejszania się grubości materiału maleje również przenikalność, a w szczególności przenikalność maksymalna. Efekt ten w związku z odkształceniem warstwy przypowierzchniowej oraz zjawiskiem naskórkowości, występuje szczególnie jaskrawo w cienkich blachach i taśmach pracujących przy dużych częstotliwościach *).

Jest rzeczą ważną, aby badania własności magnetycznych stosowanych materiałów jak najbardziej odpowiadały warunkom ich pracy. Z tego względu w przypadku np. transformatorów pracujących przy indukcji 13—17 kGs bardziej celowe jest badanie stratności przy 15 kGs niż przy 10 kGs. Nie chodzi tu zresztą jedynie o warunki pomiaru. Jest rzeczą ważną, aby odpowiednie wymagania były ściśle precyzowane przez użytkowników, zapewnienie bowiem małej stratności przy 15 kGs nie koniecznie musi się wiązać z małą stratnością przy 10 kGs i odwrotnie. Okoliczność ta jest uwzględniona między innymi w nowych niemieckich warunkach technicznych na blachy transformatorowe (DIN 46400 z roku 1954).

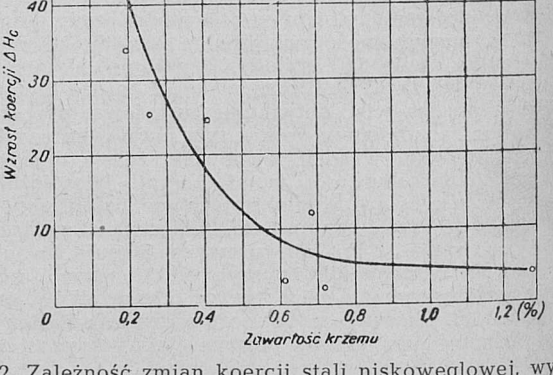
Dotychczas własności magnetyczne blach krzemowych określa się przeważnie za pomocą aparatu Epsteina 50-centymetrowego na próbkach 10- kilogramowych. Zwykle pobiera się jedną próbę z 1000 kg materiału, wycinając paski z 6 arkuszy o wymiarach 750×1500×0,35 tj. z ~ 18 kg blachy. Sposób ten, choć jest bardzo kosztowny (strata wynosi około 2% cennego materiału), daje jedynie pewne pojęcie o średnich własnościach partii, a nic nie mówi o własnościach poszczególnych arkuszy. Jeżeli nawet dane takie w zastosowaniu do przemysłu silnoprądowego, w którym do budowy poszczególnych jednostek stosuje się tony blach, mogą przedstawiać pewną wartość, to dla jednostek małych — z rdzeniami o ciężarze nie przekraczającym kilku kilogramów — są one zupełnie niewystarczające.

Szczegółowa analiza procesu technologicznego wytwarzania blach elektrotechnicznych, a zwłaszcza blach walcowanych na gorąco i obrabianych cieplnie w skrzyniach, prowadzi do wniosku, że stosunkowo duży rozrzut własności magnetycznych — zarówno w granicach jednego wytopu, wlewka, pakietu walcowniczego, jak i jednej partii wspólnie obrabianej cieplnie — jest nieunikniony. Z tego względu ze wszech miar polecenia godne jest badanie własności (stratności, przenikalności itd.) poszczególnych arkuszy metodą nieniszczącą i sortowanie ich na odpowiednie grupy, z których następnie można pobierać próby do dokładniejszego określania własności za pomocą aparatu Epsteina, ferrometru lub innymi sposobami. Tylko taka metoda może zapewnić właściwe stosowanie materiału.

Stratność blach walcowanych na gorąco określa się zwykle na paskach wyciętych w połowie wzdłuż i w połowie w poprzek do kierunku walcowania. Ponieważ różnice stratności w obu tych kierunkach wynoszą około 10%, można przez odpowiednie wycinanie elementów (tj. tak, aby strumień magnetyczny przebiegał zgodnie z kierunkiem walcowania) otrzymać rdzenie o mniejszej stratności. Oczywiście, w materiałach teksturowanych anizotropowych sprawa ta ma znaczenie zasadnicze.

2. Blachy ze stali niskowęglowej.

Przez długie lata szeroko stosowanym materiałem w elektrotechnice było żelazo szwedzkie, którego stosunkowo wysokie własności magnetyczne związane były głównie z małą zawartością siarki. Ze względu na duże zapotrzebowanie, trudności



Rys. 2. Zależność zmian koercji stali niskowęglowej, wywołanych starzeniem, od zawartości krzemu

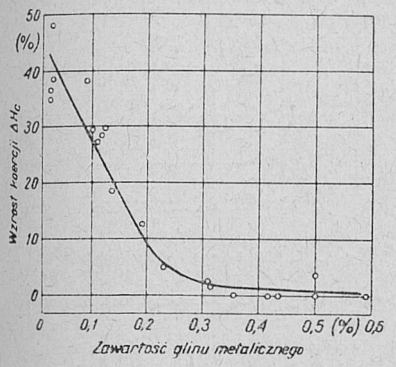
importowe oraz dążenie do obniżenia kosztów próbowano zastąpić żelazo szwedzkie żelazem „armco" wysokiej jakości. Okazało się jednak, że uzyskanie żelaza „armco" o dobrych własnościach magnetycznych jest rzeczą bardzo trudną i podawane w katalogach wartości ($\mu_{max} \cong$ 6000 Gs/Oe i $H_c \cong$ 0,8 Oe) są często przekraczane. Prócz tego żelazo „armco" wykazuje, jak zresztą i inne gatunki żelaza względnie stali niskowęglowej, znaczną wrażliwość na starzenie; w związku z tym np. wzrost koercji sięga niejednokrotnie 30% i więcej. Ostatnie badania wykazały, że ze zwykłych gatunków stali handlowych można wytwarzać blachy elektrotechniczne o własnościach znacznie lepszych niż przy użyciu żelaza „armco"

*) Nie uwzględnia tych zależności i tym samym obarczony jest poważnym błędem projekt normy państwowej na blachy ze stali krzemowej do celów teletechnicznych, oparty na normie DIN 41301, przyjmuje bowiem dla materiałów klas C o grubości 0,10 mm te same wartości przenikalności, które norma niemiecka przewiduje dla materiałów o grubości 0,15 mm.

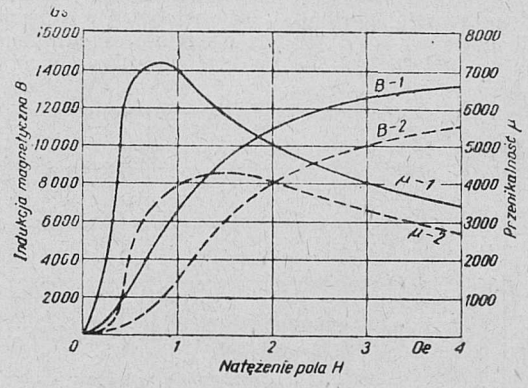
(μ_{max} około 7500 Gs/Oe i H_c około 0,5 Oe). Udało się również wydatnie zmniejszyć wpływ starzenia.

Na własności magnetyczne stali niskowęglowej wpływa wiele czynników związanych z całym cyklem produkcyjnym, a więc z wytapianiem i odlewaniem stali, przeróbką plastyczną i obróbką cieplną. Zasadniczym dążeniem przy wytapianiu magnetycznie miękkiej stali niskowęglowej jest uzyskanie materiału o jak najmniejszej ilości domieszek, głównie węgla, siarki, fosforu, gazów i wtrąceń niemetalicznych oraz jak największej jego jednorodności.

Największą trudność stanowi osiągnięcie małych zawartości węgla przy utrzymaniu małej zawartości tlenu oraz uzyskanie możliwie dużej jednorodności chemicznej stali. Podczas krzepnięcia stali we wlewnicy następuje segregacja składników, przy czym segregaty zbierają się w osiowej części wlewka, zwłaszcza w górnej jego części. Stopień segregacji zmienia

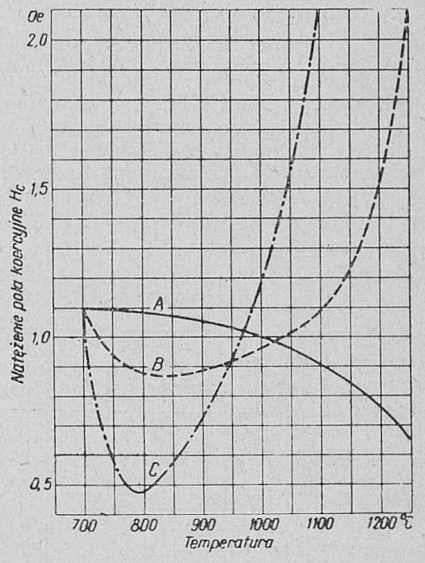


Rys. 3. Zależność zmian koercji stali niskowęglowej, wywołanych starzeniem, od zawartości glinu



Rys. 4. Krzywe pierwotnego magnesowania (B) i krzywe przenikalności (μ) blach ze stali niskowęglowej (0,07% C)

1 — poddanych obróbce odwęglającej (24 godz. w temperaturze 800°C)
2 — wyżarzanych przez 2 godz. w temperaturze 925°C



Rys. 5. Zależność natężenia koercyjnego blach ze stali niskowęglowej (0,07% C) od temperatury wyżarzania

A — blachy trawione
B — blachy surowe (po walcowaniu)
C — blachy surowe, pokryte dodatkowo zgorzeliną (przez normalizowanie)

się w zależności od wymiarów wlewka, ilości segregujących pierwiastków, stopnia utlenienia metalu, temperatury i szybkości odlewania stali itd. Najsilniej segregują siarka, fosfór i węgiel. W związku z tym własności magnetyczne próbek, pochodzących z poszczególnych miejsc wlewka, mogą różnić się znacznie, a więc skład chemiczny stali określony analizą wytopową ma jedynie znaczenie orientacyjne i w żadnym wypadku nie gwarantuje zawartości domieszek w poszczególnych wyrobach (blachach, prętach itp.).

W celu zmniejszenia segregacji i zapewnienia większej jednorodności stali jak również w celu zmniejszenia wrażliwości na starzenie, korzystne jest wytwarzanie elektrotechnicznej stali niskowęglowej jako uspokojonej przez odtlenienie jej krzemem i glinem. Rys. 2 i 3 ilustrują wpływ dodatków krzemu i glinu na zmiany koercji stali niskowęglowej wywołane starzeniem.

W czasie przeróbki plastycznej na gorąco skład chemiczny stali może zmieniać się w zależności od atmosfery pieca, temperatury i czasu wygrzewania. W najczęściej spotykanej atmosferze utleniającej następuje częściowe utlenienie węgla, żelaza. W niektórych przypadkach nastąpić może nawęglanie lub nasiarczanie. Wymienione reakcje przebiegają tym łatwiej, im większa jest powierzchnia materiału w stosunku do jego masy; występują one zatem najintensywniej w cienkich blachach. W zasadzie blachy walcowane na gorąco mają własności prawie niezależne od kierunku pobrania próbki. Pewna anizotropia materiału przerobionego plastycznie na gorąco i prawidłowo obrobionego cieplnie jest związana głównie z pasmowym ułożeniem wtrąceń niemetalicznych.

Zbliżoną orientację krystalograficzną większej ilości kryształów można osiągnąć przez przeróbkę plastyczną na zimno przy zastosowaniu dużych stopni zgniotu (powyżej 50%).

Według Jeffriesa, Kurdiumowa i Sachsa, Bozortha oraz innych autorów teksturę żelaza i stali niskowęglowej, uzyskaną przez walcowanie na zimno, charakteryzuje to, że kierunek [110] odchylony jest o kilka stopni od kierunku walcowania, a płaszczyzna (001) odchylona jest od płaszczyzny walcowania przez obrót dokoła kierunku walcowania o kąt około 50° (zależnie od stopnia zgniotu) i przez obrót dokoła osi prostopadłej do kierunku walcowania o kąt 6 —20°.

Teksturę żelaza i stali niskowęglowej po rekrystalizacji charakteryzują trzy główne orientacje:

1) ściana (100) w płaszczyźnie walcowania, kierunek [011] odchylony o 15° od kierunku walcowania;

2) ściana (111) w płaszczyźnie walcowania, kierunek [112] zgodny z kierunkiem walcowania;

3) ściana (112) w płaszczyźnie walcowania, kierunek [110] odchylony o 15° od kierunku walcowania.

Tekstura po rekrystalizacji zależy od zawartości domieszek, struktury materiału wyjściowego, wielkości i rodzaju gniotów na zimno, warunków wyżarzań międzyoperacyjnych i końcowej obróbki cieplnej. W ten sposób drogą odpowiedniego doboru poszczególnych czynników można uzyskać tekstury odmienne od wyżej wymienionych. Na przykład jeśli zastosować walcowanie krzyżowe, można uzyskać teksturę, w której kierunek [110] jest zgodny z kierunkiem walcowania, a ściana (100) leży w płaszczyźnie walcowania; w tym przypadku kierunek łatwego magnesowania jest odchylony o 45° od kierunku walcowania.

W badaniach własnych blachy i taśmy ze stali niskowęglowej walcowano na zimno ze stopniem zgniotu od 50 do 94%. Stwierdzono, że ze wzrostem stopnia zgniotu wzrasta natężenie koercyjne oraz maleje przenikalność zarówno po zgniocie, jak i po wyżarzeniu rekrystalizującym przy temperaturze poniżej przemiany alotropowej.

Przeprowadzone badania rentgenograficzne wykazały, że typ tekstury walcowania można określić trzema orientacjami — (100) [011], (112) [1$\bar{1}$0], (111) [11$\bar{2}$] — i że nie zależy on od stopnia zgniotu; stopień teksturowania wzrasta natomiast w miarę jego zwiększania. Typ tekstury rekrystalizacji blach walcowanych z 94-procentowym stopniem zgniotu nie zmienia się w zakresie temperatur wyżarzania od 690 do 900°C. Wyżarzanie przy 925°C powoduje skłonność do przechodzenia ziarn w stan statystycznego nieuporządkowania. W związku z występowaniem przemiany alotropowej teksturowanie stali niskowęglowej jest bardzo utrudnione i nie przedstawia dotychczas większego znaczenia praktycznego.

Ważnym zagadnieniem przy wytwarzaniu blach elektrotechnicznych walcowanych na gorąco jest zapewnienie dostatecznie gładkiej powierzchni. W zasadzie powierzchnię taką można uzyskać drogą stosunkowo niewielkich gniotów wykończających na zimno. Jednak sprawa znacznie się komplikuje ze względu na ujemny wpływ zgniotu na własności magnetyczne oraz na fakt, że małe gniotu wymagają dla pełnej rekrystalizacji następnego wyżarzania przy stosunkowo wysokiej temperaturze, co nie zawsze jest korzystne i może spowodować znaczne pogorszenie własności. Stwierdzono, że blachy ze stali niskowęglowej najlepiej jest poddawać mniej więcej 10-procentowemu stopniowi zgniotu i następnemu wyżarzeniu przy temperaturze około 800°C. W ten sposób uzyskuje się — oprócz gładkiej powierzchni — również znaczny rozrost ziarna i wyraźną poprawę własności magnetycznych.

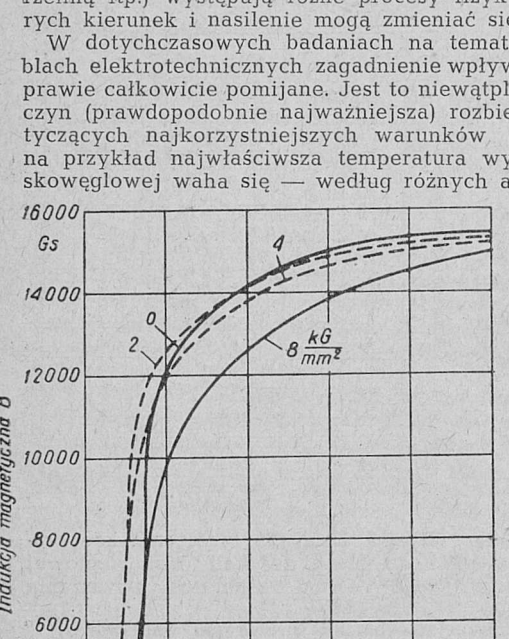
Celem obróbki cieplnej stali niskowęglowej, jak i innych materiałów magnetycznie miękkich, jest usunięcie ujemnego wpływu uprzedniej przeróbki plastycznej, uzyskanie dużego i równomiernego ziarna, doprowadzenie wydzieleń do postaci możliwie skoagulowanej i tym samym zbliżenie się do stanu równowagi przy temperaturze pokojowej. Niezależnie od tych procesów występują również inne związane z tym, że metal wyżarzany ulega działaniu otaczającej go atmosfery. Zależnie od zawartości pewnych domieszek w metalu, od rodzaju atmosfery oraz od stanu powierzchni (np. trawiona, pokryta zgorzeliną itp.) występują różne procesy fizyko-chemiczne, których kierunek i nasilenie mogą zmieniać się.

W dotychczasowych badaniach na temat obróbki cieplnej blach elektrotechnicznych zagadnienie wpływu zgorzeliny było prawie całkowicie pomijane. Jest to niewątpliwie jedna z przyczyn (prawdopodobnie najważniejsza) rozbieżności opinii, dotyczących najkorzystniejszych warunków obróbki cieplnej; na przykład najwłaściwsza temperatura wyżarzania stali niskowęglowej waha się — według różnych autorów — od 800 do 1100°C. Szczegółowe badania wpływu obróbki cieplnej na własności magnetyczne blach ze stali niskowęglowej wykazały, że decydującą rolę odgrywają reakcje powierzchniowe, zależne głównie od atmosfery otaczającej metal w czasie wyżarzania. Stwierdzono zupełnie odmienne zachowanie się blach trawionych, pokrytych zgorzeliną walcowniczą, i blach po walcowaniu dodatkowo pokrytych zgorzeliną przez normalizowanie. Wybitna poprawa własności magnetycznych blach dodatkowo pokrytych zgorzeliną, a potem wyżarzanych przy 760 — 800°C, następuje na skutek znacznego odwęglenia (do około 0,01%C) i rozrostu ziarna. Tą drogą można uzyskać przy użyciu zwykłej stali handlowej natężenie koercyjne około 0,4 ersteda i przenikalność maksymalną powyżej 7000 Gs/Oe (rys. 4). Przy wyższych temperaturach wyżarzania (1100 — 1250°C) wpływ stanu powierzchni zaznacza się jeszcze wyraźniej. W tym przypadku blachy pokryte dodatkowo zgorzeliną oraz blachy surowe (tj. po walcowaniu) wykazują znaczny wzrost natężenia koercyjnego związany z dyfuzją tlenu do materiału, natomiast natężenie koercyjne blach trawionych maleje ze wzrostem temperatury wyżarzania (rys. 5).

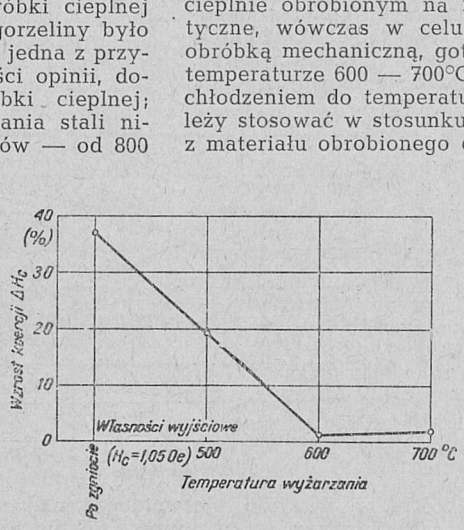
Zachowanie się żelaza (jak i innych materiałów ferromagnetycznych) pod działaniem naprężeń w granicach odkształceń sprężystych, jest ściśle związane ze zjawiskiem magnetostrykcji. Jak widać z rys. 6, małe naprężenia powodują wzrost indukcji poniżej kolana krzywej magnesowania i obniżenie indukcji przy silnych polach. Przy większych naprężeniach rozciągających wzrost indukcji występuje jedynie w pobliżu początku krzywej magnesowania.

Naprężenia spowodowane odkształceniami plastycznymi przy zgniocie (przez walcowanie, gięcie, wytłaczanie itp.) powodują wzrost natężenia koercyjnego i strat z histerezy oraz spadek przenikalności. Na temat obróbki cieplnej, mającej na celu usunięcie ujemnego wpływu zgniotu, zdania są podzielone. Jedni sądzą, że już przy temperaturze wypoczynku następuje przywrócenie wyjściowych własności magnetycznych. Inni są zdania, że dopiero w warunkach rekrystalizacji materiał może odzyskać własności, które wykazywał przed zgniotem. Różnice w tych poglądach można tłumaczyć trudnością uchwycenia granicy temperatur między wypoczynkiem a rekrystalizacją.

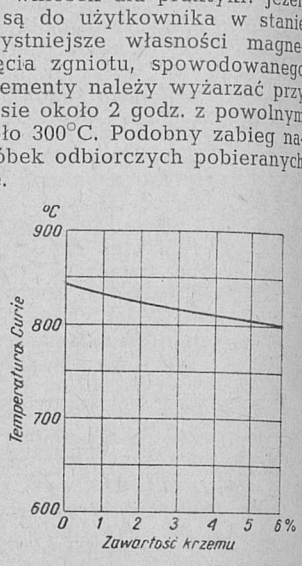
Jak wynika z przeprowadzonych badań, wyżarzanie przy temperaturze 600 — 700°C odkształconej na zimno stali niskowęglowej przywraca w znacznym stopniu własności wyjściowe (rys. 7). Wynika stąd ważny wniosek dla praktyki: jeżeli mianowicie blachy dostarczane są do użytkownika w stanie cieplnie obrobionym na najkorzystniejsze własności magnetyczne, wówczas w celu usunięcia zgniotu, spowodowanego obróbką mechaniczną, gotowe elementy należy wyżarzać przy temperaturze 600 — 700°C w czasie około 2 godz. z powolnym chłodzeniem do temperatury około 300°C. Podobny zabieg należy stosować w stosunku do próbek odbiorczych pobieranych z materiału obrobionego cieplnie.



Rys. 6. Krzywe magnesowania żelaza poddanego różnym obciążeniom



Rys. 7. Wpływ temperatury wyżarzania stali niskowęglowej na usunięcie wzrostu natężenia koercyjnego spowodowanego zginaniem; czas wyżarzania 2 godz.



Rys. 8. Zależność temperatury Curie stopów żelaza z krzemem od zawartości krzemu

3. Blachy ze stali krzemowej walcowane na gorąco.

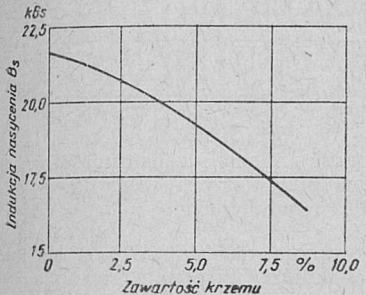
Większość elektrotechnicznych stali krzemowych wytwarza się obecnie w zasadowych piecach martenowskich lub elektrycznych względnie procesem „duplex", w którym płynny metal pochodzący z pieca martenowskiego lub konwertora wykańcza się w zasadowym łukowym piecu elektrycznym. Wielkość używanych pieców elektrycznych wynosi zazwyczaj 6 do 25 t.

Pogląd niektórych specjalistów, że stal wyższej jakości można wytopić jedynie w małych piecach, jest nieuzasadniony, albowiem wiele hut produkujących stal transformatorową w piecach 20- i 25-tonowych uzyskuje materiał wysokiej jakości. Wsad powinien stanowić dobry ciężki złom kawałkowy bez dodatku surówki. Podczas świeżenia, które powinno być na początku intensywne, konieczne jest kilkakrotne ściąganie żużla w celu dostatecznego zmniejszenia zawartości siarki i fosforu. Ruda powinna być wysokoprocentowa i nie zawierać zanieczyszczeń, zwłaszcza siarki. Dążenie do osiągnięcia jak najmniejszej zawartości węgla na drodze stalowniczej nie wydaje się celowe, ponieważ może prowadzić do przetlenienia kąpieli, a węgiel wypala się w znacznym stopniu podczas dalszej przeróbki plastycznej i obróbki cieplnej blach. W celu uzyskania dostatecznie jednorodnego składu chemicznego stosuje się przelewanie stali z kadzi z powrotem do pieca lub z kadzi do kadzi. Wysokogatunkową stal transformatorową wytapianą w piecu martenowskim można uzyskać stosując dwukrotne przelewanie w kadziach: stal niskowęglową (typu „armco") przelewa się przez wylew, zatrzymując żużel, z jednej kadzi do drugiej na znajdujący się tam żelazokrzem; następnie przelewa się stal nakrzemioną górą (w celu dobrego wymieszania) do trzeciej kadzi, z której odlewa się stal do wlewnic. Wspólną cechą wszystkich tych procesów, jak również procesu „duplex", jest intensywne mieszanie stali i dokładne usuwanie żużla świeżącego oraz dobre warunki odtleniania.

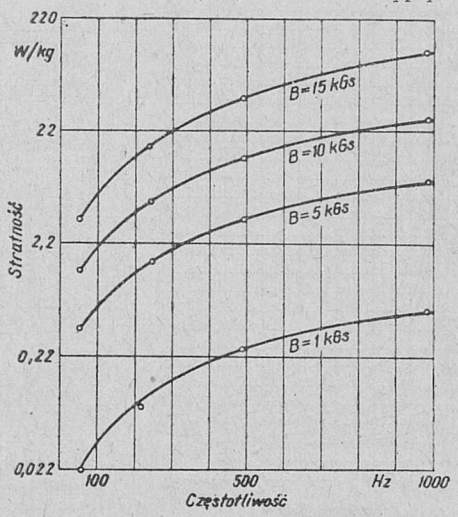
W produkcji stali transformatorowej dużą rolę odgrywa jakość żelazokrzemu. Rzeczą szczególnie ważną jest jak najmniejsza zawartość wtrąceń niemetalicznych. Bardzo skutecznym środkiem, prowadzącym do znacznego zmniejszenia ilości wtrąceń niemetalicznych — zwłaszcza tlenków i siarczków — w stali, okazało się częściowe zastąpienie żelazokrzemu krzemowaniem. Badania wykazały, że własności magne-

tyczne blach transformatorowych walcowanych na gorąco zależą przede wszystkim od czystości chemicznej materiału, ta zaś głównie od sposobu prowadzenia wytopu, a zwłaszcza jego wykończania.

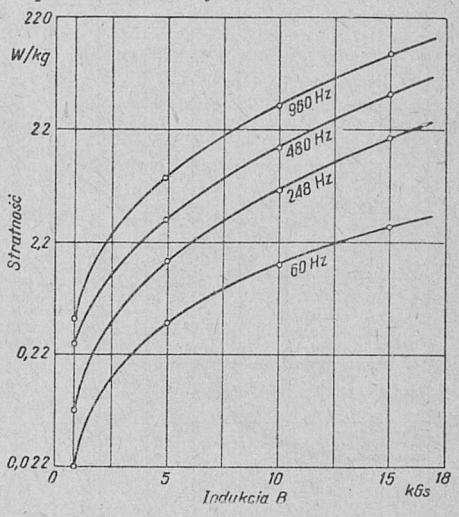
Wielkości wlewków stosuje się różne — od 500 kg do 10 t; przeważają wlewki od 500 kg do 1000 kg. Odlewa się najczęściej zespołami z dołu do wlewnic z nadstawkami lub zbieżnych ku górze bez nadstawek. Istniejące poglądy na temat celowości przetrzymywania stali w kadzi dla ułatwienia wypływania zanieczyszczeń do żużla są, jak się zdaje, nieuzasadnione. Jak wiadomo z teorii ferromagnetyzmu najbardziej szkodliwie na własności magnetyczne działają wtrącenia o średnicy rzędu grubości ściany między domenami, a więc wielkości podmikroskopowej, tworzące układy zbliżone do koloidowych. Wtrącenia takie nawet przy długotrwałym przetrzymywaniu stali w kadzi nie mają praktycznie żadnych możliwości wypłynięcia i przedostania się do żużla.



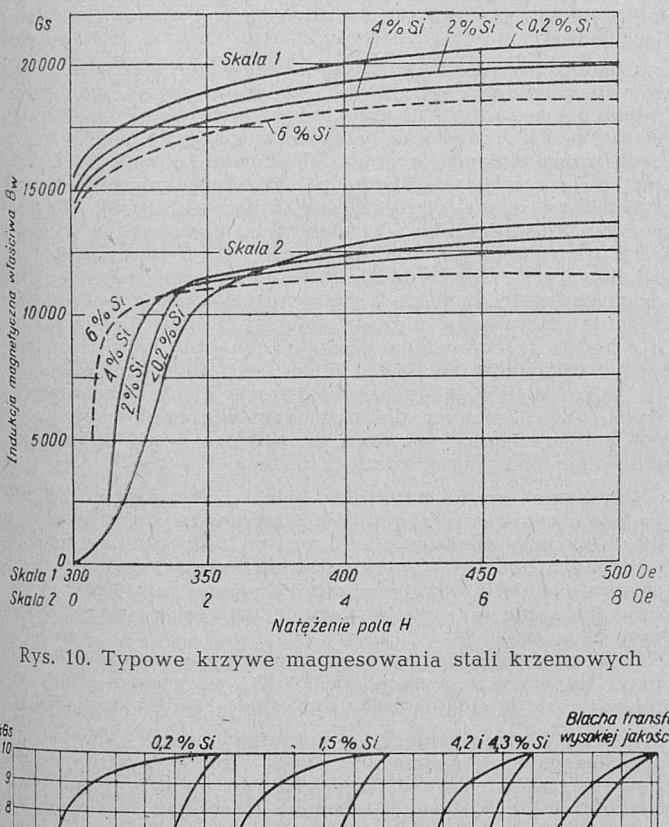
Rys. 9. Zależność indukcji nasycenia stopów żelaza z krzemem od zawartości krzemu



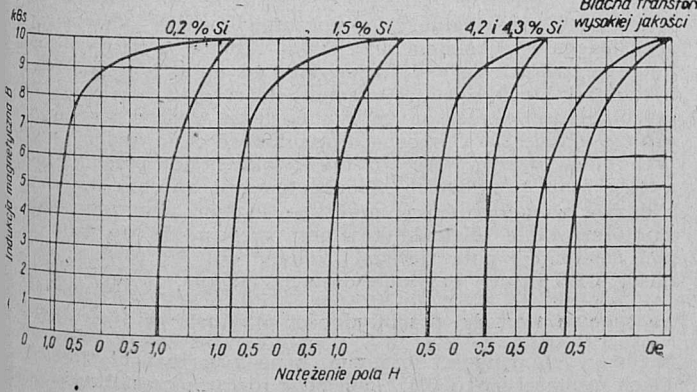
Rys. 12. Zależność stratności blach transformatorowych grubości 0,35 mm od częstotliwości przy różnych indukcjach



Rys. 13. Zależność stratności blach transformatorowych grubości 0,35 mm od indukcji przy różnych częstotliwościach



Rys. 10. Typowe krzywe magnesowania stali krzemowych



Rys. 11. Obiegi histerezy stali krzemowych

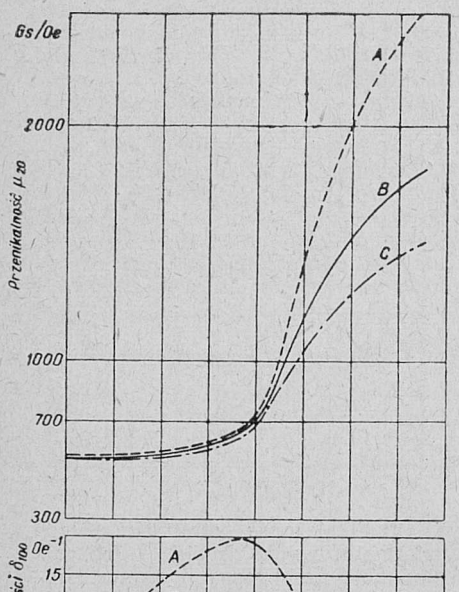
Wlewki nagrzane do temperatury 1200 — 1300°C walcuje się na taśmy grubości 10 — 25 mm i szerokości 180 — 250 mm. Taśmy pocięte na blachówki odpowiedniej długości nagrzane do ~ 1100°C walcuje się najpierw na placki, a następnie w pakietach na blachy, stosując 2 — 3-krotne nagrzewanie w piecach komorowych o temperaturze około 1000°C. Temperatura przy końcu walcowania powinna wynosić około 800°C. Podczas nagrzewania blachówek, placków i pakietów następuje pożądane ze względu na własności magnetyczne wypalanie węgla, którego zawartość zmniejsza się średnio od 0,07% do 0,025%. Jednocześnie jednak mogą występować również i reakcje szkodliwe (utlenianie, nasiarczanie, wypalanie się krzemu itd.). Prawdopodobnie przy danej atmosferze pieca i określonej temperaturze istnieje najkorzystniejszy czas wygrzewania, przy którym zachodzi odpowiednie odwęglenie, natomiast przy dłuższym przetrzymywaniu przeważa dyfuzja tlenu, wypalanie się krzemu itd. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że stratność zewnętrznych arkuszy w pakietach jest blisko o 6% większa od stratności arkuszy pozostałych. Tak więc drogą selekcji przy rozłączaniu blach, można uzyskać dla pewnych celów materiał wyższej jakości.

Blachy gorąco walcowane mają — zależnie od stanu powierzchni walców, warunków trawienia itd. — współczynnik zapełnienia równy 0,86 — 0,92. Znaczną poprawę powierzchni (współczynnik zapełnienia około 0,95) można osiągnąć stosując wykańczające walcowanie blach na zimno ze zgniotem 3 — 5%.

Obróbce cieplnej poddaje się blachy surowe (tj. po walcowaniu) lub trawione. Oba sposoby mają swoje zalety i wady. Wyżarzanie blach trawionych zabezpiecza je lepiej przed rdzewieniem oraz usuwa ewentualną kruchość związaną z dyfuzją wodoru w czasie trawienia; wyżarzanie blach surowych (tj. po walcowaniu) powoduje zmniejszenie zawartości węgla w związku z odwęglającym działaniem zgorzeliny. Obróbkę cieplną blach transformatorowych przeprowadza się w skrzyniach zamkniętych przy temperaturze około 800°C najlepiej w piecach elektrycznych. Cały cykl (nagrzewanie, wygrzanie i chłodzenie) trwa 60 — 100 godzin. Ostatnio coraz większe znaczenie zdobywa wyżarzanie blach transformatorowych przy temperaturze 1100 — 1250°C w wodorze. Obróbka taka powoduje zmniejszenie zawartości węgla, siarki, tlenu i innych domieszek, rozrost ziarna i znaczną poprawę własności magnetycznych. Jest rzeczą ważną, że pomimo znacznego rozrostu ziarna blachy wyżarzone w atmosferze wodoru wykazują stosunkowo dobre własności plastyczne.

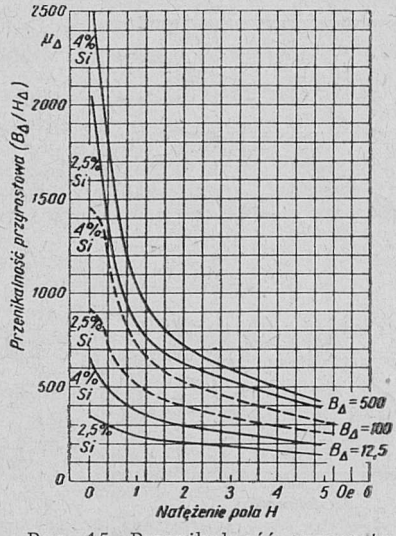
Elektrotechniczne blachy krzemowe oceniane są zwykle na podstawie strat ogólnych przy pewnych określonych warunkach magnetyzacji; jednak nie jest to jedyna własność interesująca użytkowników, jakkolwiek jest jedną z najbardziej

ważnych. Niestety, przy obecnym stanie wiedzy nie ma pojedynczego parametru, który mógłby służyć jako wskaźnik zachowania się materiału w różnych warunkach. Na rys. 8 i 9 przedstawiono wpływ krzemu na dwie podstawowe własności — temperaturę Curie i indukcję nasycenia. Jak widać, w zakresie zawartości krzemu stosowanych w stopach technicznych wpływ ten nie jest duży. Na rys. 10 przedstawiono typowe krzywe magnesowania materiałów krzemowych, a na rys. 11 — obiegi histerezy. Następne krzywe (rys. 12 i 13) ilustrują stratność materiału przy różnych warunkach magnetyzacji.



A — blachy anizotropowe grubości 0,35 mm
B — blachy izotropowe grubości 0,35 mm
C — blachy izotropowe grubości 0,10 mm

Rys. 14. Zależność przenikalności μ_{20} i przyrostu przenikalności δ_{100} blach krzemowych od temperatury wyżarzania w atmosferze wodoru



Rys. 15. Przenikalność przyrostowa (B_Δ/H_Δ) blach krzemowych grubości 0,35 mm o różnej zawartości krzemu

Energetycy zwykle uważają, że straty ogólne składają się z dwóch składowych: strat z histerezy i strat z prądów wirowych. Pierwsze zależą od szczytowej wartości indukcji i nie zależą od częstotliwości oraz od indukcji (jeżeli indukcja jest równomierna w całym przekroju); drugie zależą od skutecznej wartości indukcji, od częstotliwości oraz od grubości. Jednak obie te składowe nie dają pełnego obrazu strat przy magnesowaniu stopów żelazo-krzemowych. Na przykład istnieje znaczna różnica między obserwowanymi i obliczonymi stratami z prądów wirowych, wymagająca dotąd wyjaśnienia. Wynika stąd, że równania, określające pole elektromagnetyczne wewnątrz materiału ferromagnetycznego, nie są dokładne, względnie, że istnieje pewne inne źródło strat energii prawie nieodróżnialne od strat z prądów wirowych, jeśli chodzi o ich zależność od częstości i od indukcji. Również straty z histerezy, obliczane na podstawie powierzchni obiegu histerezy, nie są identyczne ze stratami rzeczywiście występującymi przy danej częstotliwości.



Rys. 16. Stratność blach transformatorowych grubości 0,32 mm przy różnych częstotliwościach i indukcjach

Charakterystyki magnetyczne omawiane wyżej interesują głównie energetyków. Teletechników interesuje inny zakres indukcji i częstości. Na przykład do budowy rdzeni, transformatorów, dławików oraz przekaźników pracujących w obwodach przenoszących sygnały telekomunikacyjne wymagana jest duża i ściśle określona przenikalność początkowa przy stosunkowo małej jej zależności od natężenia pola. W tabl. I podano własności blach krzemowych, stosowanych w obwodach transmisyjnych, według normy DIN E-41301, 1943. Przenikalność przy 20 mOe blach krzemowych walcowanych na gorąco o stratności około 1,3 W/kg wynosi średnio 300—500 Gs/Oe. Jedynie nieznaczny procent blach (około 5%) wykazuje $\mu_{20} > 700$, tj. odpowiada klasie A3. Znaczny wzrost tej ilości można osiągnąć przy użyciu blach o stratności mniejszej, np. 1,1 W/kg. W tym przypadku segregacja blach transformatorowych, przeznaczonych dla przemysłu silnoprądowego, za pomocą odpowiednich urządzeń do pomiaru przenikalności metodą nieniszczącą jest słuszna i celowa.

Uzyskanie innych gatunków blach o dużej przenikalności wymaga stosowania specjalnych zabiegów (wytapianie w próżni, rafinacja w atmosferze wodoru itp.). Jak wynika z przeprowadzonych badań wyżarzanie blach i taśm krzemowych w atmosferze wodoru przy temperaturze niższej niż 1000°C w czasie 4 godz. nie wywiera wyraźnego wpływu na przenikalność przy 20 mOe.

Działanie rafinujące wodoru zaznacza się wyraźnie dopiero przy temperaturze wyższej niż 1000°C, przy czym wynik obróbki zależy od stopnia anizotropii i od grubości blach (rys. 14).

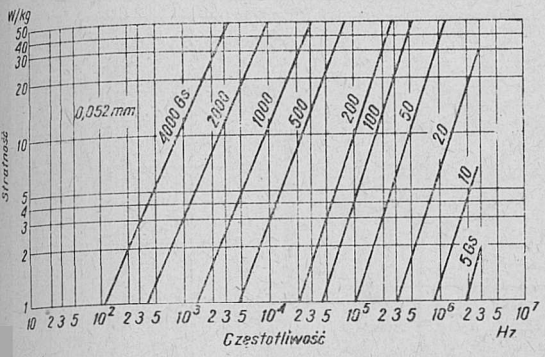
Przyrosty przenikalności — początkowo małe — zwiększają się i osiągają maksimum przy 800 — 1100°C, a następnie maleją. W związku ze stwierdzonymi małymi przyrostami przenikalności blach o małej przenikalności oraz blach o dużej przenikalności, wyżarzonych w atmosferze wodoru przy temperaturze około 1200°C, można drogą doboru odpowiednich ilości tych blach otrzymywać rdzenie o określonej przenikalności i małych jej przyrostach. Sposób ten jest obecnie stosowany z dużym powodzeniem w praktyce. Przedmiotem specjalnego zainteresowania teletechników jest zachowanie się materiału pod działaniem pola stałego i zmiennego, jak również własności przy dużych częstotliwościach. Na rys. 15 przedstawiono typowe wartości przenikalności przyrostowej $\left(\frac{B_\Delta}{H_\Delta}\right)$ blach krzemowych grubości 0,35 mm, a na rys. 16 i 17 stratności blach grubości 0,32 i 0,052 mm przy różnych częstotliwościach i indukcjach.

Tablica I. Własności blach krzemowych stosowanych w obwodach transmisyjnych

Klasa	Grubość (mm)	Przenikalność μ_{20} (Gs/Oe)	Dopuszczalny przyrost przenikalności*)	
			δ_5	δ_{100}
A1	0,35 0,15	850 ± 150	20	5
	0,05	800 ± 150		
A2	0,35	900 ± 200	—	10
A3	0,35	min. 700	—	—
C2	0,35 0,15	min. 1200	30	15
C3	0,35 0,15	min. 1500	—	—

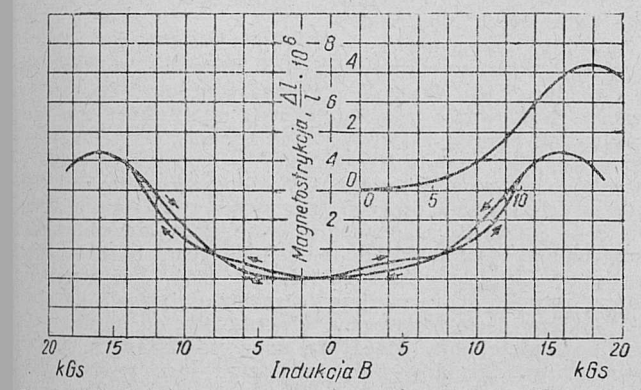
*) $\delta_5 = 66{,}7\,\frac{\mu_{20}-\mu_5}{\mu_{20}}\cdot\frac{1}{\text{Oe}}$ $\qquad \delta_{100} = 12{,}5\,\frac{\mu_{100}-\mu_{20}}{\mu_{20}}\cdot\frac{1}{\text{Oe}}$

Magnetostrykcja, zjawisko zmiany wymiarów ferromagnetyków towarzyszące magnetyzacji, ma w przypadku materiałów krzemowych działanie wyłącznie szkodliwe, ponieważ jest jednym z czynników powodujących brzęczenie transformatorów. Zależność magnetostrykcji od kierunku walcowania występuje nawet w przypadku blach walcowanych na gorąco (pod kątem 45° od kierunku walcowania efekt jest około połowę mniejszy niż w kierunku walcowania). Typowe krzywe magnetostrykcji stali transformatorowej przedstawiono na rys. 18.



Rys. 17. Stratność blach transformatorowych grubości 0,052 mm przy różnych częstotliwościach i indukcjach

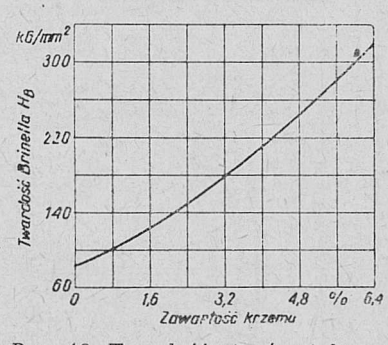
Blachy krzemowe są zwykle poddawane cięciu względnie wykrawaniu kształtek różnych wymiarów stosowanych w elektrotechnice. Rzeczą ważną jest zatem zdolność materiału poddawania się tym zabiegom. W miarę wzrostu zawartości krzemu wzrasta twardość stopu (rys. 19), przy czym staje się on coraz bardziej kruchy. Z tego głównie względu stopy o zawartości krzemu większej niż 4,5% nie mają zastosowania do wyrobu blach elektrotechnicznych, jakkolwiek stratność ze wzrostem ilości krzemu w dalszym ciągu maleje.



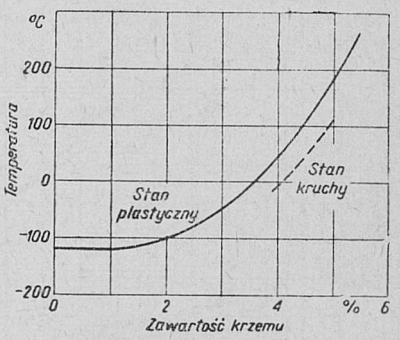
Rys. 18. Krzywe magnetostrykcji stali transformatorowej (4% Si) wzdłuż kierunku walcowania

Na rys. 20 przedstawiono zależność plastyczności stopów żelaza z krzemem, określonej próbą przeginania, od zawartości krzemu i od temperatury według Pillinga. Pewien wpływ na wyniki wywiera szybkość przeginania; przy powolnym przeprowadzaniu próby zakres plastyczności przesuwa się w kierunku niższych temperatur i większych zawartości krzemu (linie przerywane na rys. 20). Próba przeginania jest dotychczas stosowana do oceny stopnia plastyczności, jakkolwiek interpretacja wyników jest bardzo problematyczna. W każdym razie może mieć ona charakter jedynie orientacyjny i przywiązywanie do niej zbyt dużego znaczenia nie jest słuszne. Dane z praktyki wskazują, że blachy wykonujące średnio jedno przegięcie dają się bez trudu obrabiać mechanicznie za pomocą odpowiednio ostrych narzędzi. Na kruchość blach — oprócz zawartości krzemu — może mieć również wpływ obecność zanieczyszczeń, silne utlenienie podczas nagrzewania do przeróbki plastycznej, nasycenie wodorem przy trawieniu itd. Własność stali krzemowych zwiększania plastyczności przy podwyższonych temperaturach wyzyskuje się w produkcji (rozłączanie blach po walcowaniu przy 100 — 300°C, walcowanie wykańczające stali o zawartości 4 — 4,5% Si przy 150 — 250°C, wykrawanie kształtek przy 40 — 60°C).

Wpływ naprężeń w zakresie odkształceń sprężystych stopów żelaza z krzemem wiąże się ściśle jak w przypadku żelaza, ze zjawiskiem magnetostrykcji. Poprawa własności magnetycznych przy zastosowaniu małych naprężeń została wykorzystana np. w jednym z patentów zagranicznych, według którego obciążenie 1,4 kG/mm² w czasie wyżarzania w zakresie temperatury Curie i 825°C z następnym chłodzeniem do około 100°C powoduje zmniejszenie stratności materiału.



Rys. 19. Twardość stopów żelazo-krzem w zależności od zawartości krzemu

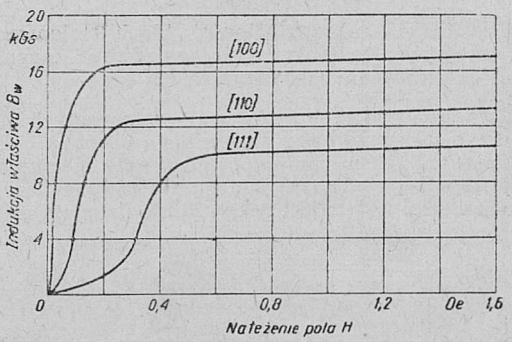


Rys. 20. Zależność plastyczności stopów żelazo-krzem od zawartości krzemu i od temperatury (plastyczność określona próbą przeginania)

Jakkolwiek blachy po walcowaniu są wyżarzane i pozbawiane naprężeń wewnętrznych, następna obróbka mechaniczna (cięcie, wykrawanie, gięcie itp.) może wprowadzać naprężenia powodujące wzrost strat z histerezy i spadek przenikalności. Cięcie i wykrawanie pogarszają własności magnetyczne materiału w odległości 1 — 3 mm od krawędzi, przy czym wielkość ta zależy od grubości blachy i stanu narzędzi. Tak więc wpływ ten zaznacza się szczególnie w małych wykrojach; w dużych wykrojach transformatorowych efekt jest nieznaczny. Wprowadzony zgniot może być zmniejszony do minimum przy zastosowaniu ostrych nożyc i małych tolerancji wymiarowych wykrojników. Stosowanie dodatkowej obróbki cieplnej celem usunięcia naprężeń wprowadzonych cięciem lub wykrawaniem można zalecić, jeżeli zwiększone z tego tytułu koszty są uzasadnione lepszymi własnościami magnetycznymi materiału. Jak w przypadku stali niskowęglowej, wyżarzanie w temperaturze 600 — 700°C w ciągu około 2 godz. należy uważać za wystarczające. Pewne korzyści może przedstawiać również poddawanie obróbce mechanicznej blach surowych (tj. po walcowaniu) i wyżarzanie jednorazowe gotowych kształtek w warunkach zbliżonych do wyżarzania blach.

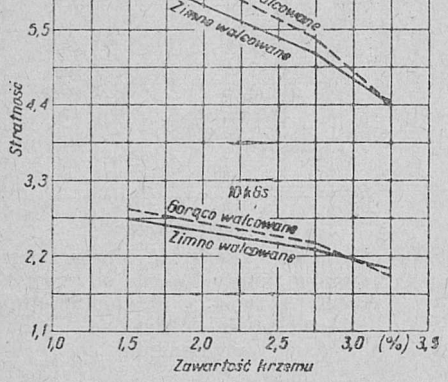
4. Taśmy ze stali krzemowej walcowane na zimno.

Pojedyncze kryształy stopów żelaza z krzemem wykazują podobną kierunkowość własności magnetycznych jak żelazo oraz stal niskowęglowa. Na rys. 21 przedstawiono przebieg krzywych magnesowania kryształu o zawartości 3,85% Si w zasadniczych kierunkach krystalograficznych. Jak widać krzywa magnesowania w kierunku [100] wykazuje kolano nieco poniżej wartości nasycenia magnetycznego. Jest rzeczą jasną, że konstruując transformatory ze stali o podobnej krzywej magnesowania można by stosować większe indukcje, a zatem znacznie zredukować wymiary i ciężar transformatorów danej mocy. Stwierdzono, że stosując odpowiedni sposób

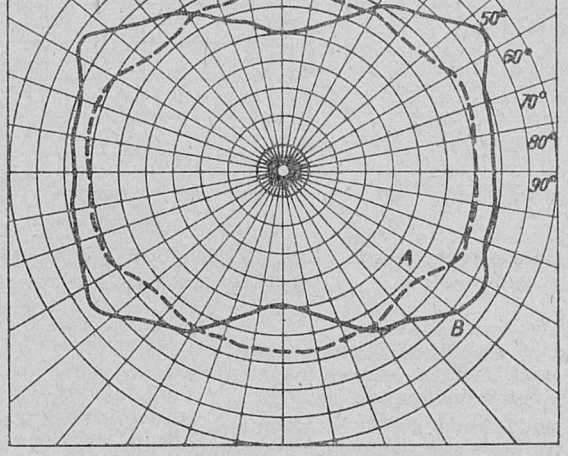


Rys. 21. Przebieg krzywych magnesowania pojedynczego kryształu stopu żelazo-krzem o zawartości 3,85% Si w zasadniczych kierunkach krystalograficznych

walcowania na zimno stali krzemowych o zawartości 2,5 — 3,5% Si można otrzymać krzywe magnesowania o podobnym przebiegu. Materiał taki wykazuje wybitnie kierunkowe własności i polepszenie dotyczy tylko jednego kierunku, co zresztą nie stanowi wady w zastosowaniu do transformatorów w których kierunek strumienia magnetycznego może być zgodny z kierunkiem najłatwiejszego magnesowania, bądź przez



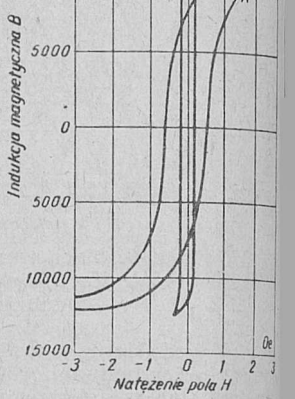
Rys. 22. Porównanie stratności blach walcowanych na zimno i na gorąco o bardzo małej anizotropii magnetycznej przy różnych zawartościach krzemu



Rys. 25. Zmiany modułu Younga zachodzące przy teksturowaniu taśmy krzemowej
A — po walcowaniu, B — po walcowaniu i wyrażeniu

walcowanym na gorąco pod względem własności magnetycznych. Wyższość blach zimno walcowanych polega na uzyskaniu mniejszych różnic własności magnetycznych poszczególnych arkuszy, równomierniejszej grubości, lepszego stanu powierzchni i łatwiejszej obrabialności mechanicznej.

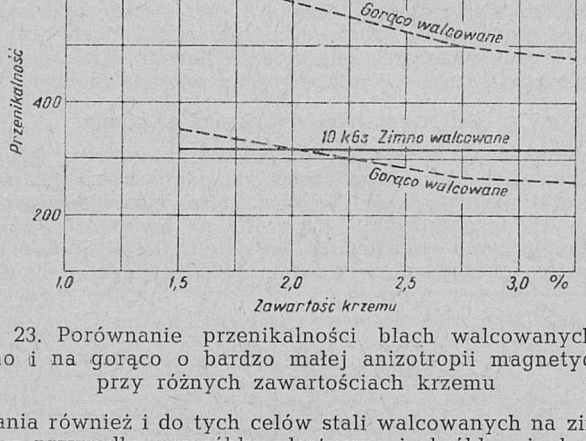
W ciągu ostatnich dwudziestu lat wykonano w dziedzinie wytwarzania taśm krzemowych anizotropowych znaczną ilość



Rys. 26. Obiegi histerezy blachy walcowanej na gorąco o zawartości 4,25% S (krzywa A) i taśmy walcowanej na zimno o zawartości 3,25% Si w kierunku walcowania (krzywa B)

odpowiednie wycinanie pasów, bądź przez stosowanie rdzeni zwijanych.

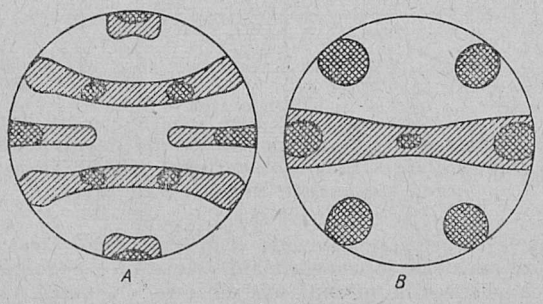
Inaczej przedstawia się sprawa, gdy chodzi o maszyny elektryczne, w których strumień magnetyczny przebiega w różnych kierunkach; w tym przypadku materiałów anizotropowych nie stosuje się. Ostatnio przejawia się dążność do sto-



Rys. 23. Porównanie przenikalności blach walcowanych na zimno i na gorąco o bardzo małej anizotropii magnetycznej przy różnych zawartościach krzemu

sowania również i do tych celów stali walcowanych na zimno; w tym przypadku przeróbka plastyczna i obróbka cieplna powinny zapewnić jak najmniejszą anizotropię magnetyczną.

Jak wynika z rys. 22 i 23, blachy walcowane na zimno ze stali o zawartości 1,25, 2,75 i 3,25% Si nie ustępują materiałom



Rys. 24. Figury biegunowe taśm krzemowych anizotropowych
A — po walcowaniu B — po walcowaniu i wyżarzeniu

prac badawczych, ogłoszono wiele patentów i poszczególne zakłady przemysłowe opracowały własne metody często niewiele się od siebie różniące. Od czasu pierwszej pracy Gossa próbowano walcowanie przy stopniowo obniżającej się temperaturze, dwukrotne walcowanie na zimno z 60 — 70-procentowym stopniem zgniotu i wyżarzanie w wodorze przy 1200°C, odwęglanie wstępne materiału za pomocą zgorzeliny itd. Charakterystyczną cechą procesu jest stosowanie stali o zawartości 3 — 3,25% Si, walcowanie na zimno w dwóch etapach z międzyoperacyjnym wyżarzaniem i końcowa obróbka cieplna przy wysokiej temperaturze (1100 — 1250°C) w atmosferze wodoru, powodująca zmniejszenie zawartości węgla do około 0,005%. Oczywiście, ostateczny efekt zależy od bardzo wielu czynników mniej lub więcej ze sobą powiązanych, jak od sposobu prowadzenia wytopu (zwłaszcza jego wykańczania), od przeróbki plastycznej na gorąco i na zimno, od wyżarzań międzyoperacyjnych oraz od obróbki końcowej.

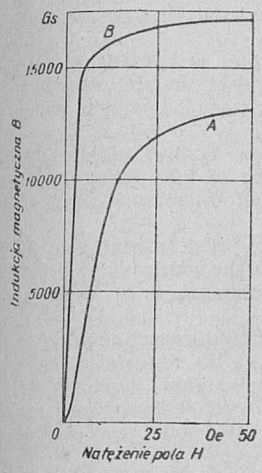
Istnieją poglądy, że niewielkie ilości niektórych dodatków metalicznych (Mn, V) mogą ułatwić otrzymanie pożądanej tekstury. W wyniku walcowania na zimno taśm krzemowych powstaje tekstura bliska (001) [110], która po obróbce cieplnej przy wysokiej temperaturze przechodzi w teksturę (011) [100] albo przez obrót o 90° dokoła osi [110] albo przez poślizg wzdłuż osi [111]. Mechanizm przemiany nie jest dotąd bliżej wyjaśniony.

Na rys. 24 przedstawiono typowe figury biegunowe zimno walcowanej stali krzemowej anizotropowej przed i po wyżarzaniu.

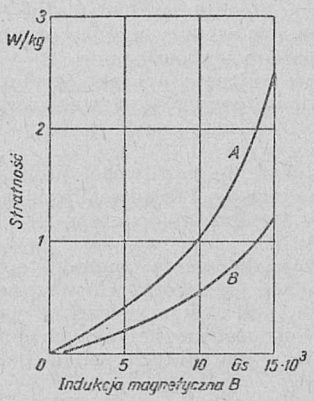
Tablica II. Zależność stratności taśm anizotropowych od kierunku walcowania przy różnej indukcji magnetycznej (W/kg przy 50 Hz)

Indukcja magnetyczna (kGs)	Rodzaj strat	Kąt między strumieniem i kierunkiem walcowania		
		0°	55°	90°
8	histereza	0,191	0,550	0,677
	prądy wirowe	0,163	0,264	0,279
10	histereza	0,290	0,806	0,900
	prądy wirowe	0,242	0,407	0,422
13	histereza	0,481	1,590	1,510
	prądy wirowe	0,411	0,671	0,626

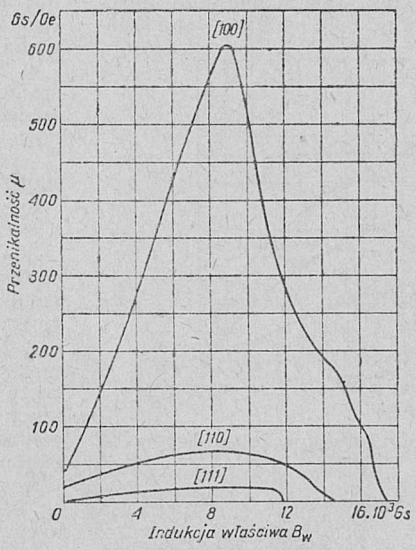
rzeniu, a na rys. 25 zmiany modułu Younga, zachodzące przy teksturowaniu. Rys. 26, 27 i 28 ilustrują porównawczo własności blachy gorąco-walcowanej o zawartości 4,25% Si i blachy zimno-walcowanej anizotropowej o zawartości 3,25% Si. Kierunkowość własności materiału anizotropowego przedstawiono na rys. 29 i 30. Zależność strat z prądów wirowych od kierunku walcowania (przy izotropowym charakterze oporności



Rys. 27. Krzywe magnesowania blachy walcowanej na gorąco o zawartości 4,25% Si (krzywa *A*) i taśmy walcowanej na zimno o zawartości 3,25% Si w kierunku walcowania (krzywa *B*)

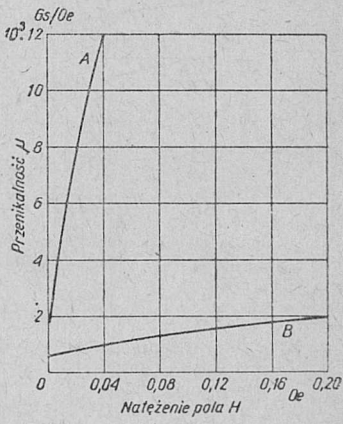


Rys. 28. Stratność blachy walcowanej na gorąco o zawartości 4,25% Si (krzywa *A*) i taśmy walcowanej na zimno o zawartości 3,25% Si w kierunku walcowania (krzywa *B*)



Rys. 31. Przenikalność w zasadniczych kierunkach krystalograficznych kryształu stopu żelazo-krzem o zawartości 3,85% Si w zależności od indukcji

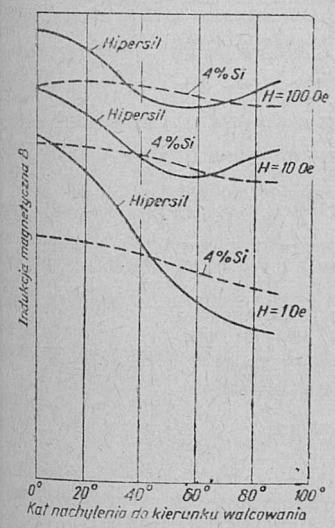
tyle z teksturą, ile ze znacznym obniżeniem zawartości domieszek w wyniku obróbki cieplnej w wodorze przy wysokich temperaturach. Jest rzeczą bardzo ważną, że zmiany przenikalności w poszczególnych kierunkach krystalograficznych zależą w dużym stopniu od natężenia pola. Stosunek przenikalności wzdłuż kierunków [100], [110] i [111] zmienia się od $\sim 6:3:2$ przy μ_p do $\sim 62:6{,}5:2$ przy μ_{max}. W związku z tym w materiałach teksturowych można uzyskać szczególnie dużą przenikalność maksymalną (40 000 Gs/Oe i więcej).



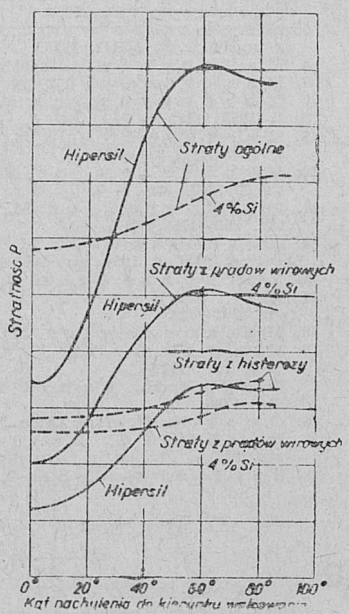
Rys. 32. Zależność przenikalności stali krzemowej od natężenia pola
A — taśma anizotropowa (w kierunku [100])
B — blacha walcowana na gorąco

właściwej) jest związana ze zmianami stosunku między magnetyzacją i indukcją w różnych kierunkach taśmy. W tabl. II podano przykładowo wielkości poszczególnych strat przy różnych indukcjach w zależności od kierunku walcowania.

Przenikalność początkowa oraz maksymalna również zależy od kierunków krystalograficznych (rys. 31). Na przy-



Rys. 29. Anizotropia magnetyczna taśmy krzemowej teksturowanej w porównaniu z własnościami blachy walcowanej na gorąco: zależność indukcji od kąta nachylenia do kierunku walcowania przy różnych natężeniach pola

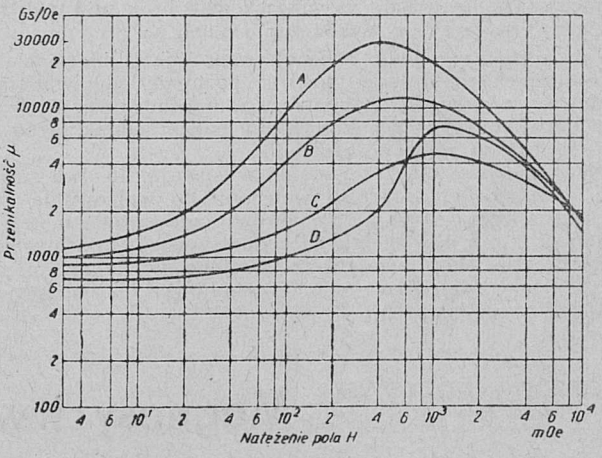


Rys. 30. Anizotropia magnetyczna taśmy krzemowej teksturowanej w porównaniu z własnościami blachy walcowanej na gorąco: zależność stratności od kąta nachylenia do kierunku walcowania

kład w pojedynczych kryształach stopu żelaza z krzemem o zawartości 3,85% Si stosunek przenikalności początkowej w kierunkach [100], [110] i [111] wyraża się liczbami 6 : 3 : 2.

Stosunkowo duża przenikalność początkowa taśm krzemowych anizotropowych (około 1200 Gs/Oe) związana jest nie

Zmiany przenikalności taśm krzemowych anizotropowych przebiegają zupełnie inaczej niż blach walcowanych na gorąco. Zależności te przedstawiono w sposób przybliżony na rys. 32. Jest to bardzo istotne dla uzyskania materiałów o dużej przenikalności w zakresie stałych pól, a zwłaszcza materiałów o małych przyrostach przenikalności. Wynika stąd jasno, że małe przyrosty przenikalności materiałów teksturowanych magnesowanych wzdłuż kierunku uprzywilejowanego mogą być osiągnięte jedynie przez zastosowanie środków specjalnych, jak np. szczelin prostopadłych do kierunku strumienia magnetycznego. Pełne wyzyskanie własności taśm anizotropowych

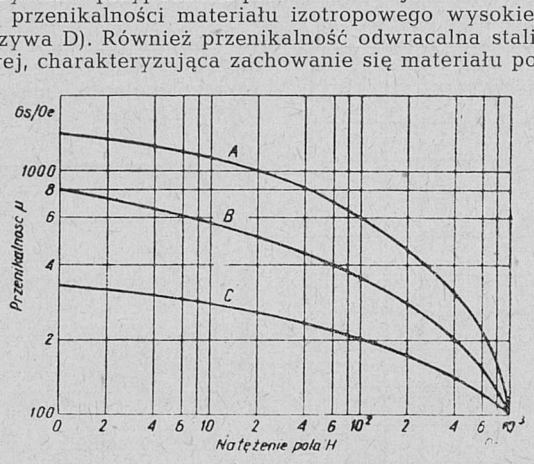


Rys. 33. Wpływ szczeliny na przenikalność stopów żelazo-krzem
A — rdzeń zwijany anizotropowy bez szczeliny
B — rdzeń zwijany anizotropowy ze szczeliną 3 μ
C — rdzeń zwijany anizotropowy ze szczeliną 25 μ
D — rdzeń z materiału izotropowego

wymaga, jak wspomniano wyżej, aby strumień magnetyczny był zgodny z kierunkiem walcowania. Tak więc wycinanie z taśm wykrojów w kształcie liter M, T, U względnie E jest niewłaściwe.

Obecnie materiały anizotropowe stosowane są coraz częściej w postaci pierścieni zwijanych (jeśli chodzi o małe straty i dużą przenikalność) oraz w postaci pierścieni zwijanych i przecinanych (jeśli chodzi o większą stałość przenikalności w za-

kresie słabych pól). Regulując wielkość szczeliny można uzyskać w tym ostatnim przypadku bardziej liniowy przebieg przenikalności. Na rys. 33 przedstawiono charakterystyki rdzeni z materiału anizotropowego bez szczeliny (krzywa A) oraz ze szczeliną różnych wymiarów (krzywa B i C). Jak widać we wszystkich przypadkach przenikalność jest znacznie większa od przenikalności materiału izotropowego wysokiej jakości (krzywa D). Również przenikalność odwracalna stali anizotropowej, charakteryzująca zachowanie się materiału pod dzia-



Rys. 34. Przenikalność odwracalna stopów żelazo-krzem
A — taśma anizotropowa
B — blacha klasy A1
C — blacha transformatorowa walcowana na gorąco

łaniem silnego pola magnetycznego stałego nałożonego na słabe pole zmienne, jest większa niż w przypadku materiału izotropowego (rys. 34).

Przy wytwarzaniu rdzeni z taśm anizotropowych należy mieć na uwadze ich dużą wrażliwość na naprężenia. Z tego względu rdzenie po nawinięciu winny być obrabiane cieplnie.

5. Uwagi końcowe i wnioski.

Do niedawna jedynymi materiałami produkowanymi w kraju były blachy ze stali niskowęglowej o natężeniu koercyjnym około 1 ersteda oraz stale krzemowe, a pośród nich blachy transformatorowe o stratności przy 10 kGs około 1,3 W/kg i współczynniku zapełnienia około 0,90. Ostatnio opracowano m. inn. technologię wytwarzania blach ze stali niskowęglowej o natężeniu koercyjnym około 0,5 ersteda, blach transformatorowych walcowanych na gorąco o stratności około 1,1 W/kg i współczynniku zapełnienia 0,95, blach krzemowych o dużej przenikalności początkowej. Pełnemu wykorzystaniu nowych opracowań stoi głównie na przeszkodzie brak pewnych urządzeń (np. walcarek do wykończania blach na zimno).

Jakkolwiek w chwili obecnej w produkcji blach elektrotechnicznych znajdujemy się na poziomie odpowiadającym mniej więcej stanowi istniejącemu w Czechosłowacji i w Niemieckiej Republice Demokratycznej, mamy jednak przed sobą jeszcze bardzo wiele do zrobienia.

Na czoło wszystkich zagadnień wysuwają się dwa zasadnicze, a mianowicie: budowa walcowni do walcowania szerokich taśm krzemowych na zimno oraz budowa huty metali specjalnych, która między innymi zaopatrywałaby przemysł elektrotechniczny w gotowe rdzenie zwijane, wycinane itp. Sprawy te winny znaleźć swe odbicie w najbliższych państwowych planach gospodarczych.

Jako niektóre z najważniejszych zagadnień chwili bieżącej można wymienić następujące:

a) dalsze ulepszanie technologii wytwarzania blach walcowanych na gorąco, a w szczególności przedsięwzięcia środków prowadzących do zwiększenia współczynnika zapełnienia;

b) częściowe zastąpienie blach transformatorowych grubości 0,35 mm blachami grubości 0,4 względnie 0,5 mm oraz ewentualne wprowadzenie nowego asortymentu blach grubości około 0,2, 0,10, 0,05 mm do niektórych urządzeń dużej częstotliwości;

c) zainstalowanie aparatury (najlepiej w zakładach wytwarzających blachy) do badania własności magnetycznych poszczególnych arkuszy metodą nieniszczącą celem ich segregacji i lepszego wykorzystania;

d) wprowadzenie — jako kryterium oceny jakości blach transformatorowych — stratności przy 15 kGs (obok 10 kGs);

e) wprowadzenie nowoczesnych metod izolacji blach elektrotechnicznych;

f) zwiększenie możliwości produkcyjnych rdzeni zwijanych i wycinanych w Zakładzie Produkcji Doświadczalnej przy Instytucie Metalurgii (do czasu uruchomienia huty metali specjalnych);

g) przeanalizowanie metod technologicznych, przyjętych w zakładach przetwórczych w stosunku do materiałów magnetycznych, pod kątem widzenia zapewnienia najkorzystniejszych własności magnetycznych gotowych elementów i wprowadzenie ewentualnych zmian (jak np. dodatkowej obróbki cieplnej);

h) prowadzenie w szerokim zakresie prac badawczych w dziedzinie zarówno blach elektrotechnicznych walcowanych na gorąco, jak taśm anizotropowych;

i) nawiązanie bliskiej i stałej współpracy ze Związkiem Radzieckim i krajami demokracji ludowej w zakresie produkcji, prac naukowo-badawczych i pomiarów własności blach elektrotechnicznych, a w szczególności zrealizowanie w najbliższym czasie wyjazdu polskich fachowców do ZSRR w celu konsultacji.

LITERATURA

1. Markuszewicz M., Mierzyjewski A. Materiały magnetyczne. WGH, Stalinogród, 1954.
2. Markuszewicz M. Prace IMH, 6, 1954, str. 1 — 12.
3. Markuszewicz M. Przegl. Elekt., 1—3, 1951, str. 69—73.
4. Markuszewicz M., Groyecki J. Sprawozdanie z podróży do CSR, 1954.
5. Markuszewicz M., Zawada A. Sprawozdanie z podróży do NRD, 1955.
6. Markuszewicz M. Hutnik, 1, 1952, str. 7—15.
7. Markuszewicz M. Hutnik, 12, 1952, str. 423—428.
8. Markuszewicz M., Groyecki J. Prace IMet., 1, 1953, str. 1—34.
9. Markuszewicz M., Kozielski J. Prace GIMet., 3, 1951, str. 279—295.
10. Markuszewicz M., Groyecki J. Biul. IMH, 4, nr 2, 1953, str. 5—7.
11. Markuszewicz M., Zawada A. Prace IMH, 5, 1953, str. 259—276.
12. Markuszewicz M., Groyecki, J., Zawada A. Prace IMH, 6, 1954, str. 105—119.
13. Markuszewicz M. Sprawozdanie IMet., nr 342, 1952.
14. Markuszewicz M. Stal, WGH, Stalinogród, 1955, str. 337—355.
15. Markuszewicz M. Prace IMH, 7, 1955, str. 124—133.
16. Brüggemann T., Gerlach E. Metall. u. Giss., 1, 1951, str. 112.
17. Meyer H., Schlüter H. Stahl u. Eisen, 73, 1953, str. 1706.
18. Goss N. P. Iron Age, 171, 1953, str. 147.
19. Rushton S., Davies D. J. Iron Steel Inst., 167, 1951, str. 247.
20. Szeftel N. J. Stal, 7, 1955, str. 635.

PROF. DR L. KOZŁOWSKI
Instytut Metalurgii

Magnesy trwałe

621.318.2/.26

Treść. Zestawiono najważniejsze typy materiałów na magnesy trwałe oraz podano ich własności magnetyczne i orientacyjny skład chemiczny. Omówiono w skrócie technologię wytwarzania tych materiałów oraz niektóre własności technologiczne. Szczegółowo przeanalizowano problem stateczności magnetycznej i strukturalnej najczęściej stosowanych materiałów na magnesy trwałe. Przeanalizowano niektóre zagadnienia związane z obliczaniem i projektowaniem magnesów. Wskazano ważniejsze dziedziny stosowania magnesów trwałych, uwzględniając przede wszystkim nowe dziedziny zastosowań. Podano ogólne zasady dotyczące magnesowania magnesów trwałych.

1. Wielkości charakteryzujące materiały na magnesy trwałe.

Przy określaniu wielkości charakteryzujących materiały na magnesy trwałe uwzględnia się przede wszystkim przerwę powietrzną w obwodzie magnetycznym magnesu trwałego, w której magnes wytwarza żądane pole magnetyczne, wytwarza energię magnetyczną.

Oprócz zewnętrznego pola w szczelinie o natężeniu H_s bieguny magnesu wytwarzają odmagnesowujące pole wewnętrzne H_m tak, że magnes pracuje przy indukcji niższej od wartości pozostałości magnetycznej materiału magnesu. Gdy uwzględni się ponadto, że magnes — w zależności od warunków pracy — podlega odmagnesowującym działaniom zewnętrznych pól magnetycznych, pewnym zmianom temperatury oraz wstrząsom, wynikną zaraz wymagania dotyczące własności tych materiałów.

Badania własności magnetycznych materiałów na magnesy ogranicza się zazwyczaj do pomiaru indukcji nasycenia B_s, względnie magnetyzacji nasycenia I_s oraz wyznaczenia krzywej

odmagnesowania, odpowiadającej drugiemu kwadrantowi obiegu histerezy, to jest dodatnim wartościom indukcji B i ujemnym wartościom natężenia pola magnesującego próbkę.

Energia magnetyczna wytworzona w przerwie powietrznej o objętości V_s przy natężeniu pola H_s jest równa $\frac{1}{8\pi} \cdot H_s^2 \cdot V_s$.

Ponieważ w obwodzie nie ma pola magnetycznego pochodzącego od prądu, więc siła magnetomotoryczna w zamkniętym obwodzie magnetycznym związanym z magnesem czyni zadość równaniu:

$$H_m \cdot l_m - H_s \cdot l_s = 0, \tag{1}$$

gdzie H_m oznacza natężenie pola wewnątrz magnesu w kierunku osiowym, a l_m i l_s oznacza długości magnesu i przerwy.

Uwzględniając ponadto prawo ciągłości strumienia, co odpowiada założeniu, że nie ma rozproszenia, otrzymuje się dalszy związek

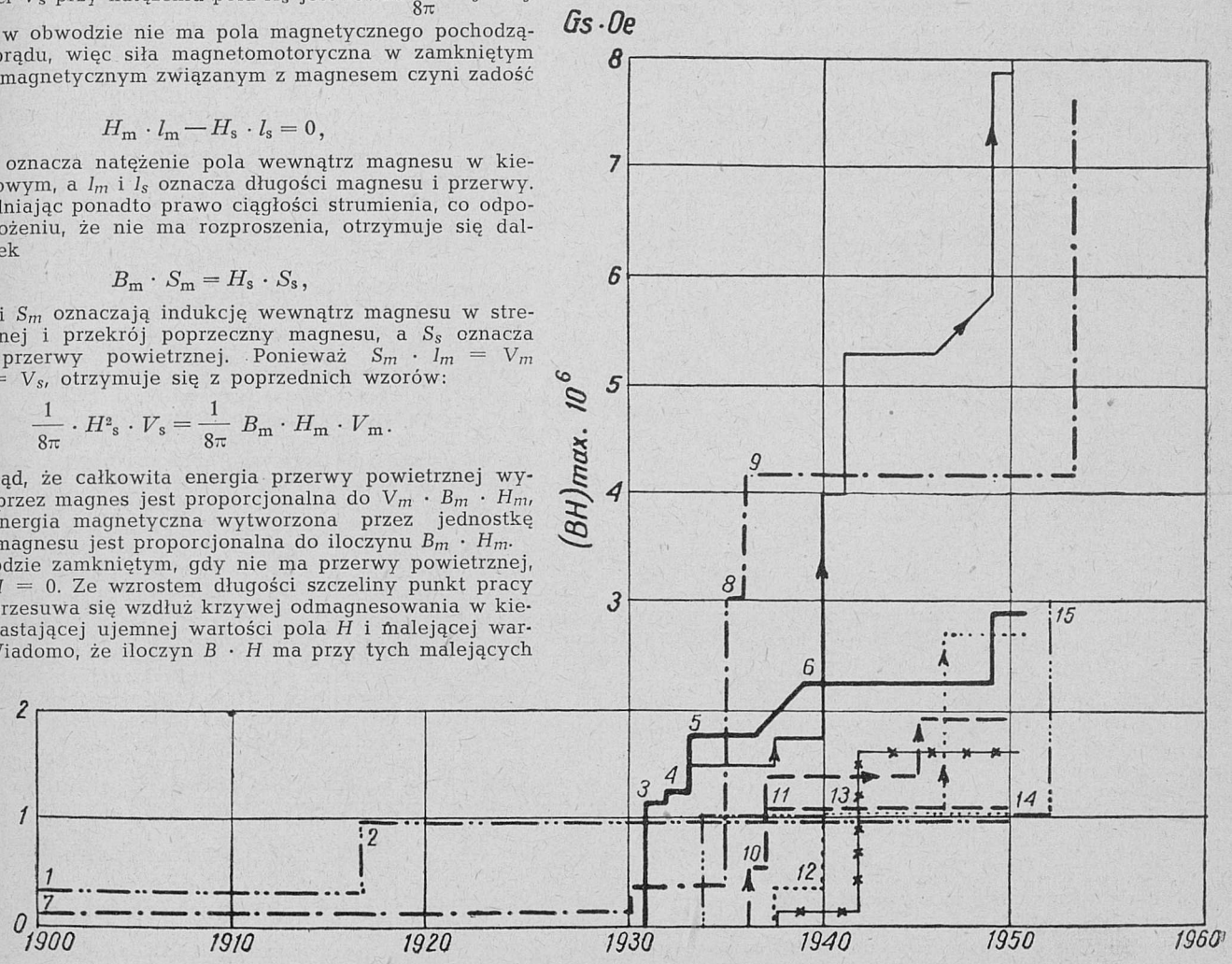
$$B_m \cdot S_m = H_s \cdot S_s, \tag{2}$$

gdzie B_m i S_m oznaczają indukcję wewnątrz magnesu w strefie obojętnej i przekrój poprzeczny magnesu, a S_s oznacza przekrój przerwy powietrznej. Ponieważ $S_m \cdot l_m = V_m$ i $S_s \cdot l_s = V_s$, otrzymuje się z poprzednich wzorów:

$$\frac{1}{8\pi} \cdot H_s^2 \cdot V_s = \frac{1}{8\pi} B_m \cdot H_m \cdot V_m. \tag{3}$$

Wynika stąd, że całkowita energia przerwy powietrznej wytworzona przez magnes jest proporcjonalna do $V_m \cdot B_m \cdot H_m$, czyli że energia magnetyczna wytworzona przez jednostkę objętości magnesu jest proporcjonalna do iloczynu $B_m \cdot H_m$.

W obwodzie zamkniętym, gdy nie ma przerwy powietrznej, $B = B_r$, $H = 0$. Ze wzrostem długości szczeliny punkt pracy magnesu przesuwa się wzdłuż krzywej odmagnesowania w kierunku wzrastającej ujemnej wartości pola H i malejącej wartości B. Wiadomo, że iloczyn $B \cdot H$ ma przy tych malejących wartościach indukcji B pewną wartość największą, oznaczaną powszechnie $(BH)_{max}$. W tym punkcie pracy 1 cm³ magnesu wytwarza największą ilość energii. Postęp techniczny w ciągu ostatniego półwiecza w zakresie produkcji magnesów o dużej wydajności — to opracowanie technologii wytwarzania



Rys. 1. Linia rozwojowa materiałów na magnesy trwałe — wzrost $(BH)_{max}$

- – · · – Stale martenzytowe
- *1* Stal wolframowa
- *2* Stal z 35% Co
- ——α— stopy magnetyczne
- *3* Stopy Fe-Co-Mo
- *4* Stopy Fe-Al-Ni
- *5* Stopy Fe-Ni-Ci-Ti
- *6* Stopy Fe-Al-Ni-Ci-Cu-Ti
- ——→ Stopy Fe-Al-Ni-Co-Cu anizotropowe
- – · – Stopy z nadstrukturą oraz stopy szlachetne
- *7* Stop Heuslera
- *8* Stop Fe-Pt
- *9* Stop Co-Pt
- – – – γ stopy magnetyczne
- *10* Stopy Fe-Ni-Cu
- *11* Stopy Co-Ni-Cu
- – → – Stopy Fe-Ni-Cu po silnej przeróbce plastycznej
- oooo α/γ Stopy magnetyczne
- *12* Stopy Fe-Ni-Cu
- *13* Stopy Fe-Co-V
- · · · → Stopy Fe-Co-V po silnej przeróbce plastycznej
- – · · · – Ferryty twarde
- *14* Ferryt baru izotropowy
- *15* Ferryt baru anizotropowy
- —×— Magnesy z drobnoziarnistego proszku Fe

Tablica I. Skład chemiczny i własności magnetyczne niektórych stali na magnesy typu martenzytowego

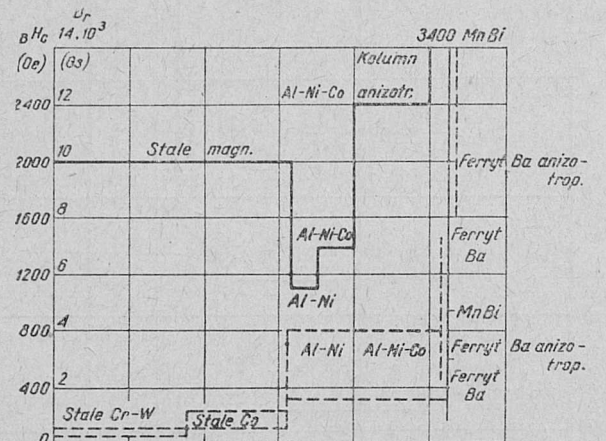
Lp.	Nazwa stali	Skład chemiczny (%)							Własności magnetyczne		
		C	Si	Mn	Cr	Co	W	Mo	B_r (Gs)	H_c (Oe)	$(B \cdot H)_{max}$ (Gs·Oe)
1	Chromowa*	0,95 1,10	0,15 0,30	0,20 0,40	3,00 3,50	—	—	—	9500	55	$0{,}24 \cdot 10^6$
2	Wolframowa*	0,7	0,15	0,20	0,3	—	6	—	10500	65	$0{,}32 \cdot 10^6$
3	Kobaltowochromowa*	0,90 1,10	0,15 0,30	0,10 0,40	3,60 4,00	1,80 2,10	0,40 0,70	—	9000	70	$0{,}34 \cdot 10^6$
4	6% kobaltowa*	0,95 1,05	0,15 0,30	0,30	8,00 8,50	6,00 6,50	—	1,10 1,30	8000	120	$0{,}46 \cdot 10^6$
5	10% kobaltowa*	0,95 1,05	0,15 0,30	0,30	8,00 8,50	10,20 11,00	—	1,30 1,60	8000	155	$0{,}60 \cdot 10^6$
6	15% kobaltowa*	0,95 1,15	0,15 0,30	0,30	8,00 9,00	15,00 16,00	—	1,40 1,60	8000	180	$0{,}68 \cdot 10^6$
7	30% kobaltowa*	0,88 0,95	0,15 0,30	0,30	4,20 4,70	29,00 31,00	4,20 4,80	0,20 0,40	8000	230	$0{,}90 \cdot 10^6$

Materiał oznaczony gwiazdką * produkuje się w kraju.

materiałów na magnesy o coraz większych wartościach $(BH)_{max}$.

Rys. 1 obrazuje główną linię rozwojową w zakresie materiałów na magnesy, podając wzrost wartości $(BH)_{max}$ z biegiem czasu.

Inne wielkości charakteryzujące materiał na magnesy to pozostałość magnetyczna B_r, natężenie koercyjne indukcji ${}_BH_C$, natężenie koercyjne magnetyzacji ${}_IH_C$ (koercja właściwa), przenikalność odwracalna μ_r, przenikalność trwała μ_p



Rys. 2. Linia rozwojowa materiałów na magnesy trwałe — zmiany B_r (linia ciągła) i H_c (linia przerywana)

oraz kształt krzywej odmagnesowania. Dwie pierwsze wartości związane są z iloczynem energii $(BH)_{max}$ przybliżonymi wzorami: $(BH)_{max} = (0{,}40 \div 0{,}45) \cdot B_r \cdot H_c$ — dla materiałów izotropowych i $(BH)_{max} = (0{,}60 \div 0{,}65) \cdot B_r \cdot H_c$ — dla materiałów anizotropowych. Kształt krzywej odmagnesowania charakteryzuje współczynnik wypełnienia γ określony jako iloraz

$$\gamma = \frac{(BH)_{max}}{B_r \cdot H_c}. \tag{4}$$

Rys. 2 przedstawia linię rozwojową materiałów na magnesy pod względem wartości natężenia koercyjnego (linia przerywana) i pozostałości magnetycznej (linia pełna).

2. Rozwój materiałów na magnesy trwałe.

Stale martenzytowe. Do roku 1905 jedynym materiałem na igły magnesowe do busoli okrętów była zwykła stal węglowa o zawartości od 1 do 1,5% C. Rozwój aparatury pomiarowej doprowadził do szybkiego rozwoju stali magnetycznych chromowych, wolframowych i kobaltowych typu martenzytowego.

W tabl. I zestawiono skład chemiczny i własności magnetyczne stali na magnesy typu martenzytowego, podlegających przeróbce plastycznej na gorąco.

Rys. 3 przedstawia krzywe odmagnesowania martenzytowych stali chromowych i chromowo-kobaltowych (podanych w tabl. I z wyjątkiem stali wolframowej). Na krzywych tych zaznaczono punkty (B_mH_m) odpowiadające iloczynowi energii $(BH)_{max}$ oraz przeprowadzono przekątne z początku układu do punktów (B_mH_m). Na rysunku zaznaczono również wartości ilorazu B_m/H_m.

Dodanie dodatków stopowych, wolframu, chromu, manganu i kobaltu do stali węglowej polepszyło własności magnetyczne stali martenzytowych, a w szczególności podwyższyło wartości natężenia koercyjnego od 50 do 250 Oe, a iloczyn energii do $0{,}9 \cdot 10^6$ GsOe.

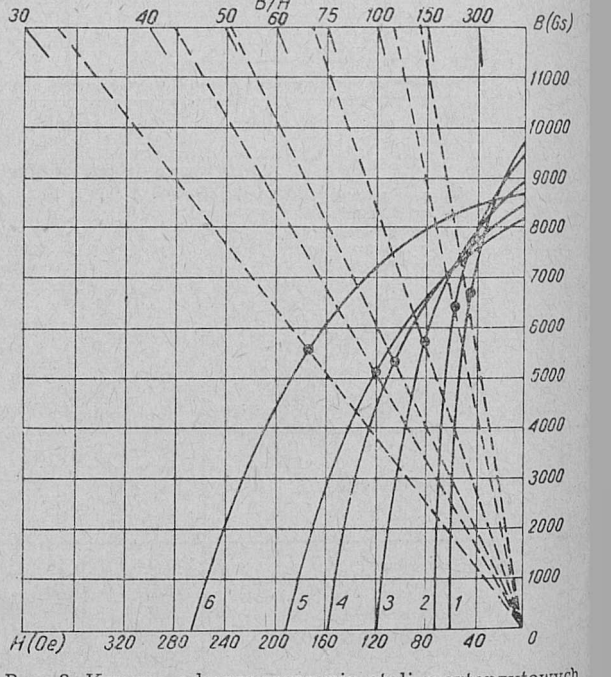
Stopy dyspersyjne na magnesy trwałe. W latach 1930—1933 W. Köster [1] stwierdził, że stopy Fe-Co-Mo oraz Fe-Co-W o bardzo niskiej zawartości węgla można utwardzać na zasadzie wydzielania (tzw. stopy α na magnesy trwałe), przy czym w zależności od składu natężenie koercyjne tych stopów zmieniało się od 60 do 350 Oe, pozostałość magnetyczna od 8000 do 11 000 Gs, a iloczyn energii $(B.H.)_{max}$ dochodził do $1{,}3 \cdot 10^6$ Gs.Oe. Odkrycia te miały jednak bardzo małe znaczenie techniczne, gdyż w 1931 r. znaleziono stopy Fe-Ni-Al o zawartości $C \leqslant 0{,}03\%$ bez dodatków lub z dodatkami tytanu, kobaltu i miedzi, wykazujące nadzwyczajne własności magnetyczne, charakterystyczne dla materiałów na magnesy trwałe. Również i te stopy utwardzają się na zasadzie wydzielania dyspersyjnego. Są to stopy twarde, kruche, które można obrabiać jedynie przez szlifowanie wykończające, a gotowe magnesy z tych stopów wytwarza się na drodze odlewania. Iloczyn energii tych stopów izotropowych wynosi od 0,7 do $2{,}3 \cdot 10^6$ Gs.Oe, a natężenie koercyjne osiąga wartość do 800 Oe.

W 1938 r. Oliver i Shedden [3] stwierdzili, że próbka stopu Al-Ni-Co, nagrzana przy temperaturze 1200°C i studzona w polu magnetycznym o natężeniu około 1500 Oe zmienia swe własności magnetyczne w stosunku do próbki poddanej podobnej obróbce cieplnej bez pola magnetycznego. Natężenia koercyjne badane w kierunku działającego pola magnetycznego zwiększyło się nieznacznie, pozostałość magnetyczna wzrosła o ~ 4%, a iloczyn energii $(BH)_{max}$ wzrósł o 20%. Pomiary przeprowadzone w kierunku prostopadłym do kierunku pola dały wartość iloczynu $(BH)_{max}$ mniejszą o ~ 10%, co oznaczało, że materiał ten jest magnetycznie anizotropowy. Jeszcze w tym samym roku B. Jonas, badając stop Fe-Ni-Al-Co-Cu o zwiększonej zawartości kobaltu, stwierdził wybitną poprawę wartości iloczynu energii $(BH)_{max}$ o ~ 200% stosując obróbkę cieplną w polu magnetycznym. Fakty te zainicjowały intensywne badania nad opracowaniem metody wytwarzania stopów Fe-Ni-Al-Co-Cu, w których obróbka w polu magnetycznym wytwarzałaby anizotropię gwarantującą najwyższe wartości własności magnetycznych [4, 5, 6].

W przypadku magnesów anizotropowych wartości $(BH)_{max}$ zmieniają się w granicach od 3 do $6 \cdot 10^6$ Gs.Oe. Wartości te można uzyskać dla krzywych odmagnesowania o pozostałości magnetycznej zmieniającej się od 12 500 do 9500 Gs i natężeniu koercyjnym od 450 do 800 Oe. Stop „hycomax" (tabl. II) ma bardzo dużą wartość natężenia koercyjnego (H_c = 900 Oe) i stosunkowo małą wartość pozostałości magnetycznej (B_r = = 9000 Gs), „stop „ticonal" G odwrotnie — dużą wartość pozostałości magnetycznej (B_r = 13 480 Gs), a małą wartość natężenia koercyjnego (H_c = 584 Oe).

Wiele obecnie produkowanych stopów na magnesy zawiera piąty dodatek stopowy — tytan, niob lub krzem. Badania stwierdziły, że tytan i niob podwyższają wartość natężenia koercyjnego stopu, lecz wpływ tych pierwiastków na krzywą odmagnesowania jest odmienny: tytan obniża wyraźnie wartość pozostałości magnetycznej tak, że iloczyn energii $(BH)_{max}$ nie osiąga na ogół wartości, którą ma stop bez tytanu.

Natomiast badania D. Hadfielda [7] wykazały, że dodatek niobu do anizotropowych stopów typu „alcomax" podnosi na-



Rys. 3. Krzywe odmagnesowania stali martenzytowych

1 — stal chromowa
2 — stal chromowo-kobaltowa
3 — 6% Co
4 — 10% Co
5 — 15% Co
6 — 30% Co

tężenie koercyjne — nie zmieniając wartości pozostałości magnetycznej — oraz zwiększa wyraźnie wartość iloczynu energii. Badania Liwszica [8] nad wpływem krzemu na własności magnetyczne stopów Al-Ni i Al-Ni-Co wykazały, że zawartość w stopach Al-Ni do 0,15% krzemu nie wpływa na własności magnetyczne, natomiast zawartość krzemu do 0,6% powodu

je wzrost indukcji magnetycznej, obniżenie natężenia koercyjnego i iloczynu energii. Dlatego też większość zakładów stara się utrzymać zawartość krzemu możliwie poniżej 0,15%. W ostatnich czasach okazało się, że w pewnych przypadkach dodatek krzemu okazuje się korzystny, przy czym dodatek ten nie powinien wynosić więcej niż 1,2% Si.

Jąk wynika z tabl. II stop ANK (Al-Ni-Si) o zawartości krzemu równej 1% ma małą pozostałość magnetyczną (B_r = = 4000 Gs), lecz duże natężenie koercyjne (H_c = 750 Oe).

Dalszym udoskonaleniem grupy stopów anizotropowych było orientowanie osi kryształów podczas odlewania. Uzyskuje się to na drodze odpowiedniego odprowadzania ciepła podczas krzepnięcia stopu w formie. Wówczas wszystkie krystality mają jedną z krawędzi sześcianu równoległą do osi kolumny. Gdy następnie w tym samym kierunku działa zewnętrzne pole magnetyczne podczas procesu przechładzania z wysokiej temperatury, otrzymuje się materiał anizotropowy o własnościach magnetycznych znacznie wyższych niż w przypadku krystalitów nieuporządkowanych. Ebeling i Burr [9] podali makrostruktury niektórych typów próbek stopu Al-Ni-Co 5, chłodzonych podczas krzepnięcia metalu w specjalnych wlewnicach tak złożonych, że jedna część wykonana była ze źle przewodzącego materiału ogniotrwałego, druga z bardzo dobrego przewodnika. Przy uporządkowaniu 16% krystalitów w kierunku zewnętrznego pola magnetycznego otrzymano iloczyn energii $3{,}9 \cdot 10^6$ Gs.Oe, przy uporządkowaniu zaś — 73% krystalitów iloczyn ten wzrastał do wartości $5{,}1 \cdot 10^6$ Gs.Oe. Autorzy ci zbadali również własności magnetyczne monokryształów otrzymanych z próbek spiekanych oraz odlewanych. W pierwszym przypadku iloczyn energii wynosił dla kierunku [1, 0, 0] $6 \cdot 10^6$ dla kierunku zaś [1, 1, 1] $3{,}5 \cdot 10^6$; w drugim przypadku wartości te wynosiły odpowiednio $6{,}5 \cdot 10^6$ i $2{,}9 \cdot 10^6$. Dane te wykazują, że poprawa własności magnesów o strukturze kolumnowej zależy w dużym stopniu od równoległego ułożenia kierunków [1, 0, 0] w krystalitach. W tabl. II zestawiono skład chemiczny i własności magnetyczne niektórych stopów typu Al-Ni i Al-Ni-Co zarówno izotropowych jak i anizotropowych.

Rys. 4 przedstawia krzywe odmagnesowania oraz przekątne punktu $(BH)_{max}$ niektórych stopów tabl. II.

Tablica II. Skład chemiczny i własności magnetyczne niektórych stopów na magnesy typu Al-Ni i Al-Ni-Co izotropowych i anizotropowych

Lp.	Oznaczenie stopu	Skład chemiczny (%)							Własności magnetyczne		
		Al	Ni	Cu	Si	Co	Ti	Nb	B_r (Gs)	H_c (Oe)	$(BH)_{max}$ (Gs×Oe)
*1	ANl	11	22	6	0,20	—	—	—	7000	250	$0{,}7 \cdot 10^6$
*2	Al-Ni90	12	22	—	0,20	—	—	—	7800	280	$1{,}1 \cdot 10^6$
3	NiAl110	13	21	—	0,20	—	—	—	8000	270	$1{,}1 \cdot 10^6$
4	Al-Ni-Co IIIC	12	24	—	0,20	—	—	—	7500	400	$1{,}35 \cdot 10^6$
5	Al-Ni-Co IIIB	12	25	—	0,20	—	—	—	7000	470	$1{,}35 \cdot 10^6$
6	Z5 Na24-14	12/14	24/27	—	0,20	—	—	—	6800	470	$1{,}25 \cdot 10^6$
*7	AN2	13	24,5	3,5	0,15	—	—	—	6000	430	$0{,}95 \cdot 10^6$
8	Al-Ni-120Cu	13	25	4	0,20	—	—	—	6200	480	$1{,}3 \cdot 10^6$
*9	Ni-Al 130	14	26	—	0,20	—	—	—	6000	525	$1{,}2 \cdot 10^6$
10	Al-Ni-Co IIIA	12	26	—	0,20	—	—	—	6500	560	$1{,}35 \cdot 10^6$
11	Al-Ni 120	13	27	—	0,20	—	—	—	5800	570	$1{,}25 \cdot 10^6$
12	Ni permag	12	30	—	0,20	—	0,4	—	5600	660	$1{,}34 \cdot 10^6$
*13	AN3	15,5	23,5	4	0,45	—	—	—	5000	500	$0{,}93 \cdot 10^6$
*14	ANK (Al-Ni-Si)	13,5	33	—	1	—	—	—	4000	750	$1{,}1 \cdot 10^6$
15	Al-Ni-Co IC	12	19,5	—	0,20	5	—	—	7600	400	$1{,}4 \cdot 10^6$
16	Al-Ni-Co IB	12	21	—	0,20	5	—	—	7100	450	$1{,}4 \cdot 10^6$
17	Al-Ni-Co IA	12	22,5	—	0,20	5	—	—	6600	540	$1{,}4 \cdot 10^6$
18	Al-Ni-Co 130	12	26	4	0,20	4	—	—	6000	650	$1{,}4 \cdot 10^6$
19	Al-Ni-Co 4B	12	27	—	0,20	5	—	—	6000	660	$1{,}3 \cdot 10^6$
20	Al-Ni-Co 4A	12	28	—	0,20	5	—	—	5500	730	$1{,}25 \cdot 10^6$
	Stopy na magnesy z podwyższoną energią magnetyczną										
*21	ANKo1	10	18	6	0,15	12	—	—	6800	500	$1{,}4 \cdot 10^6$
*22	ANKo2	9	20	4	0,15	15	—	—	7500	600	$1{,}6 \cdot 10^6$
23	Al-Ni-Co III	10	16	6	0,20	12	0,7	—	8400	400	$1{,}6 \cdot 10^6$
24	Al-Ni-Co IIC	10	16	6	0,20	12,5	—	—	8000	425	$1{,}6 \cdot 10^6$
25	Al-Ni-Co I	10	18	6	0,20	13	0,7	—	7000	510	$1{,}6 \cdot 10^6$
26	Al-Ni-Co IIB	10	17	6	0,20	12,5	—	—	7500	560	$1{,}6 \cdot 10^6$
27	Al-Ni-Co 160	11	24	4	0,20	9,5	—	—	6700	650	$1{,}6 \cdot 10^6$
28	Al-Ni-Co 160	10	20	4	0,20	15	—	—	7000	700	$1{,}6 \cdot 10^6$
29	Al-Ni-Co XII	6	18	—	0,20	35	8	—	6100	1000	$1{,}65 \cdot 10^6$
30	Reco 2A	7	20,5	7	0,20	20	6,5	—	5500	1000	$1{,}9 \cdot 10^6$
31	Al-Ni-Co 250	6,5	18,5	3	0,20	24	5	—	6200	1020	$2{,}5 \cdot 10^6$
	Stopy na magnesy trwałe anizotropowe na drodze chłodzenia w polu magnetycznym										
*32	ANKo 3	10	13	3	0,15	18	—	—	9000	650	$2{,}5 \cdot 10^6$
*33	ANKo 4	9	13,5	3	0,15	24	—	—	12300	500	$3{,}8 \cdot 10^6$
34	Al-Ni-Co 400	8	14/16	3/4	0,20	21/24	—	—	11500	625	$4{,}5 \cdot 10^6$
35	Al-Ni-Co V	8	14	3	0,20	24	—	—	12000	575	$4{,}5 \cdot 10^6$
36	Al-Co max I	7,5	11	3	0,20	25	1,5	—	12000	475	$3{,}5 \cdot 10^6$
37	Al-Co max II	8	12	4,5	—	21	—	—	12400	575	$4{,}3 \cdot 10^6$
38	Al-Co max III	8	13,5	3	—	24/25	—	0,5/1	12500	650	$5{,}1 \cdot 10^6$
39	Ticonal E	8	14	3	—	24	—	—	11200	660	$4{,}2 \cdot 10^6$
40	Al-Ni-Co VIC	8	15	3	—	24	0,5	—	11000	700	$4{,}0 \cdot 10^6$
41	Al-Ni-Co VIB	8	15	3	—	24	1,2	—	10500	750	$3{,}65 \cdot 10^6$
42	Al-Ni-Co VII	8,5	18	3,3	—	24	5	—	7500	1100	$3{,}0 \cdot 10^6$
43	Hycomax	9	21	2	—	20	—	—	9000	830	$3{,}2 \cdot 10^6$
44	Ticonal G	8	14	3	—	24	—	—	13400	583	$5{,}7 \cdot 10^6$
	Stopy na magnesy trwałe o strukturze kolumnowej										
45	Columnax	8	13	3,0	—	24	—	0,7	13000	748	$6{,}8 \cdot 10^6$
46	Al-Ni-Co VDG	8	14	3	—	24	—	—	13500	720	$7{,}5 \cdot 10^6$
47	Al-Ni-Co 400	8	14/16	3/4	—	21/24	—	—	12800	660	$5{,}9 \cdot 10^6$

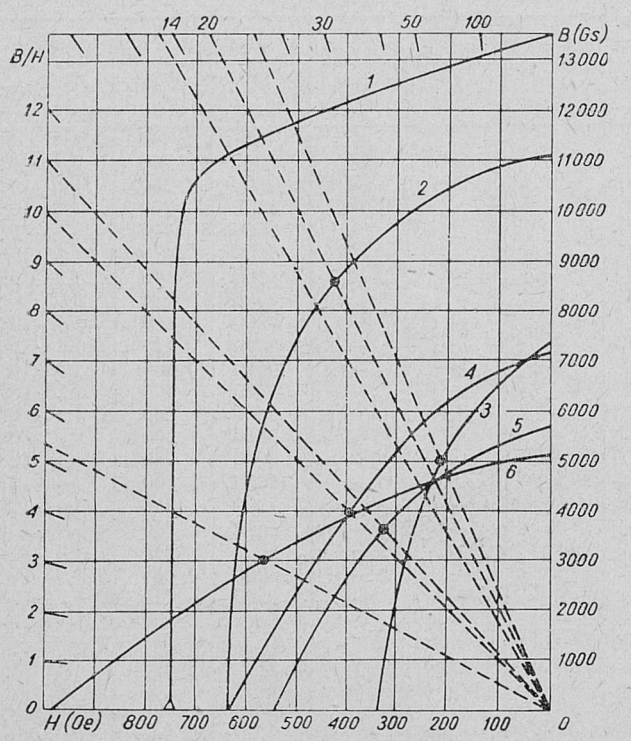
Stopy oznaczone gwiazdką * produkuje się w kraju.

Tablica III. Mechanicznie miękkie materiały na magnesy trwałe

Lp.	Oznaczenie materiałów	Skład chemiczny (%)					Własności magnetyczne		
		Cu	Co	Ni	V	Fe	B_r (Gs)	H_c (Oe)	$(BH)_{max}$ (Gs·Oe)
1	Vicalloy I	—	52	—	10	38	9000	300	$1{,}02 \cdot 10^6$
2	Vicalloy II	—	52	—	13	35	10000	450	$3{,}00 \cdot 10^6$
3	Comol	—	12	Mo 19	—	69	10500	250	$1{,}1 \cdot 10^6$
4	Cu-Ni-Fe I*	60	—	20	—	20	5800	600	$1{,}98 \cdot 10^6$
5	Cu-Ni-Fe II	50	2,5	20	—	27,5	7300	260	$0{,}78 \cdot 10^6$
6	Cu-Ni-Fe VII	—	—	—	—	—	2800	1000	$1{,}2 \cdot 10^6$
7	Cu-Ni-Co I*	50	29	21	—	—	3400	710	$0{,}85 \cdot 10^6$
8	Cu-Ni-Co II	35	41	24	—	—	5300	450	$0{,}99 \cdot 10^6$
9	Cu-Ni-Co IV	—	—	—	—	—	2900	800	$0{,}8 \cdot 10^6$

Gwiazdką * oznaczono materiały produkowane w kraju

Magnesy lane typu Al-Ni, Al-Ni-Co zmniejszyły znacznie produkcję magnesów ze stali martenzytowych. Ocenia się, że obecnie tylko 10—15% globalnej wartości zamówień pokrywa



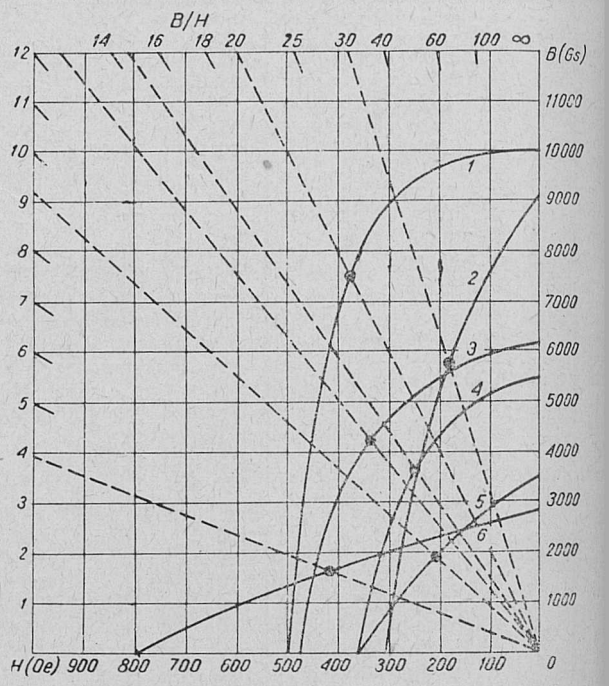
Rys. 4. Krzywe odmagnesowania niektórych stopów typu Al-Ni-Co-Cu

1 — Alcomax III o strukturze kolumnowej
2 — Al-Ni-Co przechładzane w polu magnetycznym
3 — Al-Ni 21/11
4 — Al-Ni-Co
5 — Al-Ni 27/12,5
6 — Al-Ni-Co z dodatkiem tytanu

się ze stali martenzytowych. Tłumaczy się to nie tylko wysokimi własnościami magnetycznymi, ale również dużą stateczność strukturalną i magnetyczną tych stopów.

Mechanicznie miękkie materiały na magnesy trwałe. Trzecią grupę materiałów magnetycznie twardych do celów specjalnych stanowią materiały, które poddają się obróbce plastycznej, które można przerabiać w postaci prętów oraz taśm i którym nadaje się kształty przez walcowanie na zimno, tłoczenie i obróbkę mechaniczną. Do grupy tej należą stopy Fe-Ni-Cu [10], Co-Ni-Cu [11], a w szczególności stopy Fe-Co-V (Vicalloy) [12, 13]; w odróżnieniu od magnesów dwu poprzednich grup twardość magnetyczna nie jest w tych materiałach związana z twardością mechaniczną. W tabl. III zestawiono skład chemiczny i własności magnetyczne tych stopów. Rys. 5 przedstawia krzywe odmagnesowania stopów mechanicznie miękkich na magnesy trwałe.

Inne typy materiałów na magnesy trwałe. Inny typ materiałów magnetycznie twardych to stopy o strukturze uporządkowanej, trójskładnikowe Cu-Mn-Al i Sn-Mn-Al typu Heuslera. Stopy te o małej indukcji nasycenia (poniżej 5000 Gs) i małej pozostałości magnetycznej mają bardzo wysokie natężenie koercyjne magnetyzacji dochodzące do 5000 Oe. Do stopów tych należy również stop „silmanal". W latach 1935 Kussmann [14], Jellinghaus [15] i inni zbadali stopy platyna-żelazo oraz platyna-kobalt o natężeniu koercyjnym magnetyzacji rzędu kilku tysięcy erstedów. W tabl. IV podano skład chemiczny i własności magnetyczne tych stopów specjalnych.



Rys. 5. Krzywe odmagnesowania stopów mechanicznie miękkich na magnesy trwałe

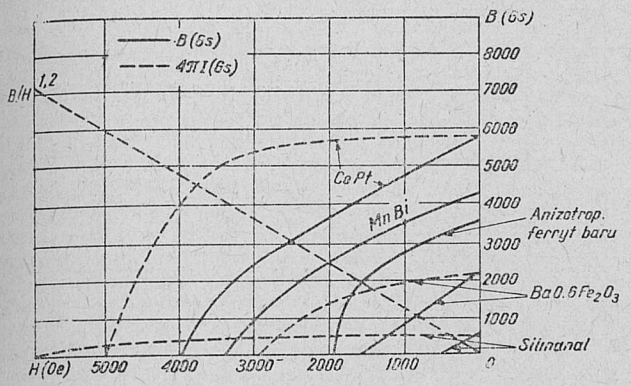
1 — Vicalloy po silnym zgniocie
2 — Vicalloy w stanie odlanym
3 — Cu-Ni-Fe po silnym zgniocie
4 — Cu-Ni-Fe po średnim zgniocie
5 — Cu-Ni-Fe w stanie odlanym
6 — Cu-Ni-Co

Tablica IV. Stopy magnetycznie twarde o składzie specjalnym

Oznaczenie materiału	Skład chemiczny (%)	Własności magnetyczne			
		B_r (Gs)	$_BH_C$ (Oe)	$_IH_C$ (Oe)	$(BH)_{max}$ (Gs·Oe)
Silmanal	86,75% Ag, 8,8% Mn, 4,45% Al	550	550	6000	$0{,}076 \cdot 10^6$
Pt-Fe	77,8% Pt, 22,2% Fe	3600	1250	1800	$2 \cdot 10^6$
Pt-Co	76,7% Pt, 23,3% Co	3000	—	4000	$3{,}6 \cdot 10^6$
Pt-Co	78% Pt, 22% Co	5100	4400	6300	$6 \cdot 10^6$
Pt-Co	82% Pt, 18% Co	6300	4100	4200	$9 \cdot 10^6$
Bi-Mn*	79% Bi, 21% Mn	4300	3400	12000	$4{,}3 \cdot 10^6$
Ferryt barowy ●	$BaO \cdot 6Fe_2O_3$	2000	1500	2900	$0{,}8 \cdot 10^6$
Ferryt barowy anizotropowy	$BaO \cdot 6Fe_2O_3$	3500	2000	3000	$3 \cdot 10^6$

Materiały oznaczone gwiazdką * są wytwarzane na drodze metalurgii proszków; ● oznacza, że technologia produkcji jest opracowana w kraju w skali półtechnicznej.

Materiały te ze względu na wysoką cenę (oprócz ferrytu barowego) znajdują zastosowanie jedynie w wyjątkowych przypadkach. Najkorzystniejsze własności stopu „silmanal" otrzymuje się po 75-procentowym zgniocie na zimno z następującą obróbką wydzielania i starzeniem w 250°C. Mała pozostałość magnetyczna tego stopu ogranicza zastosowanie tego materiału do wyjątkowych przypadków, gdzie wymagana jest wielka odporność na rozmagnesowujące działanie różnych czynników. Używa się go do przekaźników spolaryzowanych, regulatorów napięcia oraz na igły do dokładnych pomiarów



Rys. 6. Krzywe odmagnesowania stopów i spieków specjalnych o wysokiej wartości $_IH_C$

natężenia pola. Według publikacji Jellinghausa iloczyn energii dla stopu Pt-Co wynosi $3{,}8 \cdot 10^6$ Gs.Oe, natomiast według nowych prac Geislera i Martina iloczyn ten jest dwukrotnie większy [16, 17]. Nowy patent Weila podaje, że stop Pt-Fe może osiągnąć natężenie koercyjne magnetyzacji do 20 000 Oe [18], gdy wytworzy się na drodze termicznego rozkładu platynocyjanku żelaza.

Na rys. 6 przedstawiono krzywe odmagnesowania stopów specjalnych o wysokiej wartości $_IH_C$.

3. Technologia wytwarzania magnesów trwałych i ich własności technologiczne.

Stale na magnesy trwałe wytwarza się zazwyczaj trzema sposobami: z materiałów walcowanych, przez odlewanie, na drodze metalurgii proszków przez prasowanie i spiekanie. Technologii i własnościom magnesów otrzymywanych na drodze metalurgii proszków poświęcono specjalny artykuł *). Jakość magnesu zależy nie tylko od odpowiednio dobranego składu chemicznego, lecz również od całego cyklu produkcyjnego, jak wytapianie, odlewanie, warunki przeróbki plastycznej, obróbki cieplnej itp. Metody wytapiania i przeróbki plastycznej stali martenzytowych na magnesy trwałe są analogiczne do metod stosowanych w produkcji wysokojakościowych stali narzędziowych. Stale te wytapia się w wielkich ilościach w elektrycznych piecach łukowych, w mniejszych ilościach — w piecach indukcyjnych. Stal na magnesy odlewa się we wlewki, a następnie walcuje lub kuje na gorąco w kęsy. Kęsy te przerabia się plastycznie na gorąco dalej przy jednym lub dwukrotnym podgrzewaniu do żądanego wymiaru, zwracając pilną uwagę na czas wygrzewania i temperaturę walcowania. Stale kobaltowe walcuje się w granicach od 1100° do 900°C, stale chromowe od 1100° do 850°C. Stale wolframowe wykazują skłonność do przegrzania (co objawia się w stracie własności magnetycznych, a w szczególności natężenia koercyjnego), gdy przed hartowaniem stal tę wygrzewa się za długo w zakresie temperatur 750° do 1250°C podczas walcowania, kucia czy wyżarzania.

Powodem tego jest rozpad węglików żelaza i wolframu, który następuje z największą szybkością przy temperaturze około 950°C. Regenerację własności magnetycznych uzyskuje się przez szybkie ogrzanie tej stali do temperatury 1250—1300°C i oziębienie na powietrzu. W celu usunięcia naprężeń po walcowaniu pręty wyżarza się w temperaturze 750°C i studzi z piecem lub też stosuje się wyżarzanie automatyczne według wykresu. Stale chromowe hartuje się w oleju z temperatury od 810 do 860°C. Stal wolframową hartuje się w wodzie od temperatury 800 do 830°C. Stale chromowe mają tę zaletę w stosunku do wolframowych, że hartowanie w oleju stwarza mniejsze niebezpieczeństwo pęknięć. W celu zmniejszenia naprężeń wewnętrznych i przemiany niestałego martenzytu tetragonalnego w więcej stały martenzyt o przestrzennie centrycznej sieci sześciennej, magnesy po zahartowaniu poddaje się naturalnemu starzeniu długotrwałemu albo ogrzewa się je w ciągu kilku godzin w temperaturze do 100°C. Ogrzanie to nie zmienia jednak stopnia rozproszenia i wielkości kryształów węglików, które będąc nadal podmikroskopowych wymiarów działają utwardzająco.

Magnesy hartowane należy szlifować bardzo ostrożnie, aby uniknąć pęknięć szlifierskich i zbytniego nagrzewania magnesu. Własności technologiczne stali kobaltowych ustępują znacznie innym stalom stosowanym na magnesy trwałe. Przeróbka plastyczna na gorąco, jak i obróbka wiórowa, są trudne wskutek znacznej twardości stali, wtedy zwłaszcza, gdy zawartość kobaltu jest duża. Wymaga to zmiękczenia stali przez kilkugodzinne wyżarzanie przy temperaturze 750°C do 900°C z następującym powolnym chłodzeniem. Stale kobaltowe grzane przy 700 — 1000°C wykazują pogorszenie się własności magnetycznych. W celu otrzymania w gotowym magnesie ze stali kobaltowych najlepszych własności magnetycznych stosuje się potrójną obróbkę cieplną obejmującą następujące zabiegi:

1) szybkie nagrzanie do temperatury 1150°C, wytrzymanie przez 5 — 10 minut i ochładzanie na powietrzu lub w strumieniu sprężonego powietrza, w zależności od wielkości magnesu; podczas tego procesu znaczna część węglików złożonych rozpuszcza się w austenicie, a po ochłodzeniu stal jest słabo magnetyczna;

2) odpuszczanie przy temperaturze ok. 750°C w czasie ok. 30 minut; w tym czasie austenit rozkłada się na sorbit z drobnymi wydzieleniami węglików i wracają równocześnie magnetyczne własności materiału;

3) szybkie ogrzanie magnesu do temperatury 1000°C z następującym chłodzeniem na powietrzu lub sprężonym powietrzu do punktu Curie, a następnie zahartowanie w oleju [19].

W przypadku 30-procentowej stali kobaltowej zabieg trzeci polega na zahartowaniu magnesu od temperatury 950°C w oleju.

Ze stali kobaltowej można również odlewać gotowe magnesy w formach z piasku, a ich obróbka cieplna jest podobna do obróbki magnesów kutych. Zazwyczaj omija się jednak zabieg pierwszy mający za zadanie regenerację przegrzewania. Szybkość stygnięcia odlewu jest wystarczająco szybka, by wysoki procent węglików pozostał w roztworze.

Dlatego też kobaltowe magnesy lane odpuszcza się tylko przy temperaturze 750°C, po czym można obrabiać je mechanicznie. Następnie gotowe magnesy hartuje się od 1000°C na powietrzu lub od 950°C w oleju — w zależności od składu chemicznego stali.

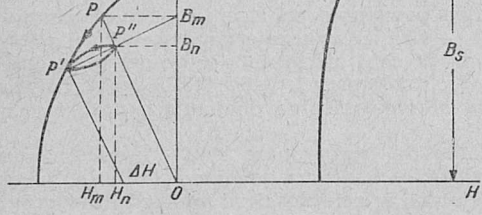
Stopy typu Al-Ni i Al-Ni-Co tworzą grupę stopów utwardzanych dyspersyjnie. Wytapia się je zazwyczaj w piecach wielkiej częstotliwości. Przy ciężarze magnesu mniejszym od 20 G ekonomiczna jest metoda metalurgii proszków.

Ze względu na twardość i dużą kruchość tych materiałów dąży się do wykonywania odlewów o możliwie dużej dokładności wymiarowej i gładkich powierzchniach. Wobec znacznych trudności odlewania, kształty magnesów powinny być możliwie proste, a szczególnie należy unikać zmian grubości przekroju. Otwory w magnesach uzyskuje się za pomocą rdzeni piaskowych. Wkładki stalowe bądź zalewa się stopem w czasie odlewania, bądź też umieszcza w odpowiednich otworach i łączy przez spawanie. Znaczna gęsto-płynność stopów i duża skłonność do tworzenia jam usadowych, pęcherzy itp. wywołują trudności przy odlewaniu, które wzrastają w miarę zmniejszania się wymiarów magnesów, a przy małych jednostkach (20 — 30 g) liczba braków może być bardzo duża. Również przy obróbce cieplnej i przy szlifowaniu trzeba się liczyć z małą przewodnością cieplną i dużą kruchością tych magnesów.

Stopy układu Fe-Al-Ni wykazują w pewnym wąskim obszarze ograniczoną rozpuszczalność tak, że przy wysokich temperaturach tworzą jedną fazę o sieci przestrzennie centrycznej, rozkładającą się przy niskich temperaturach na dwie inne fazy o podobnym typie sieci: jedną (α_1) bogatą w Fe i drugą (α_2) bogatą w Ni-Al różniącą się od siebie parametrem sieci. Dodatki miedzi, kobaltu, tytanu i prawdopodobnie niobu wchodzą do roztworu stałego obu faz. Magnetyzacja nasycenia jednostki objętości fazy α_1 i α_2 jest odpowiednio równa około 212 i 61 jednostek c. g. s. Jednolitą fazę można trzymać w temperaturze normalnej przez przechłodzenie z temperatury 1200°C, układ dwufazowy otrzymuje się przez długotrwałe wyżarzanie w temperaturze ponad 600°C. Obydwa zabiegi dają materiał o niskim natężeniu koercyjnym i dopiero odpowiednio dobrana dla każdego stopu szybkość chłodzenia gwarantuje wysoką wartość natężenia koercyjnego.

*) Por. Rutkowski W. Nowoczesne proszkowe materiały magnetyczne w przemyśle energo- i teleelektrycznym (str. 597 niniejszego zeszytu).

Badania rentgenograficzne stopu o najwyższym natężeniu koercyjnym wykazały, że w procesie utwardzania dyspersyjnego tworzą się małe wyspy nowej fazy (α'_1); wyspy te nie wydzielają się z fazy pierwotnej w sposób widoczny na zgładzie mikrograficznym. W roku 1952 Heindenreich i Nesbitt [20, 21, 22] zbadali nadstrukturę stopów Al-Ni i Al-Ni-Co stosując mikroskop elektronowy i stwierdzili, że w fazie przestrzennie centrycznej wydziela się faza uporządkowana płasko-centryczna o parametrze sieci 10,0 Å. Wydzielenie się tej fazy w stanie

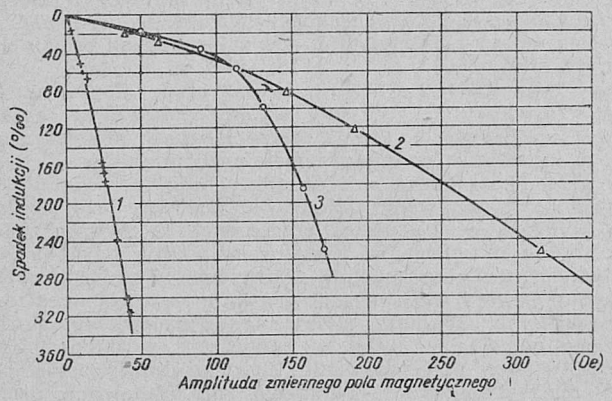


Rys. 7. Fizyczna interpretacja procesu magnetycznego starzenia

dyspersyjnego rozproszenia jest czynnikiem decydującym o ostatecznych własnościach magnetycznych stopu.

W zależności od rodzaju stopu stosuje się jeden zabieg cieplny albo dwa kolejne nagrzania i ochłodzenia. W obróbce pojedynczej nagrzewa się magnes do temperatury istnienia jednorodnego roztworu stałego i chłodzi go z określoną szybkością zwaną krytyczną szybkością chłodzenia. Obróbka druga polega na podgrzaniu magnesu jak poprzednio i ochłodzeniu go w energicznie chłodzącym ośrodku, a następnie starzeniu przy temperaturach pośrednich. Stopy Al-Ni przechładza się z temperatury 1100/1200°C w strumieniu sprężonego powietrza lub na powietrzu i starzy się przy temperaturach między 550° i 650°C. Stopy typu ANKo1 i ANKo2 przechładza się od 1250 do 1300°C ze studzeniem na powietrzu lub w strumieniu powietrza i starzeniem jak poprzednio.

W każdym przypadku jest rzeczą istotną dobrać taką szybkość chłodzenia przy przejściu punktu Curie, by otrzymać prawidłową dyspersję fazy drugiej. Zabieg starzenia wyrównuje różnice w charakterystykach między magnesami spowodowa-



Rys. 8. Wpływ zmiennego pola magnetycznego na spadek pozornej pozostałości magnetycznej

1 — stal chromowo-kobaltowa
2 — stop Al-Ni
3 — stop Al-Ni-Co anizotropowy (wg Kronenberga)

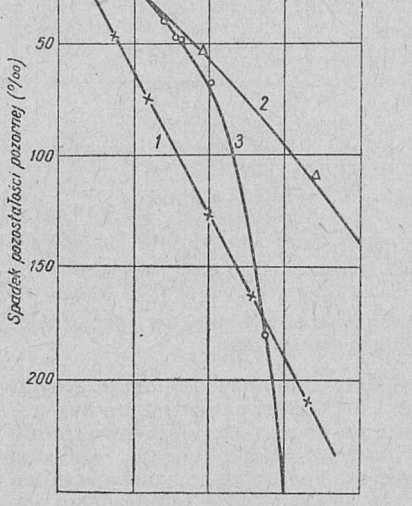
nymi nieznacznymi różnicami szybkości chłodzenia z temperatury jednofazowej.

Obróbka cieplna magnesów anizotropowych jest trochę skomplikowana z powodu konieczności studzenia magnesu z temperatury jednofazowego roztworu w polu magnetycznym stałym, które powoduje kierunkowe zarodkowanie cząstek wskutek współdziałania energii kształtu, energii anizotropii magnetycznej i energii magnetostrykcji. Magnesy anizotropowe przechładza się w polu magnetycznym o natężeniu od 1500 do 2000 erstedów z temperatury 1250°C z prędkością chłodzenia rzędu 1°/sek. do temperatury około 600°C. Starzenie przeprowadza się między 600°C i 650°C.

Stop Cu-Ni-Fe jest plastyczny i można go obrabiać mechanicznie nawet w stanie utwardzonym. Wytwarza się go w postaci taśmy lub drutu, przy czym najlepsze własności magnetyczne uzyskuje się na cienkich drutach o średnicy mniejszej niż 4 mm. Otrzymanie najlepszych własności magnetycznych stopu wymaga następującej obróbki: wygrzania przy 1050 — 1100°C, szybkiego chłodzenia, starzenia przy około 650°C, zgniotu (90 — 95%) i starzenia końcowego.

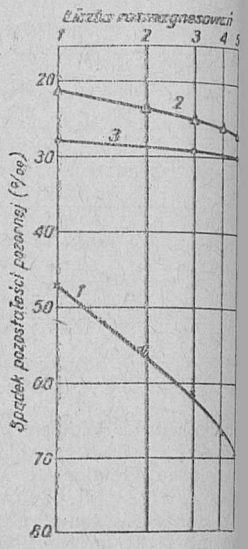
Stop Cu-Ni-Co jest stopem plastycznym i obrabialnym przed końcową obróbką cieplną i dlatego obróbkę tę należy przeprowadzać na gotowych magnesach.

Struktura stopów Cu-Ni-Fe i Cu-Ni-Co jest podobna. W wysokiej temperaturze (ok. 1050°C) występuje jednorodny roz-



Rys. 9. Spadek pozornej pozostałości magnetycznej (w ‰) w zależności od amplitudy zmiennego pola rozmagnesowującego, obliczony w stosunku do wartości natężenia koercyjnego (wg Kronenberga)

1 — Stal chromowo-kobaltowa
2 — Stop Al-Ni
3 — Stop Al-Ni-Co anizotropowy (wg Kronenberga)



Rys. 10. Wpływ wielokrotnego odmagnesowania polem zmiennym na spadek pozornej pozostałości magnetycznej (wg Kronenberga)

twór stały (γ) o płaskocentrycznej sieci przestrzennej, który po przeróbce na zimno i starzeniu w zakresie temperatur 600 — 700°C rozpada się na dwie fazy γ_1 i γ_2 również o płaskocentrycznej sieci przestrzennej, przy czym faza γ_2 jest fazą ferromagnetyczną, a γ_1 wzbogaconą w atomy Cu. Materiał o wysokim natężeniu koercyjnym posiada strukturę przejściową γ'_1 i γ'_2, gdyż nie nastąpiło jeszcze wydzielenie faz, ale tylko stan uporządkowania i faza γ'_2 ma mniejszą stałą siatki.

Stopy Fe-Co-V mają znaczną plastyczność umożliwiającą otrzymywanie z nich przez przeróbkę na zimno cienkich blach i drutów. Najlepsze własności magnetyczne w tym typie stopów zależą bardzo od stopnia przeróbki plastycznej na zimno (75 — 95%). W przypadku małych zgniotów (Vicalloy I) wartość iloczynu energii $(BH)_{max}$ wynosi $1{,}0 \cdot 10^6$ Gs.Oe. Vicalloy I wyżarza się w zakresie temperatur 1000 — 1200°C i studzi się z dowolną szybkością z zakresu wysokich temperatur oraz poddaje starzeniu w ciągu kilku godzin przy temperaturze 600°C. Stop Vicalloy II po przechłodzeniu z wysokiej temperatury jest niemal niemagnetyczny, jednakże po zgniocie ok. 95% i starzeniu przy 600°C można uzyskać w kierunku walcowania $(BH)_{max}$ równy około $3 \cdot 10^6$ Gs.Oe.

4. Stateczność magnesów.

Występujące po namagnesowaniu zmiany strumienia magnetycznego obwodu wywołane są rozmagnesowującym działaniem takich czynników, jak zmiany temperatury, mechaniczne wstrząsy, wpływ zmiennych pól magnetycznych, zmiany oporności magnetycznej obwodu, zmiany struktury materiału magnesu itp. Zmiany te następują zazwyczaj powoli i te długotrwałe zmiany własności magnetycznych obwodu określa się jako starzenie magnetyczne. Procesy starzenia obejmują zarówno zmiany stanu namagnesowania, jak i zmiany struktury magnesu. Zmiany drugiego typu są nieodwracalne i nie można ich usunąć przez powtórne namagnesowanie, gdyż wymagana jest powtórna obróbka cieplna. Zmiany pierwszego typu mo-

na usunąć na drodze powtórnego magnesowania, a ich fizyczne znaczenie przedstawiono na rys. 7. Na krzywej obiegu histerezy porusza się punkt charakteryzujący magnetyczny stan magnesu. Po namagnesowaniu go do stanu nasycenia B_s i wyłączeniu magnesującego pola magnetycznego stan magnesu charakteryzuje punkt B_r, a po wyjęciu go z jarzma — punkt P z pozorną pozostałością magnetyczną B_m i polem wewnątrz magnesu H_m. Kąt nachylenia przekątnej OP do osi B jest równy $\operatorname{arctg} \frac{N}{4\pi}$, gdzie N jest współczynnikiem odmagnesowania zależnym od przenikalności i rozmiarów magnesów. Gdy ponadto doprowadzi się dodatkowo rozmagnesowujące pole zakłócające ΔH, to punkt pracy przejdzie do P'. Wywołana zmiana indukcji zawiera w sobie część odwracalną i nieodwracalną. Gdy usunie się pole zakłócające, to punkt pracy przejdzie do P'' (wzdłuż prostej o nachyleniu μ_p), leżącego na przekątni OP. Zmiany pola magnetycznego mniejsze od ΔH wywołują odwracalne zmiany indukcji magnetycznej magnesu, odbywające się w przybliżeniu wzdłuż prostej $P'P''$. Dopiero zmiany większe od ΔH spowodują dalsze nieodwracalne obniżenie indukcji. Podobną stabilizację własności układu uzyskuje się, gdy magnes, namagnesowany w obwodzie magnetycznym, wyjmie się z tego obwodu i w ten sposób zmieni się nachylenie przekątni, odpowiadającej nowemu punktowi pracy magnesu. Tego rodzaju zabieg wywołuje podobne zmiany jak na rys. 7 i powoduje stablilizację magnetyczną obwodu.

Ponieważ prawdopodobieństwo zewnętrznych zakłóceń wzrasta proporcjonalnie do logarytmu czasu, procentowy spadek pozornej pozostałości magnetycznej winien być proporcjonalny do logarytmu czasu. To teoretyczne ujęcie Néela znalazło potwierdzenie doświadczalne w pracy Kronenberga [23, 24], który zbadał procesy starzenia magnesów ze stali martenzytowej chromowokobaltowej, ze stopu Al-Ni oraz ze stopu Al-Ni-Co, przechładzanych w polu magnetycznym.

W celu dokładnego zbadania czasowych zmian pozornej pozostałości magnetycznej Kronenberg zastosował bardzo dokładną metodę balistyczną opracowaną przez Tenzera (dokładność 0,01%). Rys. 8 przedstawia procentowy spadek (w ‰) pozornej pozostałości magnetycznej w zależności od amplitudy odmagnesowującego zmiennego pola magnetycznego. Przebieg tych zależności można by przewidzieć z przebiegu krzywych odmagnesowania tych materiałów. Warto przy tym zaznaczyć, że czułość na rozmagnesowujące działanie pól zmiennych nie jest w szerokim zakresie pól odwrotnie proporcjonalna do natężenia koercyjnego. Pokazuje to rys. 9 na którym naniesiono procentowe zmiany pozornej indukcji magnetycznej magnesu sztabkowego w zależności od zmiennego natężenia pola rozmagnesowującego obliczonego w stosunku do natężenia koercyjnego badanego materiału na magnesy.

W zakresie pól zmiennych do 0,15 H_c czułość na rozmagnesujące działanie obydwu stopów Al-Ni i Al-Ni-Co jest jednakowa i dopiero powyżej tego zakresu pola zmienne działają różnie na obydwa stopy. Czułość stopu martenzytowego jest znacznie większa mimo uwzględnienia niskiej wartości natężenia koercyjnego. Duża czułość na rozmagnesowanie prądem zmiennym uwarunkowana jest zatem nie tylko małą wartością natężenia koercyjnego, lecz gra tutaj również rolę kształt krzywej odmagnesowania.

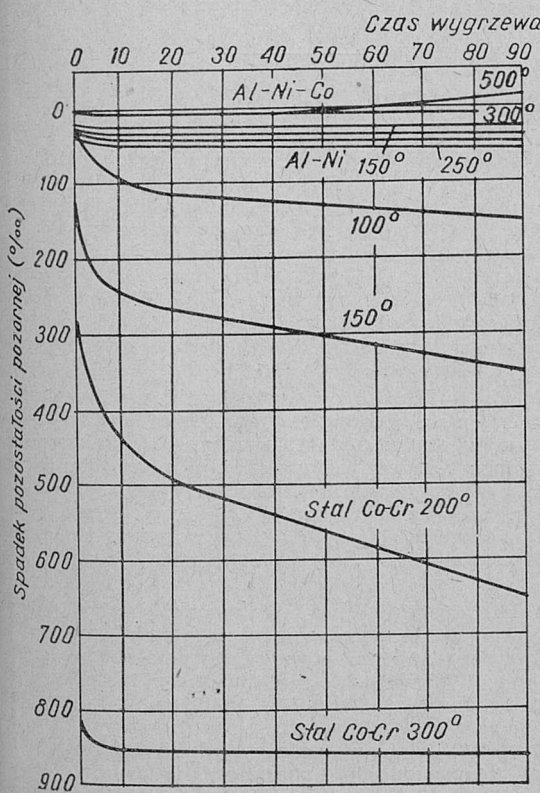
Kronenberg zbadał również zmiany pozornej pozostałości w zależności od liczby kolejnych rozmagnesowań prądem zmiennym o tej samej amplitudzie. Stwierdził on, że jeżeli wyłączyć zmianę wywołaną pierwszym rozmagnesowaniem, to zmiany przy dalszych rozmagnesowaniach są znacznie mniejsze i wzrastają proporcjonalnie do logarytmu liczby rozmagnesowań (rys. 10). Podobne wyniki otrzymano w przypadku rozmagnesowania prądem stałym.

Badano również wpływ uderzeń czy wstrząsów na zmiany pozornej pozostałości. I w tym przypadku zmiany te okazały się proporcjonalne do logarytmu liczby wstrząsów i są szczególnie duże w przypadku magnesów ze stali martenzytowej. Wyczerpujące badania przeprowadzono również nad stałecznością strukturalną magnesów w temperaturach podwyższonych. Ogólny pogląd na wpływ, który podwyższona temperatura wywiera na starzenie się próbek magnesów trwałych, dają rys. 11 i 12.

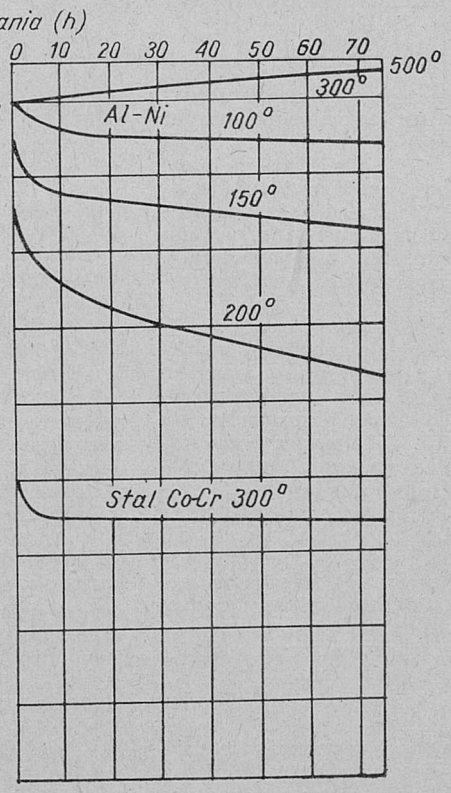
Wynika stąd, że duży spadek pozostałości magnetycznej w przypadku stali chromowo-kobaltowej pochodzi ze starzenia strukturalnego, która uwidocznia się już wyraźnie w temperaturze 100°C, a w temperaturach wyższych dochodzi do daleko posuniętego zmiękczenia stali. Wtedy jednak pętla histerezy staje się bardziej smukła, natężenie koercyjne maleje, a pozostałość magnetyczna wzrasta. Przy odpowiednim doborze punktu pracy magnesu można pomimo zmian struktury magnesu zachować stałą wartość pozornej indukcji. Ogólny spadek pozostałości magnetycznej próbek Al-Ni jest blisko dziesięciokrotnie mniejszy, próbek Al-Ni-Co blisko 50-krotnie mniejszy od spadku dla stali martenzytowej. Zmiany te nie są jednak spowodowane zmianami struktury aż do zakresu temperatur (500° — 600°C), lecz jest to czyste starzenie magnetyczne proporcjonalne do logarytmu czasu. Podobne wyniki uzyskano również przy starzeniu w niskich temperaturach (—185°C). Przy podwyższeniu temperatury magnesu jego krzywa odmagnesowania obniża się, przy oziębieniu podnosi się, co wiąże się ze zwiększeniem lub zmniejszeniem ruchu cieplnego. Ogrzanie magnesu trwałego obniża jego strumień, a oziębienie do pierwotnej temperatury namagnesowania nie przywraca pierwotnej wartości strumienia, pozostaje bowiem strata nieodwracalna.

Materiały utwardzane dyspersyjnie, ale obrabialne mechanicznie można nagrzewać w ciągu dłuższego czasu bez obawy zmian strukturalnych do temperatur 250° — 300°C [25]. Natomiast nawet krótkotrwałe podgrzanie tych materiałów powyżej punktu Curie wywołuje rozmagnesowanie próbki — nie zawsze powodując wyraźne zmiany strukturalne.

W końcu warto omówić wyniki starzenia się magnesów przy przechowywaniu ich w warunkach przemysłowych. Magnesy



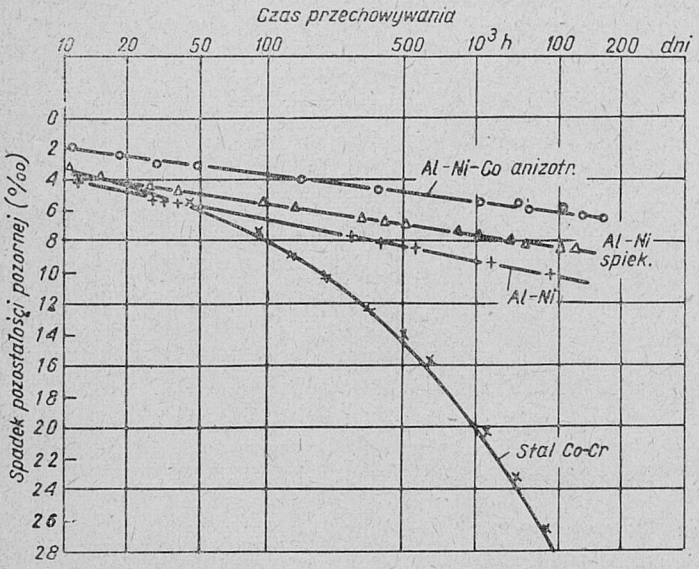
Rys. 11. Wpływ czasu starzenia w wyższych temperaturach na spadek pozornej pozostałości magnetycznej (wg Kronenberga)



Rys. 12. Zmiany pozornej pozostałości magnetycznej spowodowane zmianami strukturalnymi stopu wskutek starzenia w wyższych temperaturach (wg Kronenberga)

układano we wzajemnej odległości 23 cm na półkach nie zawierających żelaza w pomieszczeniu o wahaniach temperatury od 15 do 25°C. Rys. 13 przedstawia typowe krzywe starzenia dla magnesów, które po namagnesowaniu nie podlegały żadnym innym zabiegom. W przypadku stopów Al-Ni i Al-Ni-Co otrzymuje się proporcjonalność między procentową zmianą pozostałości a logarytmem czasu, w przypadku zaś stali martenzytowej nastąpiło silne zakrzywienie.

W przypadku stabilizowania magnesów przed przechowywaniem okazało się, że spadek pozostałości pozornej proporcjonalny do logarytmu czasu był tym mniejszy, im większe było wstępne rozmagnesowanie. Jeżeli to wstępne rozmagnesowanie przejdzie pewną granicę, to w przechowywanych magnesach występuje wzrost pozornej pozostałości z logarytmem czasu. Można zatem zastosować takie rozmagnesowanie stabilizujące,



Rys. 13. Zależność zmian pozornej pozostałości magnetycznej od czasu przechowywania magnesów po ich namagnesowaniu (wg Kronenberga)

po którym przy przechowywaniu magnesów nie następują praktycznie zmiany strumienia indukcji. Wiele magnesów i obwodów magnetycznych zmienia strumień magnetyczny z powodu zmian oporności magnetycznej. Zmiany szczeliny powietrznej, wywołane rozszerzalnością cieplną elementów obwodu, wstrząsami i innymi czynnikami pociągają za sobą zmiany oporności i związane z tym zmiany strumienia. Zmiany te wielokrotnie przypisuje się niesłusznie starzeniu się magnesu; zwiększenie szczeliny powietrznej przesuwa punkt pracy magnesu również z punktu P do punktu P' (rys. 7). Gdy wymiary szczeliny wracają do stanu początkowego punkt P' przesuwa się wzdłuż dolnej gałęzi małej pętli do P''. Cykliczne zmiany wymiarów szczeliny powodują posuwanie się punktu pracy magnesu po powoli opadających małych pętlach. Po 5 — 6 cyklach następuje praktycznie biorąc stabilizacja, a ostateczny punkt pracy przypada na przekątnej OP, a nie na krzywej odmagnesowania. Tego rodzaju stabilizacja jest konieczna, gdy urządzenie wymaga dużej stałości (w czasie) strumienia magnetycznego w szczelinie. Stopień stabilizacji należy dobrać tak, by wywołane rozmagnesowanie było nieco większe od przewidywanych wpływów czynników zewnętrznych. Zabieg ten usuwa nieodwracalną część zmian strumienia.

5. Zastosowanie magnesów trwałych.

Pod względem zakresu zastosowania magnesy można podzielić na następujące grupy:

a) magnesy służące do zamiany energii mechanicznej na elektryczną (małe prądnice prądu stałego, magnesy do hamowania i tłumienia, tachometry na zasadzie prądów wirowych, fonografy);

b) magnesy służące do zamiany energii elektrycznej na mechaniczną (silniczki elektryczne prądu stałego, przyrządy pomiarowe, głośniki, słuchawki telefoniczne itp.);

c) magnesy wykorzystujące własności przyciągające (magnetyczne separatory, magnesy do oczyszczania olejów łożyskowych i wody szlifierskiej, różne typy uchwytów, urządzenia sprzęgające do przekazywania momentu obrotowego, busole, magnesy lekarskie i dentystyczne);

d) magnesy do wstępnego magnesowania magnetycznie miękkich obwodów (przekaźniki spolaryzowane, wzmacniacze prądu stałego);

e) magnesy do kierowania ruchem cząstek naładowanych (soczewki magnetyczne, magnesy skupiające wiązki elektronów, magnesy do odchylania jonów, magnesy do układu magnetronowego).

Szczegółowy przegląd technicznie stosowanych typów magnesów podał Hennig [26].

Z nowych zastosowań warto zwrócić uwagę na nowe rozwiązania magnesów do przyrządów pomiarowych podanego — z dość szczegółową analizą układu — przez Merza [27].

Nowoczesne materiały na magnesy nie tylko zmniejszyły wymiary magnesu w klasycznych przyrządach pomiarowych z ruchomą cewką, lecz umożliwiły umieszczenie magnesu we wnętrzu ruchomej cewki. W klasycznym rozwiązaniu magnes w kształcie podkowy lub pierścienia znajduje się zewnątrz, w jego cylindrycznej szczelinie porusza się cewka, a wewnątrz tej cewki znajduje się rdzeń z miękkiego żelaza. W rozwiązaniu nowym obwód magnetyczny jest odwrócony: wewnątrz cewki umieszcza się magnes, a na zewnątrz cewki znajduje się cylindryczny pierścień zamykający z miękkiego żelaza. Układ taki zajmuje znacznie mniej miejsca, zużywa mało materiału na magnesy, zmniejsza rozproszenie strumienia magnesu i jest mało czuły na wpływy zewnętrznych zakłóceń magnetycznych. Pewne trudności przedstawia rozkład indukcji magnetycznej w szczelinie.

Jako materiału na magnesy używa się ze względu na małe wymiary magnesu stopów Al-Ni, Cu-Ni-Co, Cu-Ni-Fe lub Al-Ni-Co z dodatkiem tytanu. Szerokie zastosowanie, poza przemysłem elektrotechnicznym, znajdują magnesy w przemyśle metalowym jako uchwyty magnetyczne różnych typów do podnoszenia i uchwyty płytowe do szlifowania [28].

Przy obliczaniu sił przyciągających rozróżnia się dwa przypadki: dokładne przyleganie przedmiotu do magnesu oraz działanie magnesu z odległości. W pierwszym przypadku siła przyciągania P wyrażona w kilogramach oblicza się ze wzoru:

$$P = \frac{4{,}04 \cdot B^2 \cdot S}{10^8} \tag{5}$$

gdzie B — indukcja magnesu (Gs)
S — powierzchnia magnesu (cm^2).

Wzór ten można stosować również w drugim przypadku, tylko zamiast indukcji B podstawi się we wzorze (5) natężenie pola magnetycznego w miejscu przyciąganego przedmiotu. Przy indukcji 10^3 Gs 1 cm^2 magnesu przyciąga dokładnie przylegając powierzchnię z siłą 4 kg; gdy uwzględni się choćby małą szczelinę siła ta spadnie do ~ 3 kg. Do wytwarzania tej siły potrzebny jest magnes o ciężarze około 15 G. Względy ekonomiczne ograniczają jednak tę dziedzinę zastosowań do sił ok. 100 kG, ponieważ do wytwarzania większych sił magnesy trwałe byłyby zbyt kosztowne.

Poważną poprawę obrazów telewizyjnych uzyskano przez zastosowanie magnesu trwałego odpowiedniej konstrukcji do odchylania jonów oraz układu dwu magnesów do skupiania wiązki elektronów w rurze telewizyjnej. W przypadku drugim zastosowano z powodzeniem ferryt barowy [29, 30]. Magnetyczne zawieszenie zastosowano do podtrzymywania tarczy nowoczesnego licznika energii [31], usuwając w ten sposób łożyskowanie mechaniczne, w którym w miarę jego ścierania wzrastały siły tarcia.

Ponieważ w zawieszeniu stosuje się magnesy małych wymiarów, magnesuje się je przed wmontowaniem. Ponieważ nie mogą one być wrażliwe na magnetyczne pola prądów sieciowych, do tych celów stosuje się magnesy obrabiane mechanicznie o wysokiej wartości natężenia koercyjnego (Cu-Ni-Co IV).

W związku z tak licznymi zastosowaniami magnesów trwałych i dużą różnorodnością materiałów na magnesy trwałe powstaje pytanie, jakie materiały należy stosować w poszczególnych przypadkach. W sprawie tak ważnego zagadnienia nie można dać jasnej odpowiedzi. W dziedzinie mangesów trwałych nie można pewnej dziedzinie zastosowań przeznaczyć materiałów o określonej charakterystyce. Przyczyną tego jest duża różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych układów magnesowych do tego samego celu. Ze względów ekonomicznych stosuje się rzadko same magnesy; zazwyczaj stosuje się układy złożone z magnesów trwałych i materiałów magnetycznie miękkich. Kształt układu oraz odpowiedni dobór materiałów na poszczególne magnesy uzależniony jest od założeń konstrukcyjnych i od konstrukcyjnego rozwiązania układu.

6. Obliczanie magnesów.

Przy ekonomicznym projektowaniu magnesów, rzeczą pierwszorzędnej wagi jest wybór odpowiedniego materiału na podstawie charakterystyk podanych w rozdz. 1. Następną sprawą jest zaprojektowanie magnesu o jak najmniejszej objętości, zapewniającego żądane natężenie pola w szczelinie. Gdy nie uwzględnia się rozproszenia, wówczas łatwo znaleźć związki między wymiarami, natężeniem pola w szczelinie a własnościami magnetycznymi materiału. Ze wzorów (1) i (2) podanych w rozdz. 1 otrzymuje się następujące związki między wartościami bezwzględnymi:

$$H_s \cdot l_s = H_m \cdot l_m \quad \text{i} \quad H_s \cdot S_s = B_m \cdot S_m;$$

stąd

$$\text{tg}\ \delta = \frac{B_m}{H_m} = \frac{S_s}{S_m} \cdot \frac{l_m}{l_s}. \tag{6}$$

Wzór (6) daje nachylenie przekątnej punktu pracy magnesu ze szczeliną do osi H. Indukcja w strefie obojętnej magnesu jest zatem równa:

$$B_m = H_s \cdot \frac{S_s}{S_m}, \tag{7}$$

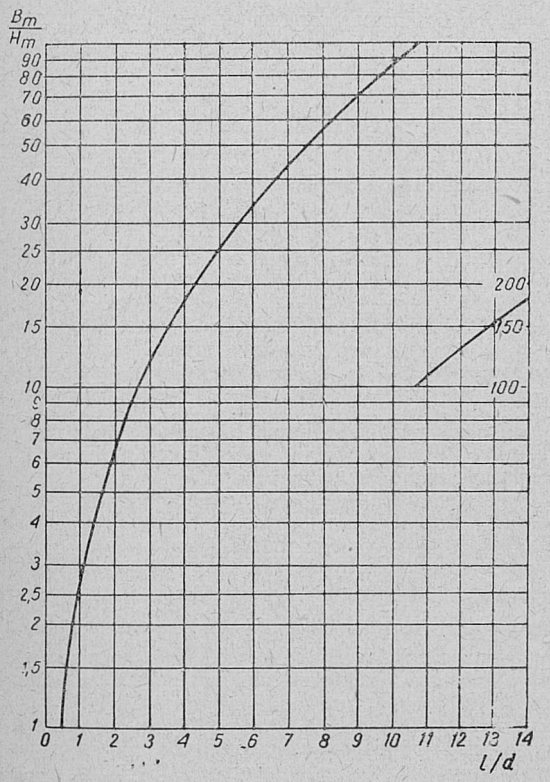
a pole odmagnesowujące magnes

$$H_m = \frac{B_m}{\text{tg}\ \delta} = B_m \cdot \frac{S_m \cdot l_s}{S_s \cdot l_m}. \tag{8}$$

Objętość magnesu oblicza się wówczas ze wzoru:

$$V_m = S_m \cdot l_m = \frac{H_s^2 \cdot S_s \cdot l_s}{B_m \cdot H_m}. \tag{9}$$

Wzoru powyższego nie stosuje się do projektowania magnesów, ponieważ nie uwzględnia on wpływu stabilizacji magnetycznej ani rozproszenia. Stabilizacja magnesu przesuwa punkt pracy (rys. 7) do punktu P'' i magnes nie pracuje wówczas w najkorzystniejszym punkcie pracy (B_m, H_m) o iloczynie energii $(BH)_{max}$. Wynika stąd, że stabilizację układu dokonuje się kosztem powiększenia objętości magnesu [32, 33]. Na krzywych odmagnesowania (rys. 3 — 6) zaznaczono czarną kropką najkorzystniejsze punkty pracy charakterystyczne dla omawianych materiałów, jak również odpowiadające im przekątnie.



Rys. 14. Krzywa zależności ilorazu B_m/H_m od stosunku wymiarowego l/d cylindrycznych magnesów sztabkowych

Pozostaje do rozpatrzenia zagadnienie powiązania stosunku B_m/H_m z wymiarami magnesu i jego przenikalnością. Dla magnesów sztabkowych o kołowym przekroju poprzecznym stosunek B_m/H_m zależy od stosunku długości magnesu (l) do jego średnicy (d), czyli $m = l/d$ oraz w pewnym stopniu od przenikalności materiału. Zależności te podał dość szczegółowo Bozorth i Chapin [34], gdzie w skali podwójnie logarytmicznej przedstawiono zależność współczynnika odmagnesowania próbek cylindrycznych o różnej przenikalności $\left(N/4\pi = \frac{H_m}{B_m}\right)$ od stosunku wymiarowego $m = l/d$. Na rys. 14 podano krzywą zależności ilorazu B_m/H_m od stosunku wymiarowego $m = l/d$ sztabkowych magnesów cylindrycznych [33]. Krzywa ta nie uwzględnia jednak zależności od przenikalności materiału magnesu.

Wykresem tym można posługiwać się również w przypadku sztabkowych próbek o przekroju prostokątnym S, przy czym równoważną średnicę oblicza się ze wzoru:

$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}. \tag{10}$$

Dla magnesów w kształcie podkowy długość (l) jest równa średniej drodze wzdłuż linii indukcji wewnątrz magnesu, d zaś oblicza się ze wzoru (10).

Powyższe równania zmieniają się, gdy uwzględnia się rozproszenie w obwodzie magnetycznym. Wzory (1) i (2) przybierają wówczas postać:

$$H_m \cdot l_m = f \cdot H_s \cdot l_s. \tag{11}$$

$$B_m \cdot S_m = F \cdot H_s \cdot S_s, \tag{12}$$

gdzie f — współczynnik oporu, zmieniający się w granicach od 1,1 do 1,4;

F — współczynnik rozproszenia określony jako stosunek całkowitej indukcji w strefie obojętnej magnesu do indukcji w szczelinie (rys. 15). Wartość współczynnika F zmienia się w szerokich granicach (1,5 do 10, a czasem nawet do 100).

Uwzględniając rozproszenia otrzymujemy:

$$B_m/H_m = \frac{F \cdot S_s \cdot l_m}{f \cdot S_m \cdot l_s}, \tag{13}$$

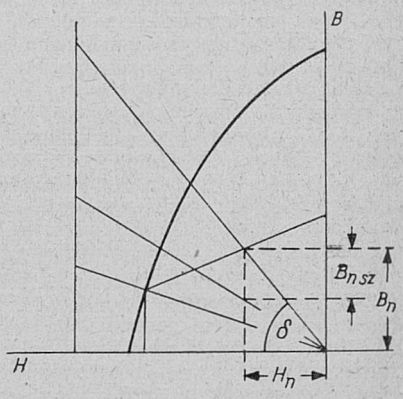
a objętość magnesu:

$$V_m = \frac{f \cdot F \cdot H_s^2 \cdot V_s}{B_m \cdot H_m}. \tag{14}$$

Po stabilizacji objętość magnesu jest równa

$$V_m = \frac{f \cdot F \cdot H_s^2 \cdot V_s}{B_n \cdot H_n} \tag{15}$$

Najmniejsza objętość magnesu (V_m) dla określonej wartości natężenia pola magnetycznego w szczelinie zależy zarówno od iloczynu energii $B_n \cdot H_n$, jak i od współczynników f i F. Gdy używa się stabilizacji automatycznej przez zmianę wymiarów szczeliny, wzrastają współczynniki f i F oraz iloczyn $B_n \cdot H_n$. Zazwyczaj przyjmowano przy projektowaniu magnesów, że nachylenie małych pętli (μ_p) jest stałe dla danego materiału. Jednakże dla niektórych — obecnie dość powszechnie używanych stopów (np. Al-Ni-Co V i Al-Ni-Co VI) — nachylenie małych pętli nie jest stałe w całym zakresie krzywej odmagnesowania i może zmieniać się znacznie. Stwierdzono na przykład, że w przypadku stopu Al-Ni-Co V wartości najmniejsze i największe μ_p różnią się o 220%, a najkorzystniejsze objętości magnesu zmieniają się w związku z tym o ~ 35% [35]. Szczegółowe badania wykazały, że w celu obliczenia średniej wartości nachylenia małych pętli (μ_p) należy uwzględniać jedynie wartości μ_p dla ograniczonego obszaru krzywej odmagnesowania. Górna granica tego obszaru leży w punkcie największej wartości iloczynu energii $(BH)_{max}$, dolna może dochodzić do punktu przecięcia krzywej odmagnesowania z osią H. Ziegler podał te obszary dla stopów Al-Ni-Co V, VI i XII, uwzględniając zarówno stabilizację naturalną, jak i stabilizację przez zastosowanie zewnętrznego pola magnetycznego.



Rys. 15. Ilustracja sposobu obliczania magnesów z uwzględnieniem rozproszenia

Stwierdził on, że największe zmiany nachylenia małych pętli występują poza omawianym obszarem tak, że obliczona dla obszaru średnia niewiele różni się od wartości największej i najmniejszej dla tego obszaru. Uwzględnienie tych faktów pozwala według Zieglera na bardziej dokładne analityczne ujęcie zagadnienia projektowania magnesów trwałych.

Inne ujęcie problemu rozproszenia w magnetycznym obwodzie zamkniętym podaje Sanford [32]. Siła magnetomotoryczna w części obwodu magnetycznego na zewnątrz magnesu równa $H_m \cdot l_m$, gdy punkt leży na krzywej odmagnesowania, lub $H_n \cdot l_m$, gdy jest on na małej pętli, wytwarza strumień zewnętrzny, który można uważać jako złożony z trzech równoległych części. Jedną część stanowi strumień w szczelinie powietrznej, drugą — strumień rozproszony między ramionami magnesu, trzecią — strumień między powierzchniami nabiegunników. Oznaczając odpowiednie przewodności magnetyczne przez P_{sz}, P_{rm}, P_{rn}, otrzymujemy:

$$B_n \cdot S_m = H_n \cdot l_m (P_{sz} + P_{rm} + P_{rn}); \tag{16}$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{B_n}{H_n} = \frac{l_m}{S_m}(P_{sz} + P_{rm} + P_{rn}); \tag{17}$$

oznaczając $\frac{S_m}{l_m} = P_m$, otrzymujemy:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{B_n}{P_n} = \frac{P_{sz}}{P_m} + \frac{P_{rm}}{P_m} + \frac{P_{rn}}{P_m}. \tag{18}$$

Wynik ten przedstawiono na rys. 15. Całkowity strumień w strefie obojętnej magnesu dzieli się zatem między szczeliną i przestrzenią rozproszenia w prostym stosunku do przewodności, a $\frac{B_n}{B_{nsz}} = F$.

Żeby ująć to zagadnienie ilościowo, trzeba powyznaczać wartości przewodności. Dość często przyjmuje się:

$$P_{rsz} = \frac{S_s}{l_s}, \quad P_{rm} = \frac{l_m}{2},$$

natomiast P_{rn} oblicza się według przybliżonych wzorów matematycznych uwzględniających wymiary nabiegunników.

Uzupełnienia wymaga jeszcze planowanie i obliczanie magnesów o dużym natężeniu koercyjnym magnetyzacji (koercji właściwej), powyżej 750 Oe.

Materiały tego typu powinno się stosować w tych przypadkach, gdy chwilowe pola odmagnesowujące są tak duże, że zmieniają znak indukcji, a mimo to po usunięciu czynnika zewnętrznego magnes wraca do użytecznego punktu pracy. Przypadek ten występuje w wirnikach z magnesów trwałych małych prądnic, narażonych na zwarcie w obwodzie zewnętrznym oraz silników podczas rozruchu. Paine i Mendelsohn [36] podają przykład zastosowania magnesu ze stopu „silmanal" w przyrządzie do pomiaru natężenia pola magnetycznego do 5000 Oe. W przyrządzie tym magnes poddany jest rozmagnesowującemu działaniu pola do 5000 Oe. Jak wynika z tabl. IV, $_BH_C$ dla silmanalu jest równe 550 Oe, $_IH_C$ = 6000 Oe i chociaż w polu 5000 erstedów punkt pracy magnesu znajduje się w trzecim kwadrancie obiegu histerezy, to magnes nie przemagnesuje się z powodu wysokiej wartości $_IH_C$.

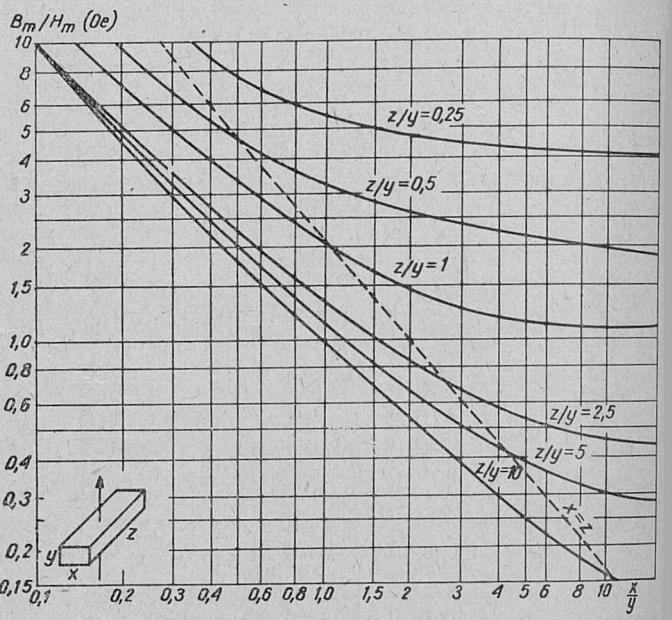
Ważnym zastosowaniem materiałów na magnesy trwałe o dużym $_IH_C$ są magnesy bardzo krótkie o stosunku długości do średnicy bliskim jedności. Paine i Mendelsohn [18] podali wykres (rys. 16) zależności stosunku B_m/H_m dla krótkich magnesów o przekroju prostokątnym od stosunku wymiarowego x/y, dla różnych wartości z/y, gdy magnes magnesuje się w kierunku osi y. Znając krzywą odmagnesowania (rys. 3—6) oraz B_m/H_m (rys. 16), można łatwo wyznaczyć wartość indukcji magnetycznej w strefie obojętnej magnesu o żądanych wymiarach.

7. Magnesowanie magnesów.

Do magnesowania magnesów lub całych obwodów używa się urządzeń, które zapewniają siłę magnetomotoryczną wystarczającą do doprowadzenia magnesu do stanu nasycenia. Magnesowanie w słabszym polu obniża wartość wielkości magnetycznych, co szczególnie wyraźnie występuje po stabilizacji magnesu lub zespołu. Jako orientacyjną zasadę przyjmuje się, że — w zależności od przebiegu krzywej odmagnesowania — natężenie magnesujące powinno być równe 5 — 10-krotnej wartości natężenia koercyjnego. W przypadku magnesów anizotropowych natężenie pola może być nawet mniejsze.

Urządzenia do magnesowania to w większości przypadków odpowiednio przystosowane elektromagnesy, zasilane z prądnic prądu stałego. W celu stabilizacji własności należy przemagnesować magnes 5 — 6 razy. W celu lepszego ułożenia obszarów spontanicznej magnetyzacji Weissa i wyrównania rozmieszczenia strumienia można na magnesujące stałe pole magnetyczne nałożyć pole zmienne o malejącej amplitudzie.

Elektromagnesów używa się do magnesów o kształtach, pozwalających na łatwe doprowadzenie do nich niemal całego strumienia magnetycznego z nabiegunników. W przypadku magnesów o małej szczelinie stosuje się magnesowanie impulsowe, przepuszczając przez szynę miedzianą, która przechodzi w środku magnesu, impuls prądu dochodzący do 40 000 amperów. Impulsy takie uzyskiwano poprzednio przez wyładowanie baterii kondensatorów. Obecnie najczęściej stosuje się transformatory impulsowe. Jarzmo takiego transformatora — odpowiednich wymiarów — magnesuje się do stanu nasycenia za pomocą prądu stałego płynącego w uzwojeniu pierwotnym. Specjalny wyłącznik przerywa prąd w kilku miejscach uzwojenia, a powstające ewentualnie łuki wygasza się natychmiast odpowiednio umieszczonymi magnesami. Po wyłączeniu następuje szybki zanik strumienia w jarzmie, co indukuje w zwoju



Rys. 16. Wartości B_m/H_m dla krótkich magnesów sztabkowych w zależności od stosunku x/y dla różnych wartości z/y

wtórnym impuls prądu o dużym natężeniu. Ostatnio transformatory impulsowe pracują w specjalnym układzie ignitronowym zasilanym prądem zmiennym. Magnesy sztabkowe można również magnesować impulsami, trzeba jednak odpowiednio ukształtować wtórny zwój magnesujący. W przypadku magnesów o dużej objętości należy przy magnesowaniu impulsowym powtarzać zabieg kilkakrotnie w celu wyeliminowania ekranującego działania warstwy powierzchniowej magnesu.

8. Uwagi końcowe i wnioski.

1) Analiza tablic i wykresów wskazuje, że pozostałość magnetyczna szeroko stosowanych materiałów zwiększyła się z 10 000 do 13 500 Gs, natężenie koercyjne od 50 do 1000 Oe, a iloczyn energii $(BH)_{max}$ od $0{,}2 \cdot 10^6$ do $8 \cdot 10^6$ Gs.Oe. Wzrost ten w zakresie materiałów obrabialnych i magnesów lanych uwarunkowany jest dość znaczną zawartością metali deficytowych, jak kobalt i nikiel.

2) Usiłowania zastąpienia tych materiałów tańszymi i nie zawierającymi tych dodatków zostały uwieńczone powodzeniem na drodze metalurgii proszków. Dotyczy to ferrytu barowego oraz prasówek z ultradrobnych proszków żelaza, tak zwanych magnesów typu Neela.

3) Wstępne prace w tych kierunkach przeprowadzono już w Instytutcie Metali Nieżelaznych i Instytucie Metalurgii.

4) W związku z powyższym należałoby podjąć zaplanowane na dłuższy czas prace z zakresu poszukiwania stopów i związków o takich strukturach fazowych i krystalograficznych, które wymagałyby na magnesy trwałe materiałów łatwiej obecnie dostępnych.

5) W chwili obecnej technika rozporządza szeroką rozpiętością materiałów na magnesy trwałe. Należałoby przeprowa-

dzić dokładną analizę ekonomicznego wyzyskania tych materiałów w różnych dziedzinach produkcji przemysłowej oraz nauki.

6) Wydaje się rzeczą konieczną zaplanować i rozpocząć prace konstrukcyjne nad przekonstruowaniem obwodów stosowanych obecnie w produkcji. Należałoby rozważyć możliwości szerokiego stosowania ferrytu barowego w celu częściowego wyrugowania magnesów z trudno dostępnych surowców.

7) Na konferencji materiałoznawczo-surowcowej należy przede wszystkim przedyskutować:

a) zagadnienie ekonomicznego stosowania materiałów na magnesy w chwili obecnej,

b) możliwości szerszego stosowania magnesów zarówno w przemyśle elektrotechnicznym, jak i w przemyśle metalowym,

c) obecny stan prac nad projektowaniem i obliczaniem magnesów i w związku z tym również wymagania stawiane producentom magnesów,

d) stan zapotrzebowania materiałów na magnesy nie produkowane dotąd w kraju lub których produkcja nie jest dotąd zupełnie zadowalająca.

LITERATURA

[1] Köster W. — Arch. Eisenhüttenw. 6, 1932/33, 17; Stahl u. Eisen, 52, 1932, 692.
[2] Köster W. — Stahl u. Eisen., 53, 1933, 849.
[3] Oliver D., Shedden J. — Nature, 142, 1938, 209.
[4] Urk A. — Phil. Techn. Rundsch., 5, 1949, 143.
[5] Jellinghaus W. — Techn. Mitt. Krupp. A. Forsch. Ber., 3, 1940, 143.
[6] Zumbusch W. — Arch. Eisenhüttenw., 16, 1942/43, 101.
[7] Hadfield D. — Nature, 162, 1948, 799.
[8] Liwszic B. — Wysokokoercitiwnyje spławy, Moskwa, 1945, 97.
[9] Ebeling D., Burr A. — Trans. A. I. M. E. J. of Metals, 3, 1953, 537.
[10] Dannöhl W. — Z. Metallkunde, 70, 1938, 90.
[11] Dannöhl W., Neumann H. — Z. Metallkunde, 30, 1938, 217.
[12] Nesbitt E. Kelsall G. — Phys. Rev., 58, 1940, 203.
[13] Nesbitt E. — Trans. Am. Inst. Min. Met. Engr., 166, 1946, 415.
[14] Kussmann A., Graf L. — Phys. Zeit., 36, 1935, 544.
[15] Jellinghaus W. — Z. Techn. Phys., 17, 1936, 33.
[16] Newkirk J. Geisler A., Martin D., Smoluchowski R. — J. of Metals, 188, 1950, 249.
[17] Martin D., Geisler A. — J. Appl. Phys., 24, 1953, 498.
[18] Paine T., Mendelsohn L. — Electrical Engineering, 73, 1954, 891.
[19] Hadfield D. — Metal Treatment and Drop Forging, 1954, 15.
[20] Heidenreich R., Nesbitt E. — J. Appl. Phys. 23, 1952, 352.
[21] Nesbitt E., Heidenreich R. — J. Appl. Phys., 23, 1952, 366.
[22] Nesbitt E., Heidenreich R. — Rev. Mod. Phys., 25, 1953, 322.
[23] Kronenberg K. — Zeit f. Angew. Phys., 5, 1953, 321.
[24] Kronenberg K. — Arch. Eisenhüttenw., 24, 1953, 441.
[25] Studders R. — Prod. Eng., 19, 1948, 129.
[26] Hennig G. — Dauermagnettechnik, 1952, 95.
[27] Merz L. — A. T. M. J., 721 — 9, 1948, 76.
[28] Fahlenbrach H. — Metall, 7, 1953, 413.
[29] Niklas W. — Philips Techn. Rev., 15, 1954, 258.
[30] Verhoef J. — Philips Techn. Rev., 15, 1954, 214.
[31] Paine T., Mendelsohn L. — l. c.
[32] Sanford R. — Przegląd Telekomunikacyjny, 16, 1949, 279 i 336.
[33] Ireland J. — Machine Design, 21, 1949, IV, 153.
[34] Bozorth R., Chapin D. — J. Appl. Phys., 13, 1942, 320.
[35] Ziegler H. — Electrical Engineering, 72, 1953, 445.

DOC. MGR INŻ. WŁADYSŁAW RUTKOWSKI
Instytut Metali Nieżelaznych

Nowoczesne proszkowe materiały magnetyczne w przemyśle energo- i teleelektrycznym

621.775.7:621.318.2:621.3

Treść. Podział proszkowych materiałów magnetycznych. Technologia magnesów trwałych wykonanych metodami metalurgii proszków. Możliwości zastosowań magnesów spiekanych z punktu widzenia konstrukcyjnego. Własności magnesów proszkowych. Magnesy trwałe z nabiegunnikami. Proszkowe materiały magnetycznie miękkie. Rdzenie z proszku karbonylkowego. Alsifery. Ferryty. Sytuacja w kraju na polu proszkowych materiałów magnetycznych.

1. Wstęp.

Interesujące elektro- i teletechnikę materiały magnetyczne, wytwarzane z proszków, można podzielić na magnesy trwałe i materiały magnetycznie miękkie. Te materiały magnetycznie miękkie i twarde mają niejednokrotnie własności znacznie lepsze lub inne niż dotąd stosowane materiały lite i dlatego zasługują na bliższe zapoznanie się z ich własnościami i technologią wytwarzania. Odmienność własności magnetycznych tego rodzaju tworzyw wymaga niejednokrotnie od konstruktora zmiany kształtu i wymiarów danego elementu, jednak wyniki osiągane przy ich stosowaniu są zachęcające, a przykład krajów wysoko uprzemysłowionych, które wprowadzają je w coraz nowym zakresie, dowodzi korzyści, wynikających z ich wyzyskania.

2. Magnesy trwałe, wytwarzane metodami metalurgii proszków.

Wytwarzanie magnesów trwałych metodą metalurgii proszków rozwinęło się niedawno, jako uzupełnienie produkcji magnesów odlewanych.

Magnesy, zawierające aluminium, wytwarza się przeważnie metodą odlewania, gdyż ze względu na ich kruchość nie można ich obrabiać mechanicznie. Jedynym rodzajem obróbki mechanicznej może być tutaj szlifowanie. Lecz obróbka ta powoduje nieraz powstawanie pęknięć, co czyni gotowe już magnesy niezdatnymi do użytku. Poza tym magnesy takie są kruche i trzeba obchodzić się z nimi ostrożnie, aby nie wykruszyć naroży, a zamocowanie ich w jakiejś aparaturze przedstawia — wobec niemożności nacinania gwintów — poważny problem.

Stopy na magnesy trwałe są poza tym trudnolejne i mają skłonność do tworzenia pęcherzy. Powstające w ten sposób straty masy magnetycznej obniżają użyteczną moc magnesu i mogą spowodować całkowitą jego nieprzydatność. Występuje to szczególnie jaskrawo w małych magnesach, a przecież ze względu na wysokie własności magnetyczne nowoczesnych magnesów wymiary magnesów są przeważnie niewielkie. Dlatego też zastosowanie metalurgii proszków w dziedzinie wytwarzania magnesów trwałych dotyczy przede wszystkim magnesów małych. Magnesy te dają się poza tym — dzięki drobnoziarnistej strukturze osiąganej w czasie spiekania — lepiej obrabiać mechanicznie, a nawet gwintować.

Ostatnią zaletą zastosowania metod metalurgii proszków do wytwarzania spiekanych magnesów trwałych jest możliwość wytwarzania magnesów z nabiegunnikami ze spiekanego materiału magnetycznie miękkiego.

Pierwszym gatunkiem magnesów trwałych, które zaczęto wytwarzać z proszków, były tzw. tromality. Są to magnesy wyrabiane z proszku odpowiedniego stopu wiązanego bakelitem. Spiekania nie stosuje się przy wyrobie tych magnesów, a jedynie prasowanie. Ze względu na stosunkowo poważną zawartość bakelitu i wynikające z tego powodu zmniejszenie masy magnetycznej magnesu, własności magnetyczne tych magnesów są o $\sim 30\%$ niższe od własności tychże magnesów odlewanych.

Wytwarzanie magnesów nie zawierających aluminium metodą metalurgii proszków nie nastręcza specjalnych trudności. Wprowadzenie aluminium powoduje poważne trudności przy wytwarzaniu magnesów trwałych metodą spiekania, proszek bowiem aluminium utlenia się bardzo łatwo i pokrywa cienką warstwą tlenku. Ta warstwa tlenku uniemożliwia dostateczne złączenie się poszczególnych ziaren w czasie spiekania.

Istnieją, teoretycznie rzecz biorąc, trzy możliwości uzyskania drogą spiekania odpowiedniego składu magnesu:

1) mieszanie składników stopowych w postaci proszków, prasowanie ich i spiekanie prasówek.

2) sproszkowanie kruchego stopu magnetycznego lub odpadków z odlewni magnesów, prasowanie i spiekanie,

3) prasowanie i spiekanie mieszaniny proszków, zawierającej część składników stopowych w postaci topionego i następnie sproszkowanego stopu wstępnego.

Pierwsza z tych metod jest trudna ze względu na dopiero co wymienione powłoki tlenku aluminium. Druga metoda stwarza poważne kłopoty przy prasowaniu, gdyż stop magnetyczny jest wprawdzie bardzo kruchy, ale i bardzo twardy i sprasowanie go na trwałą kształtkę nie udaje się nawet przy zastosowaniu bardzo wysokich ciśnień prasowania.

Jedynym, praktycznie możliwym do stosowania, jest sposób trzeci, polegający na wprowadzeniu do mieszaniny proszków

aluminium w postaci rozdrobnionego stopu wstępnego z żelazem lub niklem. Ten sposób stosuje się też obecnie najczęściej w technice. Tym sposobem wytwarza się też prawie wszystkie rodzaje magnesów trwałych spiekanych, zawierających aluminium w swym składzie.

Surowcem metalurgii proszków, a więc stosowanym i przy wytwarzaniu spiekanych magnesów trwałych, są proszki metali. Podstawowymi składnikami spiekanych magnesów trwałych są następujące proszki: żelaza, niklu, kobaltu, miedzi, tytanu i aluminium. Bez względu na to, jaki typ magnesu trwałego zamierzamy produkować, większość wymienionych proszków jest konieczna.

Każdy proszek metalu ma pewne charakterystyczne własności, które określają jego przydatność do danego zastosowania. Do tych własności należą: kształt ziarna, wielkość ziarna, skład chemiczny, sypkość, gęstość zasypu i gęstość zasypu z usadem.

Przegląd powyższych własności pozwala stwierdzić co następuje:

kształt ziarna jest uwarunkowany sposobem otrzymywania proszku;

proszki omawiane w dalszym ciągu referatu mają kształt dendrytyczny (proszki elektrolityczne), nieregularny i gąbczasty (proszki chemiczne) i strzępiasty (proszek mechanicznie rozdrabnianego stopu Al-Fe);

kształt ziaren bada się drogą obserwacji mikroskopowej;

proszki wymienionego kształtu prasują się dobrze;

wielkość ziarna wpływa na gęstość prasówek i spieku; wielkość tę bada się przy pomocy analizy sitowej (do 60 mikronów), poniżej tej wielkości — mikroskopem lub sedymentacyjnie; zalecane są mniejsze wielkości ziaren (poniżej 60 mikronów); skład chemiczny jest bardzo ważny i bada się go drogą analizy chemicznej ilościowej; sypkość i gęstość zasypu mają znaczenie głównie przy automatycznym zasypie i masowej produkcji, bada się je przy pomocy specjalnych przyrządów.

Formowanie magnesów odbywa się z reguły przy zastosowaniu ciśnienia czyli przez prasowanie w matrycach. Zanim proszek dostanie się do matryc ustala się wagę poszczególnych składników, po czym proszek podlega długotrwałemu mieszaniu w młynkach kulowych lub specjalnych mieszalnikach. Dostateczne i skrupulatne wymieszanie jest bardzo ważne dla późniejszych własności spieku, gdyż zapewnia jego jednorodność, a więc również jednorodność jego własności magnetycznych.

W czasie mieszania proszków dodaje się do nich często jako dodatków tzw. środków poślizgowych. Są to zazwyczaj ciecze pochodzenia organicznego, jak benzyna, eter, kamfora rozpuszczona, gliceryna itp., które mają za zadanie ułatwić operację prasowania przez równomierniejszy rozkład ciśnienia w czasie prasowania i zmniejszenie tarcia pomiędzy ziarnami proszku oraz pomiędzy ziarnami proszku a ściankami matrycy.

Dodatek środka poślizgowego nie może wynosić na wagę więcej niż 1 — 2% z tego względu, że w przypadku większej jego zawartości, wpływa on ujemnie na gęstość spieku, rozkładając się w czasie spiekania w podwyższonych temperaturach. Szczególnie należy się wystrzegać tego przy spiekanych magnesach trwałych, zawierających aluminium, gdyż rozkładający się środek poślizgowy może zanieczyścić spiek węglem, co przy spiekanych magnesach trwałych jest połączone z utratą własności magnetycznych.

Proszek karbonylkowy wykazuje tendencję do tworzenia mostków, co powoduje nierównomierność zasypu do matryc i w efekcie daje prasówki o różnych wymiarach.

Zazwyczaj odważa się proszek na wadze automatycznej i zasypuje ręcznie do matryc. Inna metoda polega na tym, że proszek prasuje się wstępnie na pręty 60 mm × 20 mm × 300 mm na prasie 450-tonowej. Te prasówki kruszy się ręcznie i przesiewa do wielkości ziaren 1 — 2 mm. Taki proszek zasypywany do matrycy nie wymaga już środka poślizgowego i może być stosowany bez odważania. Również i prasowalność proszku jest lepsza. Można uzyskać tolerancje do 0,15 mm, nie wykraczające poza dopuszczalne granice. Dla b. małych sztuk proszek może mieć wielkość ziaren 0,5 do 1 mm.

Po dokładnym wymieszaniu proszków zasypuje się odważone ich partie do matrycy. Matryca jest narzędziem, służącym do prasowania proszków na pewne, określone kształty. Wykonana jest najczęściej ze stali, a jej powierzchnie prasujące są termicznie ulepszone. Składa się co najmniej z trzech części: kadłuba, w którym znajduje się wycięcie formujące, oraz dwu tłoków o kształtach odpowiadających wycięciu matrycy. Magnesy trwałe prasuje się przeważnie od razu na ostateczny kształt.

Przy projektowaniu matrycy należy zawsze uwzględniać skurcz, który występuje w czasie spiekania, i powiększać odpowiednio wymiary.

Proszki namiaru magnesowego, zawierające aluminium, wykazują silne tendencje do zacierania matryc. Dostają się one pomiędzy stempel a ściany matrycy, powodując w czasie operacji prasowania wżery. Aby uniknąć szybkiego zużycia matryc, stosuje się w nich wykładziny, sporządzane z polerowanych węglików spiekanych, co jest bardzo kosztowne i kłopotliwe.

Metoda, polegająca na wstępnym prasowaniu mieszaniny proszków na pręty, a następnie kruszeniu prasówek na ziarna odpowiedniej wielkości, pozwala na ominięcie powyższej trudności. Proszek prefabrykowany w ten sposób nie zaciera matryc i pozwala na długotrwałe stosowanie matryc wykonanych ze stali zawierającej 13% Cr i 1,7% C. Matryce mają zbieżność około 1°, co umożliwia łatwe wypychanie z matrycy.

Ciśnienie, stosowane przy prasowaniu spiekanych magnesów trwałych, wynosi od 3 do 10 t/cm^2, a nawet nieco więcej. Jest to ciśnienie wysokie (do 10 000 at), które stawia duże wymagania materiałowi na matryce.

Matryca jest umocowana na stałe albo też umieszcza się ją dorywczo — na czas prasowania — na stoliku prasy.

Istnieją zasadnicze dwa typy pras do prasowania proszków metali — prasy hydrauliczne i mechaniczne.

Prasy hydrauliczne dają większe możliwości nacisku przy mniejszych wymiarach, pracują stosunkowo powoli i wymagają stałego dozoru. Prasy mechaniczne mają przeważnie mniejsze naciski (do stukilkudziesięciu ton), są niejednokrotnie zupełnie zautomatyzowane i pracują znacznie szybciej. Z tych też powodów prasy mechaniczne znalazły zastosowanie przede wszystkim dla celów masowej produkcji, gdy prasy hydrauliczne stosuje się do wyrobów specjalnych.

Ciśnienie prasowania ma duży wpływ na własności spieku. Zbyt niskie oraz zbyt wysokie ciśnienia prasowania powodują zbyt niską gęstość spieków, co wpływa ujemnie na własności magnetyczne spiekanych magnesów trwałych.

Specjalne prasy, przystosowane do pracy nad proszkami metali umożliwiają stosowanie ciśnienia dwustronnego (od dołu i od góry), co wpływa bardzo korzystnie na rozkład ciśnienia w samej matrycy — i co za tym idzie — na gęstość spieku.

W braku pras dwustronnie działających prasowanie można wykonywać na prasach jednostronnie działających, zmieniając konstrukcję matryc. Jednak tak dobrych wyników, jak przy prasowaniu dwustronnym, nie uzyskuje się.

Prasówki, mające kształt gotowego magnesu, ale wymiary nieco większe (ze względu na skurcz w czasie spiekania), przechodzą następnie do pieca, w którym odbywa się proces wygrzewania, zwanego spiekaniem. Spiekanie odbywa się zazwyczaj przy temperaturze bliskiej, ale zawsze niższej od temperatury topnienia składnika lub stopu, przeważającego w mieszaninie proszków.

Temperatura spiekania prasówek na magnesy trwałe zmienia się, oczywiście, zależnie od składu i wynosi od 1100 do 1400°C. Spiekanie przeprowadza się z reguły w atmosferze wodorowej lub próżni. Ze względu na wysoką temperaturę, spiekanie przeprowadza się w piecach sylitowych lub molibdenowych. Atmosfera pieców węglowych jest dla magnesów trwałych szkodliwa.

Wodór do zapewnienia atmosfery ochronnej przy spiekaniu pobiera się na ogół z butli wysokoprężnych. Jest to wodór pochodzenia elektrolitycznego, zawierający zawsze pewną ilość zanieczyszczeń. Celem oczyszczenia wodoru stosuje się specjalne urządzenia osuszające, składające się z pieca katalitycznego, w którym spala się wodór z tlenem, stanowiącym zanieczyszczenie, oraz szeregu płuczek i wież suszących, mających za zadanie pochłanianie pary wodnej i innych zanieczyszczeń gazowych czy stałych.

Przy spiekaniu niektórych rodzajów magnesów trwałych zawierających aluminium nawet „czyszczony" wodór bywa jeszcze zbyt zanieczyszczony i może spowodować utlenienie spieku. W tych przypadkach stosuje się spiekanie w pudełkach ochronnych. Pudełko wykonane jest z blachy żelaza „armco" i składa się z pudełka i wieczka luźno wchodzącego na pudełko. Całość pracuje w pozycji odwróconej, tzn. wieczkiem na dół. Wewnątrz pudełka umieszcza się prasówki i obsypuje szczelnie korundem drobnoziarnistym. Korund ten winien być uprzednio wyżarzony w próżni przez kilka godzin celem usunięcia z niego zaadsorbowanych gazów. Pudełko zapełnione korundem równo z brzegiem nakrywa się przykrywką, a następnie odwraca. Szczelinę pomiędzy brzegami przykrywki a bokami pudełka wypełnia się mieszaniną proszków alumi-

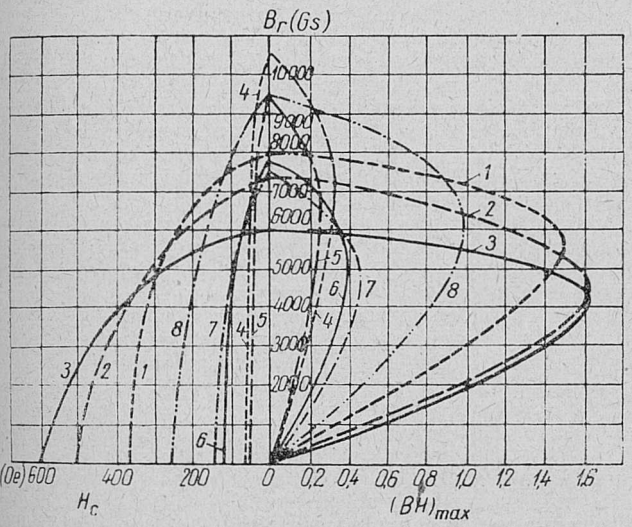
nium i żelaza, które spełniają tutaj rolę wychwytywacza tlenu, utleniając się łatwiej niż stop spieku na magnesy trwałe.

Jak już wspomniano, magnesy po spiekaniu zmieniają swoje wymiary i często powstają pewne niedokładności w tolerancjach. Te niedokładności można usunąć drogą obróbki mechanicznej. Niektóre ze stopów magnetycznych obrabia się łatwo, ale przeważająca ich część, zawierająca aluminium w swoim składzie, daje się obrabiać jedynie drogą szlifowania.

Przy magnesach typu Al-Ni stosuje się również spiekanie w próżni. Spiekanie takie odbywa się np. w piecach próżniowych indukcyjnych (2400 Hz) przy temperaturze 1320°C przez $1^1/_2$ do 2 h. Próżnia wynosi 0,1 — 0,2 mm słupa rtęci i utrzymanie jej zależy w dużym stopniu od temperatury i wilgotności atmosfery otaczającej piec. W piecach próżniowych umieszcza się magnesy na specjalnych stojakach żelaznych.

Spieki na magnesy trwałe poddaje się obróbce cieplnej, polegającej na hartowaniu od temperatur 1050 do 1250°C (zależnie od składu) i odpuszczeniu przy temperaturze około 600 do 650°C. Obróbka cieplna tworzyw magnetycznych spiekanych jest taka sama jak magnesów odlewanych o tym samym składzie. Najlepsze wyniki, jeżeli chodzi o własności magnetyczne spiekanych magnesów trwałych zawierających Al i Co, uzyskuje się stosując obróbkę cieplną w polu magnetycznym.

Po obróbce cieplnej następuje magnesowanie spieków. Magnesowanie spiekanych magnesów przeprowadza się w ten sam



Rys. 1. Krzywa odmagnesowania magnesów Al-Ni-Co

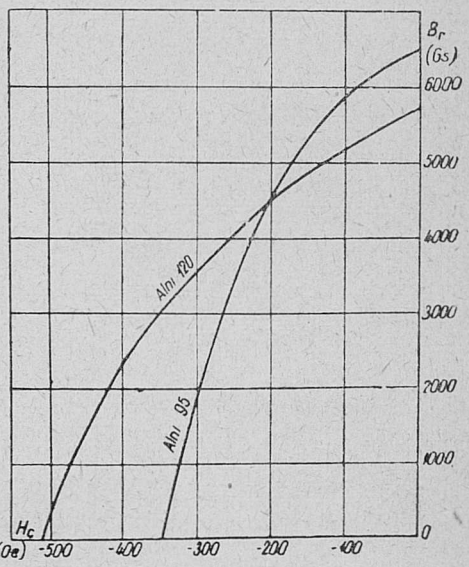
1 — Al-Ni-Co o dużej pozostałości
2 — Al-Ni-Co
3 — Al-Ni-Co o dużej koercji
4 — stal wolframowa 6-procentowa
5 — stal chromowa 3-procentowa
6 — stal kobaltowa 3-procentowa
7 — stal kobaltowa 6-procentowa
8 — stal kobaltowa 36-procentowa

sposób jak i magnesów lanych. Konieczna jest do tego celu magneśnica, której wymiary, uzwojenie i ukształtowanie końcówek biegunów magnetycznych uzależnione są od kształtu i wielkości spiekanych magnesów.

Magnesy spiekane typu Al-Ni i Al-Ni-Co są chemicznie i fizycznie identyczne z magnesami odlewanymi o tym samym składzie, co łatwo możemy stwierdzić, stosując rentgenowską analizę strukturalną, jednak ich drobnoziarnista mikrostruktura powoduje to, że spiekane magnesy mają znacznie wyższe własności mechaniczne. W wyniku tego magnesy spiekane wykazują mniejszą skłonność do pęknięć i pozwalają na osiągnięcie wielokrystalicznej struktury nawet przy bardzo małych magnesach.

Metoda metalurgii proszków w zastosowaniu do produkcji magnesów spiekanych jest metodą całkowicie uzupełniającą stosowaną dotąd metodę odlewania magnesów tego typu.

Zastosowanie metalurgii proszków do produkcji magnesów



Rys. 2. Krzywa odmagnesowania magnesów Al-Ni

spiekanych jest najkorzystniejsze w następujących przypadkach:

1) przy produkcji dużej liczby magnesów niewielkich wymiarów, ważących mniej niż 45 do 60 g,

2) przy magnesach ważących jedynie ułamki grama,

3) przy produkcji płaskich płytek i tarcz o grubości nie przewyższającej 2,5 mm,

4) przy produkcji magnesów mających dokładnie umieszczone otwory o średnicy do 0,5 mm,

5) przy produkcji magnesów z wydrążeniami o średnicy do 3 mm i głębokości do 25 mm.

Jednak sama metoda metalurgii proszków nakłada pewne zasadnicze ograniczenia konstrukcyjne, o których należy pamiętać przy projektowaniu magnesów oraz przy konstrukcji matryc do prasowania. Ograniczenia te są następujące:

1) stosunek głębokości otworu matrycowego do średnicy prasowanej sztuki nie powinien przekraczać 1:1; jeżeli jednak średnica jest odpowiednio duża, możliwe są w produkcji stosunki nawet 2:1 czy 3:1;

2) nie można prasować kształtek, mających wycięcia, występy lub otwory w kierunku prostopadłym do kierunku prasowania;

3) zmiany przekroju w kierunku prasowania wymagają zastosowania skomplikowanych tłoków teleskopowych względnie dzielonych;

4) prasowanie kształtek zaokrąglonych lub beczkowatych w kierunku prostopadłym do kierunku prasowania jest niemożliwe;

5) powierzchnie prasujące tłoczków matrycy winny być zawsze — o ile możności — płaskie;

6) istnieje trudność wykonywania prasówek o mniejszej grubości ścian niż 3 mm.

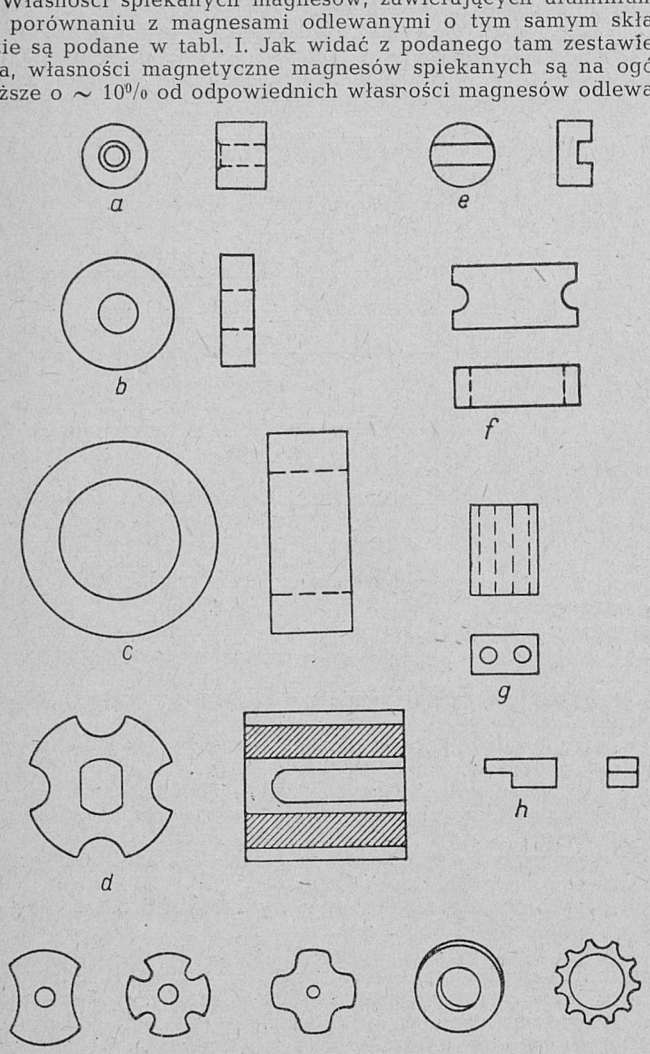
Spiekane magnesy trwałe stosuje się najczęściej w elektrycznych instrumentach muzycznych, gramofonach, aparatach dla upośledzonych na słuchu, słuchawkach telefonicznych, rejestratorach dźwięków, małych motorkach i prądniczkach, np. prądnicach rowerowych oraz latarkowych, w ta-

Tablica I. Własności magnesów spiekanych zawierających aluminium

Nazwa	Sposób wytwarzania	Pozostałość B_r (Gs)	Natężenie powśc. H_c (Oe)	Iloczyn energii BH_{max}
Al-Ni-Co normalne	odlewane	7100—7900	580—480	$1{,}4—1{,}8 \cdot 10^6$
	spiekane	6400—7700	550—450	$1{,}4—1{,}6 \cdot 10^6$
Al-Ni-Co o dużej koercji	odlewane	6300—7200	660—550	$1{,}4—1{,}8 \cdot 10^6$
	spiekane	5800—6400	640—590	$1{,}4—1{,}66 \cdot 10^6$
Al-Ni-Co o dużej pozost. magn.	odlewane	8000—8800	420—320	$1{,}3—1{,}7 \cdot 10^6$
	spiekane	7300—8000	450—350	$1{,}25—1{,}45 \cdot 10^6$
Al-Comax II	odlewany	12700	570	$4{,}3 \cdot 10^6$
	spiekany	11200	560	$3{,}3 \cdot 10^6$
„Hycomax"	odlewany	8500	790	$2{,}7 \cdot 10^6$
	spiekany	7600—8200	820—760	$2{,}4—2{,}8 \cdot 10^6$
Al-Ni 120	odlewany	6300—5800	480—530	$1{,}2—1{,}05 \cdot 10^6$
	spiekany	6000—5500	480—530	$1{,}1—0{,}95 \cdot 10^6$
Al-Ni 90	odlewany	7800—7400	250—180	$1{,}0—0{,}75 \cdot 10^6$
	spiekany	7700—7300	330—280	$1{,}1—0{,}85 \cdot 10^6$

chometrach, termostatach, galwanometrach, przepływomierzach, wskaźnikach poziomu cieczy, żyroskopach, radarze, osprzęcie nawigacyjnym, wyłącznikach, busolach,dzwonkach elektrycznych, magnetycznych instrumentach pomiarowych i wielu innych urządzeniach.

Własności spiekanych magnesów, zawierających aluminium, w porównaniu z magnesami odlewanymi o tym samym składzie są podane w tabl. I. Jak widać z podanego tam zestawienia, własności magnetyczne magnesów spiekanych są na ogół niższe o ~ 10% od odpowiednich własności magnesów odlewanych tego samego składu. Wyjątek stanowi tu tylko natężenie powściągające H_c magnesów Al-Ni i „hycomax". Osiągnięcie tych samych własności magnetycznych przy produkcji metodami metalurgii proszków i tym samym składzie nie jest możliwe, czego powodem jest pewna porowatość resztkowa magnesów spiekanych i — co za tym idzie — mniejsza ilość substancji magnetycznej w tej samej objętości magnesu spiekanego.



Rys. 3. Różne magnesy spiekane

Rys. 1 przedstawia krzywe odmagnesowania i iloczynu energii dla magnesów kobaltowych, rys. 2 — dla magnesów bezkobaltowych Al-Ni. Rys. 3 przedstawia szereg przykładowych rozwiązań konstrukcji masowo produkowanych magnesów spiekanych kobaltowych i bezkobaltowych.

Tolerancje (możliwe do uzyskania w kierunku prasowania) magnesów spiekanych są następujące:

przy wymiarach	do 3 mm	± 0,125 mm,
„ „	3 do 16 mm	± 0,25 mm,
„ „	16 do 30 mm	± 0,375 mm,
„ „	30 do 75 mm	± 0,75 mm,

Ponieważ wszystkie prasówki tego samego kształtu i tych samych wymiarów prasowane są w tej samej matrycy, osiąga się na ogół dużą zgodność wymiarów. Rozbieżności wymiarowe spiekanych magnesów trwałych — szczególnie mniejszych wymiarów — są tak niewielkie, że praktycznie można stosować gotowe spieki od razu do konstrukcji bez dodatkowego szlifowania, które prawie z reguły jest wymagane przy magnesach odlewanych. Należy też dążyć do stosowania magnesów spiekanych o ile możności bez dodatkowego szlifowania, gdyż wtedy w pełni ujawniają się ekonomiczne korzyści zastosowania procesu metalurgii proszków.

Jedną z najpoważniejszych zalet spiekanych magnesów trwałych jest możliwość równoczesnego spiekania magnesów z nabiegunnikami czy zworami z materiału magnetycznie miękkiego, jakim jest zazwyczaj spiek żelaza. Ponieważ zarówno prasowanie, jak i spiekanie tego rodzaju nabiegunników odbywa się równocześnie z magnesem trwałym, przy czym w czasie spiekania zachodząca dyfuzja wytwarza ścisłe złącze pomiędzy obu tymi materiałami, skład ich musi być odpowiednio dobrany. Szczególnie ważne jest uzyskanie jednakowego skurczu materiału magnetycznie twardego i miękkiego, gdyż rozbieżności mogłyby spowodować tutaj rozluźnienie wzgl. całkowite zniszczenie złącza.

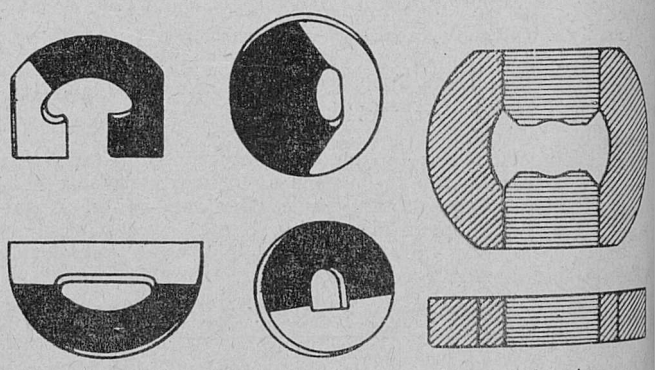
Celem uzyskania możliwie dużej gęstości materiału magnetycznie miękkiego stosuje się do proszku żelaza dodatki, powodujące przejściowe powstanie fazy ciekłej, a więc i zagęszczenie spieku. Jako dodatki takie stosuje się najczęściej proszki aluminium i krzemu w ilości do 5%. Zastosowanie tych łatwo utleniających się dodatków stopowych, których tlenki nie redukują się praktycznie rzecz biorąc przy pomocy wodoru, stawia poważne wymagania atmosferze spiekania, której czystość musi być bardzo duża. Jednak w tym przypadku nie jest to specjalnym utrudnieniem, gdyż spiekanie magnesów trwałych, zawierających aluminium, odbywać się musi również w bardzo skrupulatnie dobranych warunkach. H_c tych materiałów maleje wraz ze wzrostem zawartości krzemu czy aluminium od 0 do 5% w granicach 7,4 do 1,1 Oe; B_r wzrasta w tych samych warunkach od 7800 do 11800 Gs.

Możliwość równoczesnej produkcji magnesów z nabiegunnikami stanowi poważną korzyść natury technologicznej i jest w krajach wysoko uprzemysłowionych szeroko wykorzystywana. Rys. 4 przedstawia przykłady kształtek spiekanych magnesów wraz z nabiegunnikami.

Poza magnesami zawierającymi aluminium, wytwarza się również metodami metalurgii proszków magnesy spiekane bezaluminiowe Cu-Ni-Co czy Cu-Ni-Fe. Odznaczają się one w porównaniu z magnesami aluminiowymi wyższą statecznością i odpornością na zmienne warunki atmosferyczne.

Przykłady krzywych odmagnesowania spiekanych magnesów typu Cu-Ni-Co z badań własnych przedstawia rys. 5.

Ciekawą nowością w dziedzinie materiałów magnetycznie twardych są ceramiczne materiały na magnesy trwałe półprzewodnikowe. Są to tak zwane ferryty twarde (ferroxdure). Są to przede wszystkim ferryty baru o wzorze $BaFe_{12}O_{19}$ względnie $BaFe_{18}O_{27}$. Trudno porównać je z dotychczas stosowanymi magnesami metalowymi, gdyż stanowią odrębne tworzywo o szczególnych własnościach. Duża oporność właściwa — 10^{13} razy większa od oporności właściwej czystego żelaza, bardzo duże natężenie koercyjne oraz to, że magnesy z ferrytów barowych nie zawierają niklu i kobaltu — metali deficytowych — spowodowały duże zainteresowanie tymi magnesami wśród technologów i ferromagnetyków.



Rys. 4. Magnesy spiekane z nabiegunnikami

Własności magnesów wytwarzanych z ferrytów baru są następujące:

$B_r \sim 2050$ gausów

$_I H_c \sim 2400$ erstedów,

$_B H_c \sim 1450$ erstedów,

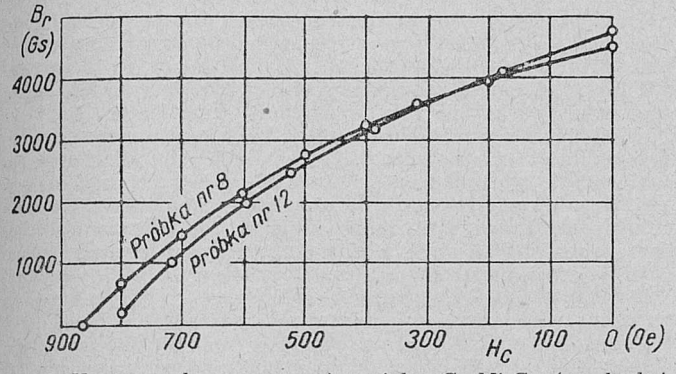
$(BH)_{max} \sim 0{,}85 \cdot 10^6$ (gauso-erstedów).

Z uwagi na stosunkowo niewielką wartość pozostałości przy wysokim natężeniu koercyjnym należy odpowiednio projek-

tować obwody magnetyczne z zastosowaniem ferrytu baru, przy czym magnes trwały musi mieć raczej kształt tarczowy a nie sztabkowy, jak przy dotychczas stosowanych materiałach metalowych.

3. Proszkowe materiały magnetycznie miękkie.

Zagadnienie materiałów magnetycznie miękkich — o małych stratach i o małej zmianie indukcyjności pod wpływem różnych czynników, mających zastosowanie na rdzenie do obwo-



Rys. 5. Krzywa odmagnesowania spieku Cu-Ni-Co (wg badań własnych)

dów wielkiej i małej częstotliwości — zostało pomyślnie rozwiązane w metalurgii proszków.

Proszkowe rdzenie ze względu na proces wytwarzania nazywa się również magnetodielektrykami. Terminem tym zostało określone tworzywo, stanowiące konglomerat sproszkowanego ferromagnetyku i dielektryku. Poszczególne cząstki, tj. ziarna proszku ferromagnetyku odizolowane są od siebie dielektrykiem, który pokrywa je cieniutką warstewką izolującą, równocześnie stanowiąc tworzywo wiążące.

Technologia wytwarzania rdzeni polega na sprasowaniu w stalowej matrycy na zimno lub na gorąco proszku ferromagnetyku odpowiednio wyżarzonego i zaizolowanego. Sprasowaną kształtkę poddaje się obróbce cieplnej.

Magnetodielektryki mają tę wyższość nad materiałami litymi, że własności ich można zmieniać zarówno przez dobór materiału magnetycznego tak zwanej osnowy, jak i przez zmianę ilości i jakości materiału izolującego. W ten sposób można otrzymać tworzywa o znacznie większej stałości przenikalności i znacznie mniejszych stratach na prądy wirowe w porównaniu z materiałem litym. Prócz tego magnetodielektryki wykazują małe współczynniki cieplne przenikalności i dużą stałość własności w czasie.

Tablica II. Własności magnetyczne niektórych magnetodielektryków, wytwarzanych metodą metalurgii proszków

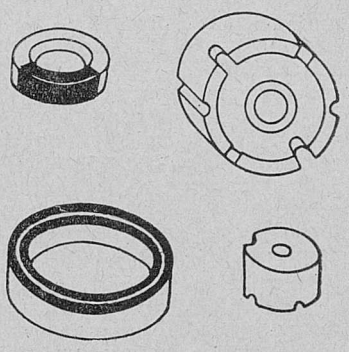
Materiał rdzenia (proszek magnetyczny)	Średnica ziarna (mikrony)	μ (Gs/Oe)	$\delta_h \cdot 10^3$ (1/Oe)	$\delta_t \cdot 10^9$ (sec)	$\delta_n \cdot 10^3$
Żelazo karbonylkowe PK 12	2— 4	12	0,2	3,0	0,15
Żelazo karbonylkowe PK 13	2— 6	13	0,35	7,0	0,20
Żelazo karbonylkowe PK 25	4—10	25	1,0	20,0	1,2
Żelazo karbonylkowe PK 55	6—10	55	6,0	25,0	1,2
Żelazo elektrolityczne	60	30	6,0	750,0	1,8
Permaloj (81% Ni, Fe)	~100	180	12,0	1400,0	2,0
		80	6,0	600,0	1,5
		32	1,8	50,0	1,0
		20	1,0	15,0	1,0
Permaloj molibdenowy (81% Ni, 2% Mo, Fe)	~100	125	4,0	380,0	0,6
		26	0,75	32,0	0,4
		14	0,36	16,0	0,32
Alsifer (9,5% Si, 7,5% Al, Fe)	~100	60	4,0	200,0	1,5
		30	1,8	50,0	1,0
		10	0,6	5,0	0,6
Izoperm (36% Ni, 9% Cu, Fe)		85	2,65	200,0	0,27

W Europie przed drugą wojną światową, a częściowo także i teraz, dominującą rolę wśród rdzeniowych materiałów proszkowych odgrywał proszek żelaza karbonylkowego. Proszek ten dzięki szczególnej strukturze warstwowej odznacza się bardzo dobrymi własnościami (małe straty) i zależnie od gatunku jest stosowany zarówno do wielkich jak i małych częstotliwości.

Tabl. II przedstawia własności niektórych proszkowych materiałów magnetycznie miękkich, a rys. 6 niektóre typowe kształty rdzeni proszkowych.

Istnieje szereg gatunków proszku żelaza karbonylkowego, (żarzonego i nieżarzonego), wytwarzanego drogą rozkładu pięciokarbonylku żelaza na Fe i CO; gatunki te różnią się wielkością ziarna i własnościami, a każda z firm produkujących oznacza poszczególne gatunki odmiennymi literami.

Badania dokonane w okresie międzywojennym nad magnetycznymi własnościami proszków stopowych wykazały bardzo dużą przenikalność i małe straty stopów Ni-Fe i to zarówno o dużej jak i o małej zawartości niklu. W Stanach Zjednoczonych na krótko przed 1939 r. zaczęto produkować rdzenie ze stopowych proszków permaloju („permalloy"), a w okresie wojny opracowano dokładnie przebieg technologiczny ich pro-



Rys. 6. Różne rdzenie proszkowe

Rys. 7. Stopy Al-Si-Fe o maksymalnej przenikalności (według Masumoto i Yamamoto)

dukcji. Równocześnie w ZSRR opracowano nowy magnetodielektryk o osnowie proszku Be-Si-Al.

Około 1932 r. japońscy badacze Masumoto i Yamamoto, zajmując się badaniem magnetycznych własności bogatych w żelazo stopów Fe-Si-Al, wykryli, że w pewnym zakresie składów, stopy te wykazują bardzo dużą przenikalność (rys. 7) przy małej sile koercji (H_c = 0,05 Oe). Przydatność tych stopów na rdzenie badana była w Japonii w latach 1937 — 1940, jednak wyniki badań nie zostały ogłoszone. Stopy Fe-Si-Al były również ze względu na ograniczone ilości niklu w czasie ostatniej wojny stosowane w Niemczech, ale żadnych danych dotyczących produkcji lub własności nie opublikowano. Po wojnie jedynie nieliczne publikacje omawiały tego typu stopy, przy czym przeważnie zaznaczała się tendencja pomniejszania ich znaczenia. Podkreślano, że składy stopów mieszczą się w bardzo wąskich granicach, co komplikuje ich produkcję na skalę techniczną. W okresie tym w ZSRR kontynuowano badania zapoczątkowane przez Japończyków i opracowano zagadnienie stopów Fe-Si-Al.

Badania wykazały, że przyczyną specjalnych własności magnetycznych stopów Fe-Si-Al jest — zgodnie z teorią permaloju — niska wartość magnetostrykcji i stałej magnetycznej anizotropii.

W stopach Fe-Si-Al, jak w klasycznym permaloju, duże wartości przenikalności zauważono dla składów wykazujących równocześnie bliską zeru magnetostrykcję i stałą magnetycznej anizotropii. Wyniki te zgadzają się z teorią początkowej przenikalności Beckera i teorią krytycznego pola Kondorskiego-Kerstena. Jest rzeczą charakterystyczną, że krzywa maksymalnych przenikalności przechodzi między krzywymi zerowej magnetostrykcji i zerowej anizotropii.

Ponieważ stopy Fe-Si-Al okazały się pod względem własności magnetycznych bardzo podobne do stopów Ni-Fe, dokonano szeregu badań mających na celu powiązanie struktury z własnościami i stwierdzono istnienie nadstruktur Fe_3Si, Fe_3Al i Fe_3 (Si, Al) analogicznych do Ni_3Fe.

Istnienie nadstruktur Fe_3Si i Fe_3Al w podwójnych stopach Fe-Si i Fe-Al pozwalało przypuszczać, że w potrójnym układzie Fe-Si-Al będą quasi-binarne przekroje, zawierające roztwory typu Fe_3 (Si, Al), które w odróżnieniu od Fe_3Si i Fe_3Al uważa się za produkty częściowej wymiany atomów Si na Al przy niezmiennej zawartości żelaza.

Rdzenie ze stopu „alsifer" wytwarza się w sposób następujący. Stop żelazo-krzem-aluminium o składzie 9,5 ± 0,3 Si i 7,5 ± 0,2 Al wytapia się w piecu indukcyjnym; wlewek hartuje się w wodzie, kruszy, miele na proszek o ziarnistości < 120μ, żarzy w wodorze lub próżni, izoluje, prasuje na wymagane kształtki i obrabia termicznie.

Stosuje się kilka typów rdzeni z alsiferów:

1) alsifer T_{cz} 60 — dla częstotliwości akustycznych (cewki pupinowskie, cewki do filtrów akustycznych, cewki do generatorów częstotliwości akustycznych, częstościomierze, cewki wzmacniaczy telefonicznych, urządzenia telefonii wielokrotnej, cewki filtrów nadakustycznych, transformatory wyjściowe);

2) alsifer W_{cz} 30 — dla częstotliwości 10 — 50 kHz (układy fazujące, cewki systemu jednokanałowego, trójkanałowego);

3) alsifer W_{cz} 20 — dla częstotliwości 30 — 150 kHz (cewki filtrów kwarcowych, cewki filtrów generatorowych, cewki filtrów kanałowych dla systemu 12-kanałowego itd.);

4) alsifer W_{cz} 8 o dużej stałości własności (filtry wstęgowe systemu 3-kanałowego, obwody wzmacniaczy wybiorczych, filtry kondensatorowe systemu 12-kanałowego itd.);

5) alsifer R_{cz} 9 i R_{cz} 6 — dla częstotliwości radiowych (cewki obwodów rezonansowych, cewki filtrów do częstotliwości radiowych, cewki pośredniej częstotliwości, dławiki w radioodbiornikach, transformatory częstotliwości radiowych, dostrajacze antenowe);

6) alsifer Fl — cewki ferroinduktorowe do strojenia radioodbiorników.

Własności wymienionych alsiferów są następujące:

1) T_{cz} 60: $\mu_a = 60 \pm 5$ G/Oe; $\mu_{max} = 65 \pm 6$ G/Oe; $H_c = 4 \pm 1$ Oe; $B_r = 400$ Gs; $\alpha = 10 \cdot 10^{-3}$; $\delta_h \leqslant 4 \cdot 10^{-3}$; $\delta_f \leqslant 200 \cdot 10^{-9}$; $\delta_a \leqslant 1{,}5 \cdot 10^{-3}$; $\overline{\beta} = -40\ (\pm 10).10^5$.

2) W_{cz} 30: $\mu_a = 32 \pm 2$ G/Oe; $\mu_{max} = 34 \pm 2$ G/Oe; $\delta_h = 1{,}8.10^{-3}$; $\delta_f = 50.10^{-9}$; $\delta_n = 10.10^{-3}$; $\alpha = 0{,}004$; $\beta = 20.10^{-5}$.

3) W_{cz} 20: $\mu_a = 19 \pm 2$; $\delta_h = 1.10^{-3}$; $\delta_f = 15.10^{-8}$; $\delta_n = 1.10^{-3}$; $\alpha = 2{,}5.10^{-3}$; $\overline{\beta} = 20.10^{-5}$.

4) W_{cz} 8: $\mu_a = 8 - 9$; $\delta_h = (0{,}25 \div 0{,}36)\cdot 10^{-3}$; $\delta_f = (15 \div 25)\cdot 10^{-5}$; $\delta_n = (0{,}6 \div 0{,}8)\cdot 10^{-3}$; $\alpha = 8.10^{-5}$; $\beta = 5.10^{-5}$.

5) R_{cz} 9: gęstość (4,8 ÷ 5) g/cm³; siła koercji (8 ÷ 9) Oe; pozostałość 75 — 80 Gs; indukcja nasycenia 4000 Gs; przenikalność początkowa $\mu_a = (9 \div 10)$ Gs/Oe; maksymalna = 1,025 μ_a; $\delta_f = (4 \div 6).10^{-9}$; $\delta_h = (0{,}5 \div 0{,}7).10^{-3}$; $\delta_n = (0{,}5 \div 0{,}7)\cdot 10^{-3}$: współcz. niestałości amplitudowej $\alpha = 1{,}5.10^{-3}$; współcz. cieplny przenikalności $\beta = 3.10^{-4} \div 5.10^{-4}$; stała dielektryczna 8 — 10; oporność właściwa 10 MΩ.cm.

Nowoczesnym i ciekawym materiałem magnetycznie miękkim są ferryty mieszane (o ogólnym wzorze chemicznym $xMOyFe_2O_3$, gdzie M — metal dwuwartościowy), z których wytwarza się głównie ferryty mangan-cynk, nikiel-cynk, magnez-cynk względnie ferryty metali składnikowych bez cynku. Ferryty manganowo-cynkowe nadają się szczególniej do obwodów małej częstotliwości ze względu na stosunkowo najmniejsze straty na histerezę w porównaniu z innymi materiałami ferrytowymi. Przenikalność początkowa tego rodzaju ferrytów waha się w szerokich granicach — zależnie od składu pomiędzy 15 a 1750.

W zakresie wielkich częstotliwości szczególnie przydatne są ferryty Ni i Ni-Zn ze względu na bardzo dużą oporność właściwą, małą przenikalność dielektryczną i korzystną charakterystykę częstotliwościową przenikalności i stratności. Skład i zastosowanie ferrytów uzależnione są w dużym stopniu od istniejących w danym kraju źródeł surowcowych, co znajduje szczególnie odbicie w niechętnym stosowaniu ferrytów niklowych — nawet przy stosunkowo wysokich częstotliwościach — w krajach, które nie mają własnego niklu.

W zastosowaniu ferrytów rozróżniamy dwa działy: 1) zastosowania zastępcze, tzn. takie, gdzie ferryty mogą być używane na równi z innymi materiałami magnetycznie miękkimi; 2) zastosowania specjalne, wyzyskujące charakterystyczne własności ferrytów.

Z grupy pierwszej stosuje się poniżej 100 Mc/s rdzenie w elementach indukcyjnych, najczęściej szczelinowe kubkowe Pierścieniowe rdzenie stosuje się jedynie dla ferrytów o małej przenikalności magnetycznej. Przy małych i średnich częstotliwościach ferrytowe rdzenie stosuje się w filtrach telefonii nośnej, w cewkach Pupina i w dławikach. Ponadto stosuje się rdzenie ferrytowe w kształcie litery E lub I w transformatorach szerokopasmowych stosowanych np w telewizji.

W zakresie częstotliwości radiowych ferryty znajdują szerokie zastosowanie jako rdzenie cylindryczne, pozwalające na znaczne zmniejszenie wymiarów i zaoszczędzenie miedzi.

Technologia wytwarzania ferrytów polega na zmieszaniu tlenku żelaza z tlenkami odpowiednich metali na sucho lub mokro. Czas mieszania musi być odpowiednio długi, a ziarnistość tlenków możliwie mała. Możliwe jest dodawanie niekiedy środka poślizgowego, ułatwiającego prasowanie. Mieszankę prasuje się wstępnie pod ciśnieniem rzędu 3 — 5 t/cm², a następnie poddaje ją operacjom wygrzewania: a) wyżarzaniu wstępnemu, b) spiekaniu jedno- lub kilkakrotnemu. Wyżarzanie odbywa się przy wolnym podnoszeniu temperatury pieca, przy czym proces trwa kilka godzin. Spiekanie przy 900 — 1400°C powoduje przebieg reakcji chemicznej. Warunki spiekania — atmosfera, szybkość grzania i chłodzenia oraz czas spiekania — zależne są od składu mieszanki. Ogólnie biorąc najmniej wrażliwe są ferryty magnezowe, a najwięcej manganowe.

Często stosuje się kruszenie tak uzyskanego materiału i ponowne prasowanie go na rdzenie o wymaganym kształcie.

Po ogólnym omówieniu proszkowych materiałów magnetycznie miękkich i twardych trzeba scharakteryzować pokrótce możliwość zapotrzebowania rynku krajowego na te produkty. Tu należy z całym naciskiem podkreślić, że możliwe to jest jedynie w sposób przybliżony.

Wydaje się, że zapotrzebowanie materiałów magnetycznych proszkowych można szacować w następujący sposób:

a) z zakresu materiałów magnetycznie twardych spiekane magnesy Al-Ni i Al-Ni-Co w ilości ok. 60 t rocznie, magnesy ferrytowe w ilości ok. 100 000 sztuk rocznie (częściowo wypierają magnesy alni i alnico);

b) z zakresu materiałów magnetycznie miękkich rdzenie ferrytowe w ilości ok. 5 000 000 sztuk rocznie, karbonylkowe rdzenie do cewek Pupina ok. 5 — 20 t rocznie, alsifer T_{cz} 60 i W_{cz} 30 ok. 60 t rocznie, alsifer WP i FJ ok. 1,5 t rocznie.

Produkcja magnesów spiekanych typu alni i alnico jest zaplanowana i będzie uruchomiona za 2 lata w Hucie Baildon. Prawdopodobnie tam też będzie zorganizowana produkcja magnesów trwałych ferrytowych.

Prace nad magnesami spiekanymi i ferrytowymi prowadzono w IMN w Gliwicach, gdzie też wykonywało się i wykonuje pewne niewielkie ilości dla konsumentów.

Gorzej przedstawia się kwestia uruchomienia produkcji alsiferów i ferrytów miękkich. Obecnie IMN wdraża swoje prace z dziedziny alsiferów w Zakładach Teletechnicznych w Łodzi, a Zakład Produkcji Doświadczalnej przy IMN będzie produkował niewielkie partie alsiferu WP dla Zakładu Tl.

Jednak całe zagadnienie — a) zapotrzebowania rzeczywistego, b) surowców, c) miejsca produkcji alsiferów i ferrytów miękkich — wymaga bezwzględnie szczegółowego omówienia, naświetlenia i decyzji, okazuje się bowiem, że cały szereg prac z tej dziedziny, wykonanych przez IMN jako bardzo pilne na zlecenie przemysłu teletechnicznego, spotkało się z całkowitym brakiem zainteresowania po ich wykonaniu i do dziś prace te nie mogą być wdrożone.

Pomimo wykonania szeregu prac z dziedziny alsiferów przez IMN, a z dziedziny ferrytów przez IMN i Zakłady Radiowe im. Kasprzaka, zagadnienia w tych dziedzinach wymagają niewątpliwie dalszych badań, jak zresztą i inne zagadnienia z dziedziny technologii i teorii ferromagnetyków, których powiązanie jest bardzo potrzebne.

MGR INŻ. F. FONIOK I MGR INŻ. J. RUSZ
Przem. Inst. Telek. Inst. Met. Nieżel.

Permaloje — ich technologia i zastosowanie

621.318.322.001.8(438)

Treść. Po podaniu charakterystycznych własności materiałów magnetycznie miękkich omówiono stan produkcji tych stopów za granicą oraz ich najbardziej typowe zastosowania. Przedstawiono stan produkcji krajowych materiałów magnetycznie miękkich i na podstawie poprzednich rozważań wysnuto wnioski co do dalszego rozwoju prac w tej dziedzinie.

1. Wstęp.

Permaloje (angielska pisownia „permalloy") znane mniej więcej od 1928 r. są stopami żelazoniklowymi, których własności magnetyczne są lepsze od własności wcześniej znanych stopów żelazo-krzemowych. Jednak wysoka cena permalojów, spowodowana dużą zawartością w nich niklu oraz kosztownością obróbki cieplnej, ogranicza ich zastosowanie do potrzeb teleelektryki.

Ogólne właściwości magnetyczne stopów żelazo-niklowych są szeroko opisane w literaturze krajowej i zagranicznej [5, 6, 7, 8, 9, 10], jednak przyczyny dobrych właściwości magnetycznych tych stopów nie zostały dotychczas zadowalająco wyjaśnione. Zagadnienie uzyskiwania dobrych właściwości magnetycznych w stopach typu „permaloj" objaśnia w pewnym stopniu wykrycie nadstruktury zawierającej 75,9% Ni, co odpowiada związkowi Ni_3Fe. Stwierdzono dalej, że dla tego rodzaju składu można otrzymać stop o uporządkowanej strukturze, przy czym przemiana struktury nieuporządkowanej na uporządkowaną zachodzi bardzo powoli. Istnienie związku Ni_3Fe starano się udowodnić wieloma drogami: metoda rentgenograficzna nie dała zadowalających rezultatów wskutek zbyt słabego zróżnicowania zdolności dyfrakcyjnej żelazo-niklu; lepsze rezultaty otrzymał Kay w wyniku badań nad zmiennością oporności właściwej i ciepła właściwego tych stopów. Dalsze prace doprowadziły w roku 1939 (Leech i Sykes) do udowodnienia że w związku Ni_3Fe, przemiana uporządkowana przechodzi na nieuporządkowaną; stąd prace McKechau'a i Grabbe'go [12] doprowadziły do wniosku, że anizotropia magnetyczna materiału uwydatnia się słabiej w strukturze nieuporządkowanej aniżeli w uporządkowanej. Ponieważ stopy typu permaloj 78 wykazują również małą magnetostrykcję, więc współdziałanie tych dwóch czynników może prowadzić do dobrych właściwości magnetycznych materiału.

2. Stan produkcji permalojów w obcych krajach.

Opanowanie produkcji stopów żelazo-niklowych przez szereg firm zagranicznych doprowadziło do uzyskania całej gromady tworzyw magnetycznych, które są znane pod różnymi nazwami, jednak pod względem swych właściwości magnetycznych i składu chemicznego mogą być podzielone na kilka grup. Zasadniczo rozróżniamy trzy gatunki permalojów:

permaloje grupy I o zawartości 36 — 40% Ni,
„ „ II „ „ 45 — 70% Ni,
„ „ III „ „ 75 — 80% Ni.

Oprócz tych trzech grup zasadniczych, klasyfikujących permaloje według procentowej zawartości niklu w stopie, rozróżniamy grupę permalojów o różnej zawartości niklu, jednak o specjalnej strukturze magnetycznej materiału, jak np. materiał o prostokątnej pętli histerezy, materiały o stałej przenikalności w szerokim zakresie natężenia pola magnetycznego i inne.

Osobną grupę materiałów stanowią stopy z dużą procentową zawartością kobaltu. Stopy te odznaczają się dużą indukcją nasycenia lub też specjalnymi własnościami w zakresie słabych pól magnetycznych (brak strat na histerezę — pętla histerezy w pewnym zakresie natężenia pola magnetycznego jest linią prostą).

Tabl. I podaje zestawienie najważniejszych materiałów magnetycznych, stosowanych w telekomunikacji i podaje ich zasadnicze właściwości magnetyczne. Ze względu na zbliżone właściwości magnetyczne całego szeregu stopów, produkowanych pod różnymi nazwami firmowymi, ograniczyliśmy się do wymienienia najważniejszych przedstawicieli poszczególnych grup.

Z grupy permalojów 36% (I), których produkcję wielkoseryjną opracowano zasadniczo jedynie w Niemczech, gdzie znane są one pod nazwą stopów „permenorm 3601", najważniejszym materiałem jest permenorm 3601 K1, którego właściwości magnetyczne odpowiadają klasie D1 (wg DIN-41301). Specjalna przeróbka plastyczna i obróbka cieplna doprowadziły do uzyskania produktu o dobrych własnościach w zmiennych polach magnetycznych, czemu również sprzyja duża oporność właściwa materiału. Przez następujące po sobie procesy wyżarzania w wodorze i walcowania na zimno uzyskano materiał produkowany w postaci taśm lub wykrojów grubości od 0,35 do 0,03 mm o przenikalności rzędu 2000 Gs/Oe mało zmieniającej się w zakresie słabych pól magnetycznych

$$\delta_{100} = 12{,}5\,\frac{\mu_{100\,mOe} - \mu_{20\,mOe}}{\mu_{20\,mOe}} \leqq 2.$$

Materiał ten znalazł szerokie zastosowanie w transformatorach obwodów teletransmisyjnych, pracujących w szerszym pasmie częstotliwości tam, gdzie zniekształcenia nieliniowe, które są bezpośrednio związane ze zmianami przenikalności w funkcji natężenia pola magnetycznego, muszą być utrzymane na możliwie niskim poziomie. Materiał ten stosuje się również w obwodach mikrofonowych, a dzięki stosunkowo dużej indukcji nasycenia — przy ekranowaniu silnych pól magnetycznych.

Dalsze materiały tej grupy (permenorm 3601-K2 i 3601-K3) nie odznaczają się specjalnymi właściwościami magnetycznymi, ich produkcja jest jednak prostsza od stopu 3601-K1, a więc mogą być uważane za tak zwane „materiały oszczędnościowe". Znajdują one zastosowanie wszędzie tam, gdzie nie wymaga się materiału o dużej przenikalności magnetycznej i tam, gdzie duża wartość oporności właściwej materiału może (przy większych częstotliwościach) przy wartości przenikalności początkowej rzędu 2000 Gs/Oe eliminować niektóre permaloje drugiej czy nawet trzeciej grupy. Materiały te — w porównaniu z materiałami ze stali krzemowej o specjalnych właściwościach (typu trafoperm N2 i N3) — mają dwukrotnie większą przenikalność magnetyczną w słabych polach magnetycznych. Permaloje 36% wyparły zasadniczo całkowicie dawniej szeroko stosowane permaloje 48%, znane pod nazwą permenorm 48%, właśnie dzięki zbliżonym do nich własnościom magnetycznym w słabych zmiennych polach magnetycznych.

Druga grupa permalojów, a mianowicie permaloje 50—70% Ni, ma już znacznie mniejsze zastosowanie. Przenikalność magnetyczna tej grupy w zakresie słabych pól magnetycznych jest porównywalna z przenikalnością permalojów grupy I, przy czym jednak ich wadą jest mniejsza oporność właściwa materiału. Podane w tabl. I permaloje permenorm 5000 H2 i permenorm 5000 G3 są wytwarzane w specjalnych warunkach technologicznych i ich produkcja jest dosyć trudna. Materiały te stosuje się przy miniaturyzacji elementów magnetycznych urządzeń zasilających, gdzie dzięki stosunkowo dużej wartości indukcji nasycenia (16 000 Gs) spełniają one dobrze swe zadania. Rzadziej stosuje się je przy ekranowaniu silnych pól magnetycznych, a czasami na nabiegunniki elektromagnesu i zwory przekaźników specjalnych.

Permaloje grupy drugiej, poddane specjalnej obróbce cieplnej (długotrwałe wyżarzanie w wodorze w wysokich temperaturach [13]), osiągają duże wartości przenikalności magnetycznej. Materiały te z wytopu o bardzo wielkiej czystości składu, poddane przewalcowaniu końcowemu na zimno ze zgniotem około 98,5% i odpowiednio dobranemu procesowi cieplnemu polegającemu na wyżarzaniu w temperaturach 1000—1200°C w wodorze [14] mają prostokątną pętlę histerezy. Prostokątność pętli, czyli stosunek pozostałości magnetycznej do indukcji nasycenia , dochodzi do wartości 0,95. Należy zaznaczyć, że pętlę taką, zbliżoną do pętli monokryształu, materiał wykazuje zarówno wzdłuż, jak i w poprzek kierunku walcowania, przy czym prostokątność 0,95 osiągana jest jedynie przy magnesowaniu zgodnie z kierunkiem walcowania. Duża indukcja nasycenia (obacz l. p. 5 w tablicy I) i dobre własności plastyczne materiału, pozwalające na uzyskiwanie cienkich taśm o minimalnej grubości 3 μ zapewniła temu materiałowi szerokie zastosowanie i to w przemyśle zarówno silnoprądowym, jak i telekomunikacyjnym.

Rdzenie z tego materiału są niezbędnym elementem wszystkich precyzyjnych prostowników mechanicznych oraz wzmacniaczy magnetycznych. Modulatory magnetyczne, generatory harmoniczne i szereg urządzeń telekomunikacyjnych, pracujących nawet przy wysokich częstotliwościach (cienkie taśmy), mają jako zasadniczy element rdzenie o prostokątnej pętli histerezy. Rdzenie tych elementów muszą być bardzo ostrożnie uzwajane, albowiem ich materiał jest bardzo wrażliwy na wszelkie naprężenia mechaniczne, które silnie psują prostokątność jego pętli histerezy.

Tablica I. Właściwości stopów zagranicznych

Lp.	Grupa stopów	Nazwa materiału	Skład chemiczny (%)	Obróbka cieplna (°C, atm.)	Indukcja nasycenia (Gs)	Natężenie powściąg. (Oe)	Przenikalność maksymalna (Gs/Oe)	Przenikalność przy polu 5 mOe (Gs/Oe)	Oporność właściwa ($\mu\,\Omega$ cm)	Uwagi
1	Grupa I (permaloje o zawartości niklu 36%)	permenorm 3601 K1	36 Ni + 64 Fe	620—670 — pow.	12 000	0,75	7 000	2 000	75	Materiał o małych przyrostach przenikalności
		permenorm 3601 K2	36 Ni + 64 Fe	1000 — H_2	12 000	0,20	12 000	2 500	75	
		permenorm 3601 K3	36 Ni + 64 Fe	1100 — H_2	12 000	0,20	~10 000	2 000	75	
2	Grupa II (permaloje o zawartości niklu 45—70%)	permaloj B	48 Ni + 52 Fe	1070 — H_2	15 500	~0,15	40 000	2 500	45	Przetopiony w próżni Przetopione żelazo karbonylkowe (próżnia)
		permenorm 5000 H2	50 Ni + 50 Fe	1200 — H_2	15 500	0,12	50 000	4 000	45	
		permenorm 5000 G3	55 Ni + 45 Fe	1100 — H_2	16 000	0,10	30 000	3 000	40	
3	Grupa III (permaloje o zawartości niklu 75 — 80%)	permaloj C	3,8 Mo + 78 Ni + 5 Cu + Fe	1000 — H_2	9 000	0,030	~80 000	20 000	55	Specjalna technologia próżn.
		permaloj Mo	4 Mo + 79 Ni + 17 Fe	1100 — H_2	8 500	0,025	~100 000	20 000	56	
		mumetal	2 Cr + 75 Ni + 5 Cu + Fe	1000 — H_2	8 000	0,030	~70 000	30 000	50	
		stop 1040	3 Mo + 72 Ni + 14 Cu + Fe	1100 — H_2	6 200	0,015	~80 000	30 000	55	
		supermaloj	5 Mo + 79 Ni + 0,5 Mn + 15 Fe	1300 — H_2	7 900	0,015	1 000 000	350 000	65 (16)	
4	Stopy kobaltowe	perminvar	7 Mo + 45 Ni + 25 Co + 23 Fe	1000 — H_2 4250—25 g	10 300	0,650	3 800	~600	80	W słabych polach nie ma strat na histerezę Przydatny do pracy przy magnesowaniu wstępnym
		permendur	2 Va + 49 Fe + 49 Ni	800	23 800	2,00	4 500	~750	26 (7)	
5	Stopy o strukturze specjalnej (tekstura)	permenorm 5000 Z	50 Ni + 50 Fe	1100 — H_2	15 500	~0,3	prostokątna pętla		45	Materiały o prostokątnej pętli histerezy
		izoperm	50 Ni + 50 Fe	1100 — H_2 + zgniot	16 000	6,00	100	90	45	Materiał o stałej przenikalności

Trzecią, a zarazem najważniejszą, grupę permalojów stanowią permaloje o dużej zawartości niklu — od 75 do 80%. Jak już nadmieniono w rozdz. 1, odpowiednio mała magnetostrykcja i zmniejszony wpływ anizotropii krystalicznej na właściwości magnetyczne — przez utworzenie nadstruktury (związek Ni_3Fe) — pozwoliły na uzyskanie materiału o wybitnych właściwościach w słabych polach magnetycznych. Niewielkie dodatki innych składników stopowych pozwoliły na uproszczenie obróbki cieplnej kształtek, na podniesienie oporności właściwej materiału oraz na uzyskanie lepszych właściwości plastycznych, przy czym należy zaznaczyć, że dodatki te na ogół polepszają właściwości magnetyczne w słabych polach, lecz nieco pogarszają je w silnych polach magnetycznych [15, 16, 17, 18, 19]. W ten sposób powstał szereg materiałów o zbliżonym składzie chemicznym i dość zróżnicowanych właściwościach magnetycznych, na ogół jednak dynamiczna przenikalność początkowa tych materiałów waha się od 10 000 do 40 000 Gs/Oe, a maksymalna przenikalność statyczna nie przekracza 200 000 Gs/Oe (z wyjątkiem supermaloju). Z całego szeregu znanych pod różnymi nazwami firmowymi stopów wybrano najważniejsze, są one podane w tabl. I pod lp. 3.

Opanowanie produkcji i zastosowanie omówionych materiałów wprowadziło rewolucyjne zmiany w dziedzinie magnetycznych podzespołów telekomunikacyjnych. Wielkie wartości przenikalności i małe wartości natężenia powściągającego tych stopów predestynują je do następujących zastosowań: na rdzenie transformatorów wejściowych i prądowych przekładników pomiarowych, na układy magnetyczne mierników elektromagnetycznych, na elementy specjalnych przekaźników, na wszelkie jarzma magnetyczne i do innych celów. Szczególnie rewelacyjne wyniki osiągnięto przy zastosowaniu tych materiałów na ekrany magnetyczne (wielowarstwowe), a mianowicie osiągnięto wartości tłumienia ekranowania dochodzące do 75 — 80 dB. Przy zbliżonych właściwościach magnetycznych często decyduje o zastosowaniu danego rodzaju permaloju jego indukcja nasycenia. Dlatego takie stopy jak „stop 1040" lub mumetal, często ustępują miejsca permalojowi C lub permalojowi molibdenowemu w zastosowaniach przy silniejszych polach magnetycznych.

Dla porównania podamy, że przy indukcji 5000 Gs permaloj C wykazuje straty na histerezę dla jednego obiegu magnetycznego wielkości 50 erg/cm³ wobec 550 erg/cm³ otrzymywanych dla 4-procentowej stali krzemowej (przy tej samej indukcji). W zminiaturyzowanych urządzeniach zasilających ma to doniosłe znaczenie, nie mówiąc już o głównym zastosowaniu permalojów — o transformatorach telekomunikacyjnych. Na przykład transformator wykonany z rdzeniem z blaszek permaloju C o grubości 0,35 mm wykazał równoległą oporność (bocznikującą) strat czterokrotnie większą niż taki sam transformator z rdzeniem z blaszek krzemowych.

W wielu przypadkach, gdy warunki na prostokątność pętli histerezy nie są zbyt wygórowane, można z powodzeniem rdzenie z materiału o prostokątnej pętli histerezy zastąpić rdzeniami z permaloju molibdenowego. Specjalnym przedstawicielem tej grupy permalojów jest stop opracowany podczas drugiej wojny światowej, zwany pod nazwą „supermaloj". Przenikalność początkowa tego materiału wynosi ok. 100 000 Gs/Oe a przenikalność maksymalna przekracza wartość 1 000 00 Gs/Oe. W stopie tym zanieczyszczenia węglem i siarką obniżono poniżej najmniejszych zawartości zanieczyszczeń, spotykanych w innych permalojach. Ze stopu wykonanego w piecu próżniowym odlewa się wlewki w atmosferze helu, które — przy zachowaniu bezwzględnej czystości procesów technologicznych — można przewalcować na taśmy do grubości 0,003 mm. Obróbkę cieplną przeprowadza się w dokładnie oczyszczonym i suchym wodorze o temperaturze 1300°C, studzenie zaś produktu winno odbywać się z określoną szybkością około 100°C/h. Przenikalność maksymalną materiał ten osiąga już przy polu 15 mOe, co ogranicza jego zastosowanie do bardzo słabych pól magnetycznych (w przypadku transformatorów telekomunikacyjnych).

Permaloje III grupy należy stosować — mimo ich doskonałych właściwości magnetycznych — z dużą ostrożnością, gdyż są to materiały drogie; zawsze należy przeanalizować korzyści i celowość ich stosowania w urządzeniach telekomunikacyjnych.

Osobną grupę stopów magnetycznych stanowią stopy zawierające procentowo znaczną ilość kobaltu (tabl. I, lp. 4). Stop magnetyczny znany w telekomunikacji pod nazwą „perminvar" wykazuje w pewnych granicach natężenia pola magnetycznego zerowe straty na histerezę, co pozwala na zasto-

sowanie go w specjalnych obwodach magnetycznych (mierniki itp.).

Bardziej rozpowszechniony jest stop żelazo-kobaltu znany pod nazwą „permendur"; dodatek ~ 2% wanadu w tym stopie umożliwia jego przeróbkę plastyczną na gorąco i na zimno. Stop ten stosuje się przede wszystkim na membrany o grubości 0,1 mm do słuchawek telefonicznych oraz w obwodach magnetycznych spolaryzowanych. Ze względu na dużą wartość indukcji nasycenia (24 000 Gs) nie spotykaną w innych materiałach oraz z powodu małej wrażliwości materiału na stałe pola polaryzujące coraz częściej stosuje się go na rdzenie dławików i transformatorów pracujących w silnych polach polaryzujących. Jeśli np. permaloj C przy polu polaryzującym 1 Oe ma przenikalność 15-krotnie mniejszą od przenikalności permenduru, to jego przenikalność odwracalna — przy polu polaryzującym wywołującym indukcję w materiale równą 16 000 Gs — jest zaledwie o 50% mniejsza od przenikalności permaloju C wynosząc jeszcze 400 Gs/Oe. Należy zaznaczyć, że materiał jest drogi ze względu na dużą zawartość kobaltu. Istnieje co prawda permendur 15 tzw. „oszczędnościowy" o składzie 15% Co i 85% Fe, którego indukcja nasycenia wynosi również 24 000 Gs, materiał ten jest jednak bardziej wrażliwy na magnesowanie wstępne. Natomiast z tego materiału łatwiej daje się wycinać kształtki. Oba rodzaje permenduru stosowane są z powodzeniem na nabiegunniki silnych elektromagnesów i innych maszyn elektrycznych. Permendur stosuje się również na rdzenie transformatorów sieciowych zminiaturyzowanych.

Ostatnią grupę podanych w tabl. I materiałów stanowią stopy o strukturze uporządkowanej (teksturze). Stop 5000 Z omówiono wyżej. Izopermy są to materiały o małej przenikalności w dużym zakresie (niezależnej od natężenia pola magnetycznego), przeznaczone do pracy przy wyższych częstotliwościach. Materiały te są jednak coraz bardziej wypierane przez materiały proszkowe, a ostatnio szczególnie przez ferryty, i ich zastosowanie coraz bardziej maleje zwłaszcza dlatego, że są te materiały drogie, wymagające zgniotu na zimno w wysokości 98,5%.

Podsumowując rozważania powyższe należy stwierdzić: zagadnienie stopów magnetycznych miękkich, a szczególnie permalojów, zostało za granicą praktycznie rozwiązane, chociaż wytłumaczenie teoretyczne tych zjawisk jest dotychczas niezadowalające. Nie należy przewidywać w najbliższej przyszłości opracowania nowych stopów tej dziedziny; dalsze badania będą przypuszczalnie przeprowadzane nad coraz czystszymi stopami i nad udoskonaleniem obróbki termicznej. Przy zastosowaniu wielowalcarek do obróbki plastycznej na zimno można otrzymywać taśmy o grubości 6μ, a nawet 3μ.

3. Stopy krajowe magnetycznie miękkie i ich technologia *)

W pierwszych latach powojennych gospodarkę krajową w zakresie materiałów magnetycznych cechowała dość duża przypadkowość. W telekomunikacji wykonywano różne urządzenia z elementami magnetycznymi, opierając się na remanentach poniemieckich i dostawach z reparacji, przy czym elementy te wykonywano doraźnie bez specjalnego wgłębiania się we właściwości materiału. W związku z istniejącą sytuacją gospodarczą — przy dużych trudnościach importu deficytowych materiałów magnetycznych — przystąpiono w kraju do opracowania technologii ważniejszych stopów magnetycznie miękkich. Zagadnienia związane z opracowaniem technologii stopów magnetycznych typu „permaloj" i innych (z dużą procentową zawartością składnika nieżelaznego) powierzono Instytutowi Metali Nieżelaznych, który przystąpił do opracowania zagadnienia nie mając ani żadnych urządzeń, ani żadnej tradycji krajowej w tej dziedzinie.

Opracowanie technologii permalojów było zagadnieniem tym trudniejszym, że ani literatura radziecka, ani anglosaska nie podawały opisu procesu technologicznego tych stopów, ograniczając się jedynie do obszernego opisu właściwości magnetycznych. Dane niektórych katalogów firmowych jasno wskazywały, że stosuje się bardzo czyste surowce wyjściowe i że wszelkie wytopy wykonywa się w próżni lub w atmosferze gazu nieczynnego. Z braku pieców próżniowych prace w Instytucie Metali Nieżelaznych wykonywano w dość prymitywnych warunkach — w piecach indukcyjnych (nie próżniowych) średniej częstotliwości. Przez umiejętne prowadzenie wytopów zdołano nie tylko otrzymać stop o odpowiednim składzie chemicznym, ale również utrzymać zanieczyszczenia na odpo-

*) Materiał podany w tym rozdziale opiera się przede wszystkim na danych Instytutu Metali Nieżelaznych oraz na doświadczeniach Pracowni Materiałów Magnetycznych Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji.

Tablica II. Właściwości stopów krajowych

Lp.	Grupa stopów	Nazwa	Skład chemiczny (%)	Obróbka cieplna (°C, atm)	Indukcja nasycenia (Cs)	Natężenie powściąg. (Oe)	Przenikalność maksymalna (Gs/Oe)	Przenikalność przy polu 5 mOe (Gs/Oe)	Oporność właściwa ($\mu\Omega$ cm)	Uwagi
I	Grupa I, permaloj 36%–40% Ni	permaloj 36%	36 Ni + 64 Fe	1100—H_2	12 000	—	8 000	1 200	75	Odpowiednik klasy D3, mater. nie udany
		permaloj 40%	40 Ni + 60 Fe	1100—H_2	12 000	0,4	12 000	2 025	65	
II	Grupa II 50% Ni	permaloj 50%	50 Ni + 50 Fe	Próby nad materiałem o właściwościach zbliżonych do permenormu 5000 Z						
III	Grupa III 75–80% Ni	permaloj C	3,8 Mo + 78 Ni + 5 Cu + Fe	1200—H_2	9 000	0,025	~100 000	~20 000	55	Produkowany przez Zakład Produkcji i Usług 1MN
		permaloj Mo	3,8 Mo + 78,5 Ni + Fe	1200—H_2	8 500	0,025	~75 000	8 100	55 (E4)	
		mumetal	3 Mo + 77 Ni + 5 Cu + Fe	1150—H_2	8 000	0,020	~10 000	~20 000	55	
		stop 1040	3 Mo + 14 Cu + 72 Ni + Fe	1200—H_2	5 800	0,010	~120 000	~40 000	55	Opracowany ale nie produkowany
IV	Stopy kobaltowe	permendur	2V + 49 Co + 49 Fe	850—H_2	24 000	~1,0	10 000	600	26	

wiednio niskim poziomie: gdy we wsadzie stopowym średnie zanieczyszczenia wynosiły około 0,04% węgla i około 0,02% siarki, to gotowy stop zawierał około 0,006% węgla i około 0,003% siarki. Przed obróbką plastyczną na gorąco przeprowadzano długotrwałe homogenizujące żarzenie stopów w temperaturze powyżej 1200°C w ciągu ~ 100 godz. Obróbka polepszała znacznie właściwości magnetyczne produktu. Obróbkę plastyczną przeprowadzano w Instytucie i w hutach; niestety, z powodu braku odpowiednich wielowalcarek taśmy będące produktem końcowym przeróbki były dość grube — nie niżej 0,2 mm.

Obróbkę termiczną gotowych wykrojów (ew. próbek) przeprowadzano w Instytucie Metali Nieżelaznych, a w celu wdrożenia materiałów do produkcji przemysłu telekomunikacyjnego również w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji. Wyniki uzyskiwane przez te dwie placówki naukowe były równorzędne, przy czym rekordowe wartości przenikalności magnetycznej niektórych próbek żarzonych w P.I.T. [15] powtarzały się, co wskazywało na dobre opanowanie technologii stopów w procesie laboratoryjnym. Przy produkcji tych materiałów przez Zakład Produkcji Doświadczalnej i Usług I. M. N. niektóre parametry magnetyczne materiału uległy nieznacznemu pogorszeniu.

W tabl. II podano wykaz i najważniejsze właściwości magnetyczne i elektryczne tych stopów. Widać z niego wyraźnie, że z wyjątkiem permalojów grupy I, które należy uważać za stopy nieudane, inne materiały w zasadzie nie ustępują zagranicznym, a w przypadku „stopu 1040" nawet je przewyższają. Prace prowadzone w roku 1953 nad otrzymaniem permaloju 36% klasy D1 (wg DIN 41301) doprowadziły do otrzymania materiału klasy D3 kosztem dodatkowych ilości niklu w stopie oraz zmniejszenia oporności właściwej materiału. Należy zaznaczyć, że główne trudności przy opracowywaniu tego stopu zostałyby przypuszczalnie pokonane, gdyby I.M.N. miał do dyspozycji wielowalcarkę, pozwalającą na przewalcowywanie taśm co najmniej do grubości 0,1 mm (na zimno).

W zakresie drugiej grupy permalojów, a mianowicie permalojów 50-procentowych są już obecnie w toku w I.M.N. wstępne próby technologiczne nad otrzymaniem permaloju o prostokątnej krzywej magnesowania.

Prace Przemysłowego Instytutu Telekomunikacyjnego doprowadziły do opanowania obróbki termicznej permaloju B oraz ostatnio — przez zastosowanie obróbki cieplnej i studzenie próbek w polu magnetycznym — zdołano na poremanentowym materiale „teksturizoperm 50" uzyskać prostokątną pętlę histerezową.

W dziedzinie permalojów grupy III osiągnięcia krajowe są największe. Opracowano cztery najważniejsze rodzaje permalojów wysokoniklowych, przy czym permaloj C, mumetal i stop 1040 wykazują — zarówno w procesie laboratoryjnym, jak i w produkcji na skalę ćwierćtechniczną — po odpowiedniej obróbce cieplnej dobre właściwości magnetyczne, odpowiadające warunkom klasy E3 (wg DIN 41301). Permaloj molibdenowy, który w procesie laboratoryjnym wykazywał bardzo dobre właściwości magnetyczne [15] przy przejściu do produkcji na skalę półtechniczną wykazał pogorszenie właściwości magnetycznych, które nie odpowiadały już warunkom klasy E3. Ponieważ materiał ten (produkowany w dość dużej ilości przez Zakład Produkcji Doświadczalnej i Usług Instytutu Metali Nieżelaznych) zasadniczo spełniał swe zadanie w wielu urządzeniach telekomunikacyjnych, okazało się celowe przy jego klasyfikacji — wprowadzenie nowej klasy do normy na materiały magnetyczne, jest to klasa E4 [20]. Praca [20] podaje również najważniejsze charakterystyki tego materiału, przez co umożliwia konstruktorom odpowiednie wykorzystanie go.

Opanowano również technologię permenduru wanadowego (tabl. II, lp. IV) o właściwościach lepszych od analogicznego stopu zagranicznego. Szerszemu zastosowaniu tego materiału stoi na przeszkodzie brak kobaltu w kraju i brak urządzeń do produkcji nawet na skalę półtechniczną. Wadą obecnie produkowanych materiałów, wykluczającą bardzo często ich szersze zastosowanie jest to, że produkowane są one w postaci taśm, których minimalna grubość nie jest mniejsza od 0,2 mm, co w porównaniu z grubościami 3—6μ osiąganymi za granicą świadczy o naszych dużych zaległościach w tej dziedzinie.

Właściwości magnetyczne krajowych miękkich stopów magnetycznych podaje tabl. II, natomiast zastosowanie tych materiałów omówiono wyżej w rozdz. 2.

4. Uwagi końcowe i wnioski.

Z dość zwięzłego omówienia obecnego stanu w dziedzinie miękkich stopów magnetycznych — za granicą i w kraju — wynika, że plan prac krajowych nad tymi materiałami powinien iść zasadniczo w trzech kierunkach.

A) Opanowanie technologii taśm cienkich najpierw o grubości 0,1 i 0,05 mm, a następnie taśm o grubości 30, 10, 6 i 3μ, przy czym prace te powinny być prowadzone na materiałach, których technologię produkcji już opanowano (przede wszystkim permaloj molibdenowy).

B) Opanowanie technologii materiałów dotychczas w kraju nie opracowanych, przede wszystkim permaloju 36% klasy D1 i permaloju 50% o prostokątnej pętli histerezy, a w dalszej kolejności „perminvaru", permenduru 15, supermaloju i permaloju krzemowego. Należy zaznaczyć, że produktem końcowym tych prac muszą być taśmy o grubości nie większej od 0,1 mm, a często (permaloj 50%) o grubości 30 — 10μ.

C) Próby technologiczne, pozwalające na dalsze ulepszenie opracowanych stopów, dające jednocześnie odpowiedni podkład eksperymentalny do teoretycznych rozważań nad właściwościami magnetycznymi materiału, oraz przeprowadzenie szerokich badań teoretycznych nad tymi stopami. Punkt ten jest bardzo obszerny i dzieli się na szereg problemów, które wg ważności danego zagadnienia powinny być rozpatrywane w następującej kolejności:

a) wykonanie wytopów stopów magnetycznie miękkich w piecu indukcyjnym w atmosferze wodoru — badanie wpływu atmosfery na właściwości magnetyczne stopu;

b) wpływ przeróbki plastycznej na gorąco na właściwości magnetyczne produktów;

c) wpływ zgniotu na zimno na właściwości magnetyczne produktów (ustalenie górnej granicy zgniotu na zimno);

d) wykonanie wytopów stopów magnetycznie miękkich w piecu indukcyjnym próżniowym;

e) wpływ długiego żarzenia wlewka w środowisku redukującym (suchy pozbawiony całkowicie tlenu wodór) w temperaturze 1200°C na właściwości magnetyczne stopu;

f) wpływ długiego żarzenia materiału przed jego obróbką plastyczną na właściwości magnetyczne produktów (wodór wilgotny, temperatura 1200°C);

g) badanie tekstury i nadstruktury stopów magnetycznie miękkich;

h) odtleniania litem stopów magnetycznie miękkich i jego wpływ na właściwości magnetyczne materiału.

Tak szeroko zakrojony program prac nad stopami magnetycznie miękkimi może być zrealizowany jedynie przy ścisłej współpracy metalurgów i technologów z użytkownikami. Współpraca ta dotychczas była realizowana niedostatecznie, co między innymi było powodem, że prace technologów nie zawsze szły we właściwym kierunku. Niezbędne są inwestycje, jak indukcyjne piece próżniowe, wielowalcarki do walcowania na zimno cienkich taśm magnetycznych, piece wytopowe z atmosferą obojętną i inne. Ważne jest również powiększenie ośrodka produkcyjnego tych stopów, ponieważ Zakład Produkcji Doświadczalnej i Usług I. M. N. nie jest przygotowany na zaspokojenie wzrastających potrzeb użytkowników. Rolę producenta tych materiałów powinna przyjąć huta metali specjalnych; tam też powinny być dokonane najważniejsze z wymienionych wyżej inwestycji. Konieczna jest również dokładna koordynacja dalszych prac naukowych przez Komisję Ferromagnetyczną PAN lub przez inny organ nadrzędny. Tylko wszystkie wymienione czynniki łącznie mogą zapewnić dalszy, dynamiczny i pełny rozwój techniki w dziedzinie materiałów magnetycznych.

LITERATURA

[1] Elmen G. W. Can. Pat. 221525, 1922.
[2] Elmen G. W. U. S. Pat. 1586884, 1926.
[3] Elmen G. W. J. Franklin Inst. 206, 1928, str. 317, 207, 1929, str. 583.
[4] Elmen G. W. U. S. Pat. 1768441, 1930.
[5] Becker R., Döring W. Ferromagnetismus, Berlin, 1939.
[6] Bozorth R. M. Ferromagnetism, New York, 1949.
[7] Meskin W. S. Fierromagnitnyje spławy, Moskwa, 1937.
[8] Broz J. Zakłady magnetickych mereni, Praha, 1953.
[9] Smoliński A. Uzyskiwanie optymalnych własności krajowych permalojów wysokoniklowych (Prace P. I. T., nr 1, 1954.
[10] Smoliński A. Miękkie materiały magnetyczne w telekomunikacji (Przegl. Telekom., nr 5, 1954).
[11] Markuszewicz M. Materiały magnetycznie miękkie (Prace Inst. Minist. Hutn., zesz. 1, 1954).
[12] Grabbe G. M. Phys. Rev., 57, 1940, 728.
[13] Bozorth R. M. Ferromagnetism, London, 1953, str. 123.

[14] Both E. Plant scale process for production a rectangular hysteresis loop material, Signal Corps. Eng. Lab. Techn. Memio, M — 1091, str. 128.
[15] Smoliński A. Uzyskiwanie optymalnych własności permalojów o wielkiej zawartości niklu pochodzenia krajowego (Prace Badawcze P. I. T., nr 11, 1954, str. 23).
[16] Jak [13], str. 134.
[17] Markuszewicz M. Materiały magnetyczne (Wydawn. Górniczo-Hutnicze, Stalinogród, 1954, str. 291).
[18] Stanley J. K. Metallurgy and Magnetism (Am. Soc. for Metals Ohio, 1948, 46).
[19] Pavlek W. Magnetische Werkstoffe (Berlin, 1952, str. 178).
[20] Foniok F., Smoliński A. Podstawowe właściwości permaloju klasy E4 (Prace Badawcze P. I. T., nr 17/18, 1955).

MGR INŻ. ZB. MATHEISEL
Instytut Elektrotechniki
Zakł. Mater. Elektr.

Stopy niemagnetyczne

621.315.592.3:621.3.013:621.3.076.2

Treść. Zastosowanie stopów niemagnetycznych dla celów elektrotechniki, własności magnetyczne, elektryczne i mechaniczne poszczególnych stopów, a także stosowane metody pomiaru przenikalności materiałów niemagnetycznych.

1. Wstęp.

Przemysł elektrotechniczny w szeregu przypadków wymaga stosowania materiałów praktycznie niemagnetycznych, tj. takich, których przenikalność w zakresie silnych pól jest rzędu około 2 Gs/Oe. Niemagnetyczność stopów opartych na żelazie (stal kuta lub walcowana, staliwo, żeliwo) polega na otrzymaniu przy temperaturze pokojowej struktury paramagnetycznego austenitu z ewentualnymi wydzieleniami grafitu.

Zastosowanie. Z uwagi na małą przenikalność maksymalną oraz stosunkowo dużą oporność właściwą (70 ..... 200 μΩcm) stopy niemagnetyczne stosuje się przy budowie maszyn elektrycznych (nie ma strat na histerezę, a straty na prądy wirowe są bardzo małe). Używa się ich między innymi na bandaże wirników dużych maszyn prądu stałego, a także silników asynchronicznych (o mocy większej od 1000 kW przy liczbie biegunów $\geqslant 4$), na pierścienie dociskowe turbogeneratorów, sworznie rdzeni transformatorów, tuleje wirników, osłony kompasów, metalowe tablice rozdzielcze, niemagnetyczne wały specjalnych maszyn elektrycznych, uchwyty uzwojeń i szyn, rury peryskopów itp. Stopy niemagnetyczne wypierają stosowane dotychczas do tych celów drogie metale nieżelazne i ich stopy (miedź, mosiądz, brąz, stopy glinu), dorównując im całkowicie w zakresie własności magnetycznych, lecz ustępując we własnościach technologicznych.

Własności magnetyczne, elektryczne i mechaniczne stopów niemagnetycznych. Przenikalność magnetyczna stopów powinna być możliwie mała i stała w dużym zakresie natężeń pola magnetycznego, np. dla drutów bandażowych $\mu \leqslant 1{,}1$ Gs/Oe przy $H = 1000$ Oe, dla pierścieni dociskowych z żeliwa niemagnetycznego $\mu \leqslant 2 \ldots 3$ Gs/Oe przy $H = 25 \ldots 250$ Oe. Oporność właściwa stopów niemagnetycznych jest rzędu 70 ... 200 μΩcm. Duża jej wartość ma szczególne znaczenie, jeżeli części wykonane z materiałów niemagnetycznych pracują w silnych zmiennych polach magnetycznych (np. w transformatorach i generatorach), gdyż chodzi wtedy o ograniczenie strat z prądów wirowych i wzrostu temperatury pracujących elementów.

W przypadku stosowania materiałów niemagnetycznych na elementy pracujące przy prądzie stałym (np. separatorów lub podnośników elektromagnetycznych) duża oporność właściwa nie jest wymagana, gdyż straty z prądów wirowych nie mają wtedy dużego znaczenia.

Stopy niemagnetyczne na ogół źle dają się obrabiać. Stanowi to ich dużą wadę, gdyż części wykonane z tych materiałów przechodzą często dość skomplikowaną obróbkę mechaniczną, np. odlewy pierścieni dociskowych z żeliwa niemagnetycznego muszą być obrabiane przez skrawanie, często gwintowane; duża twardość materiału — nawet przy bardzo dobrych własnościach magnetycznych i elektrycznych — przesądza o całkowitej nieprzydatności odlewu do tych celów.

W pewnych przypadkach duża wytrzymałość mechaniczna jest zasadniczym wymaganiem stawianym materiałom niemagnetycznym, na przykład w przypadku bandaży wirników. Bandaż wirnika, znajdując się pod ciśnieniem uzwojenia, jest zasadniczo poddany działaniu naprężeń stycznych, jednakże w pewnych przypadkach ciśnienie uzwojeń rozkłada się bardzo nierównomiernie i skutkiem tego w bandażach mogą powstać dodatkowo także siły zginające. Analiza uszkodzeń turbogeneratorów wykazuje, że właśnie zniszczenie bandaży jest ich najczęstszą przyczyną, bandaż więc, jako najbardziej odpowiedzialna część turbogeneratora, musi mieć dużą wytrzymałość i plastyczność. W związku z tym brąz, jako materiał o stosunkowo małej wytrzymałości, jest ostatnio rzadko stosowany (podobnie jak i stopowe stale konstrukcyjne), gdyż przy dużym miejscowym nagrzaniu wywołanym niesymetrycznym obciążeniem lub zwarciem powstają miejscowe pęknięcia powodujące zniszczenie bandaży. Najodpowiedniejsza w takich przypadkach jest niemagnetyczna stal niklowo-manganowa z dodatkiem chromu i wolframu.

Warunki pracy bandaży wirników wymagają od stosowanych materiałów — prócz małej przenikalności magnetycznej μ_{max} i dużej oporności właściwej ϱ — przede wszystkim dużej wytrzymałości mechanicznej i braku naprężeń wewnętrznych. W zależności od mocy i konstrukcji turbogeneratorów bandaże wirników wykonuje się o różnych charakterystykach wytrzymałościowych: grupa I — granica plastyczności 60 kG/mm², grupa II — 70 kG/mm², grupa III — 80 kG/mm².

Nieodpowiedni skład chemiczny względnie wadliwa obróbka cieplna materiału mogą spowodować przemiany strukturalne związane z utratą własności niemagnetycznych. Jest to szczególnie ważne w przypadku materiałów pracujących w odpowiedzialnych częściach maszyn, np. w przypadku drutów bandażowych.

2. Stal i staliwo niemagnetyczne.

Żelazo (Fe) w zależności od temperatury występuje w trzech postaciach alotropowych: Feα od niskich temperatur do ~ 910°C, Feγ od 910°C do ~ 1400°C i Feδ od 1400°C do temperatury topnienia (1539°C). Uzyskanie w temperaturze pokojowej paramagnetycznego Feγ, to jest odpowiednie obniżenie temperatury przemiany $\gamma \rightarrow \alpha$, jest możliwe przez dodanie pewnych pierwiastków, np. niklu lub manganu. Stopy żelaza z niklem o zawartości 25% Ni względnie z manganem o zawartości 12% Mn są paramagnetyczne w temperaturze pokojowej.

Stale manganowe. Typowym materiałem tej grupy jest stal Hadfielda, stosowana powszechnie głównie dzięki dużej odporności na ścieranie. Przeciętny skład chemiczny stali Hadfielda jest następujący: 1,25% C, 0,8% Si, 12,5% Mn, mniej niż 0,10% P, około 0,02% S. Strukturę austenityczną (niemagnetyczną) tej stali uzyskuje się po szybkim ochłodzeniu od temperatury 1000° do 1100°C, wtedy $\mu_{max} = 1{,}1 \ldots 1{,}35$ Gs/Oe.

Własności mechaniczne stali Hadfielda w stanie cieplnie obrobionym są następujące:

wytrzymałość na rozciąganie	80 100	kG/mm²,
granica plastyczności	25 35	,,
wydłużenie (a_5)	40 55	%
przewężenie	35 45	,,
twardość	180 200	H_B
udarność	20 30	kGm/cm².

Stal Hadfielda ma dużą plastyczność i ciągliwość, niską granicę sprężystości, małą twardość i złą obrabialność skrawaniem, przy stosunkowo dużej stałości własności niemagnetycznych (trwałość austenitu) w temperaturze pokojowej. Powolne chłodzenie oraz wygrzewanie w zakresie 400 — 600°C, jak również chłodzenie do niskich temperatur, powodują rozkład austenitu związany ze wzrostem przenikalności magnetycznej. Trwałość austenitu w stali Hadfielda zwiększa się wraz z odpowiednim zmniejszeniem zawartości węgla i zwiększeniem zawartości manganu (na przykład 0,2 ... 0,25% C oraz 17 ... 20% Mn). Materiały o takim składzie są niemagnetyczne, plastyczne oraz łatwiej obrabialne. Obrabialność poprawia się praktycznie wraz z malejącą zawartością węgla w materiale. Odlewy są niemagnetyczne niezależnie od warunków chłodzenia.

Stale niklowe. Zazwyczaj stosuje się stal austenityczną niklową o zawartości 25% Ni i 0,4% C. Ta czysto niklowa stal ma wady ograniczające w wielu przypadkach jej zastosowanie, gdyż austenit niklowy jest znacznie mniej trwały od austenitu manganowego.

Przemiana $\gamma \rightarrow \alpha$ następuje już przy ochłodzeniu do temperatury około —20°C. Jednocześnie ze względów gospodarczych bardziej celowe jest zastąpienie niklu innymi tańszymi skład-

nikami. Zaletą niklowej stali austenitycznej jest dobra obrabialność, duża wytrzymałość oraz ciągliwość.

Stale niklowo-manganowe. Ze względu na wysoką cenę niklu i znaczną nietrwałość austenitu niklowego często zastępuje się część niklu manganem. Stal austenityczna zawierająca prócz żelaza Ni i Mn ma dużą stałość własności w niskich temperaturach oraz dobrą obrabialność skrawaniem. Stal ta przeznaczona do produkcji bandaży zawiera zazwyczaj jako dodatek stopowy chrom względnie chrom i wolfram, które znacznie podwyższają jej wytrzymałość.

Za granicą stosuje się na pierścienie bandażowe najczęściej dwie stale austenityczne o bardzo zbliżonym składzie. Jedna z nich zawiera C — 0,52... 0,62%, Si ⩽ 0,50%, Mn — 7,4 ... 8,1%, S ⩽ 0,03%, P ⩽ 0,03%, Cr — 3,8 ... 4,2%, Ni — 8,0 ... 9,0%, W — 0,50 ... 0,70%. Skład chemiczny drugiej stali: C — 0,65 ... 0,75%, Si ⩽ 0,50%, Mn — 8,0 ... 9,5%, S ⩽ 0,03%, P ⩽ 0,04%, Cr — 3,0 ... 3,5%, Ni — 7,0 ... 8,5%. Minimalną przenikalność magnetyczną stali austenitycznych uzyskuje się przez hartowanie. Jednakże granica plastyczności tych stali w stanie zahartowanym jest zbyt mała (30 ... 42 kG/mm²). Wymagane podwyższenie charakterystyk mechanicznych uzyskuje się przez silny zgniot, którego stopień zależy od założonej granicy plastyczności.

W załączonej tabl. I podano składy chemiczne najczęściej stosowanych stali niemagnetycznych niklowo-manganowych i niklowo-manganowo-chromowych oraz ich właściwości wytrzymałościowe uzyskiwane przez regulowanie temperatury pod koniec kucia (800 — 600°C). Najbardziej typową stalą stosowaną do odlewów niemagnetycznych jest stal o następującym składzie chemicznym: 0,50 — 0,55% C, 3,0 — 3,3% Mn, 15 ... 15,5% Ni, 0,2 ... 0,3% Si, ⩽ 0,2% Cr, ⩽ 0,02% S, ⩽ 0,02% P. Własności tej stali są następujące:

oporność właściwa	74 μΩcm,
granica sprężystości	20 ... 22 kG/mm²,
granica plastyczności	40 ... 42 kG/mm²,
wydłużenie względne	20 ... 30%.

Odlewy z takiej stali wygrzewa się dłuższy czas w temperaturze 900°C, a następnie szybko chłodzi w wodzie, oleju lub w powietrzu. Celem tej obróbki cieplnej jest uzyskanie czystego austenitu. Wolne chłodzenie takiej stali mogłoby wywołać częściowo powstanie twardej i kruchej struktury martenzytycznej.

Załączona tabl. II zawiera dane dotyczące wpływu zgniotu i obróbki cieplnej na przenikalność magnetyczną stali manganowych, manganowo-niklowych oraz niklowych.

Na druty bandażowe stosuje się powszechnie stal o zawartości 0,15 ... 0,25% C, 0,35% Si, 5,5 ... 6,5% Mn, 9,5 ... 10% Ni i 11 ... 12% Cr, przy czym własności wytrzymałościowe drutu zależą od obróbki cieplnej oraz warunków ciągnienia na zimno.

Krajowy drut pobielany ze stali niemagnetycznej, stosowany na bandaże utrzymujące uzwojenia wirników dużych maszyn prądu stałego oraz w silnikach asynchronicznych dużej mocy, ma następujący skład chemiczny: C — 0,15 ... 0,25%, Mn — 6,0 ... 7,0%, Si — 0,50%, Cr — 11,0 ... 15,0%, Ni — 10,0 ... 13,0%. Drut ten produkuje się o średnicach 1,0, 1,5 oraz 2,0 mm i zwija w kręgi o ciężarze 4,4 i 8 kg (zależnie od średnicy). Jego własności mechaniczne są podane w tabl. III; własności magnetyczne: przenikalność μ ⩽ 1,1 przy H = 1000 Oe.

W przypadku szczególnie ciężkich warunków pracy związanych z korozją stosuje się stale nierdzewne. Stale niemagnetyczne odporne na korozję można podzielić na dwie grupy:

1) stale austenityczne, które są paramagnetyczne, a ich przenikalność μ jest rzędu 1 (tabl. IV);

2) stale częściowo autenityczne (nazywane też pseudomartenzytyczne), których przenikalność μ jest większa, lecz nie przekracza 10.

3. Żeliwo niemagnetyczne.

Żeliwo niemagnetyczne stosuje się w tych przypadkach, kiedy własności wytrzymałościowe nie odgrywają większej roli. Żeliwo to znalazło szerokie zastosowanie w budowie maszyn i coraz bardziej wypiera drogie stopy nieżelazne. Najtańsze żeliwo niemagnetyczne nie zawiera niklu, który zastąpiono tańszymi materiałami — manganem i miedzią. Wadą te-

Tablica I. Skład chemiczny najczęściej stosowanych stali niemagnetycznych (niklowo-manganowych i niklowo-manganowo-chromowych) oraz ich własności wytrzymałościowe

Gatunek stali (według oznaczeń Huty Baildon)	Skład chemiczny (%)					Własności wytrzymałościowe			
	C	Mn	Si	Cr	Ni	granica plastyczności Qr (kG/mm²)	wytrzymałość na rozciąganie R_r (kG/mm²)	wydłużenie a_5 (%)	przewężenie c (%)
RMExx	0,72 — 0,80	4,50 — 5,50	max 0,40	4,50 — 5,50	12,0 — 14,0	45 — 70	85 — 100	25 — 45	30 — 45
RMEx	0,72 — 0,80	4,50 — 5,50	max 0,40	2,50 — 2,70	12,0 — 14,0	40 — 60	80 — 95	30 — 50	35 — 55
RME	0,75 — 0,85	4,50 — 5,50	max 0,40	—	14,0 — 16,0	35 — 50	75 — 90	30 — 50	35 — 55

Tablica II. Największa przenikalność μ_{max} stali austenitycznych w stanie zgniecionym i po oziębieniu w wodzie w zależności od różnych temperatur (Gs/Oe).

Temperatura hartowania (°C)	Skład chemiczny (%)							
	0,42 C 13,96 Mn	0,41 C 18,70 Mn	0,35 C 20,00 Mn 2,00 Cu	0,40 C 17,60 Mn 1,00 Si	0,65 C 18,73 Mn 2,00 Si	0,49 C 5,08 Mn 15,00 Ni	0,26 C 24,12 Ni	0,26 C 24,12 Ni
Stan zgnieciony	3,50	1,56	1,47	3,00	1,38	2,41	1,73	66,0
700	—	1,07	1,07	1,23	1,18	—	—	—
800	—	1,50	1,16	1,25	1,43	—	—	—
850	—	—	—	—	1,20	—	—	—
900	1,24	1,56	1,24	1,33	1,65	1,41	4,02	10,2
950	1,41	1,52	—	2,07	2,34	2,24	—	—
1000	1,46	1,37	1,36	1,85	2,25	4,22	3,27	9,47
1050	1,33	1,35	—	—	—	—	—	—
1100	1,51	1,81	—	—	—	—	—	—
1150	3,44	5,74	—	—	—	—	—	—

Tablica III. Własności mechaniczne drutu bandażowego

Średnica drutu (mm)	Najmniejsza wytrzymałość na rozciąganie (kG/mm²)	Najmniejsza liczba przegięć o 180° przy R = 5 mm	Najmniejsza liczba skręceń na długości 200 mm
1,0	150	10	4
1,5	150	6	3
2,0	150	4	2

Tablica IV. Stale austenityczne nierdzewne chromo-niklowe

Skład chemiczny (%)							Obróbka	Przenikalność μ przy $H = 200$ Oe (Gs/Oe)
C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Cu		
0,03	0,57	0,55	17,45	11,90	—	—	austenizowane, zgniot 30%, 1 godz. w temp. 700°C w próżni	1,003 1,1 1,003
0,13	1,83	0,82	23,65	21,60	—	—	austenizowane, zgniot 30%, 1 godz. w temp. 700°C w próżni	1,002 1,004 1,003
0,13	0,19	0,36	9,72	20,28	1,55	2,39	austenizowane, zgniot 30%, 1 godz. w temp. 700°C w próżni	1,04 — 1,015

go tworzywa jest trudny proces technologiczny wywołany złą rozpuszczalnością miedzi w płynnym żeliwie oraz duża skłonność manganu do wypalania się. Własności mechaniczne tego żeliwa są gorsze niż zwykłego i zmieniają się w zależności od zawartości domieszek. Niemagnetyczne gatunki żeliwa odznaczają się zwiększoną odpornością na udary w porównaniu ze zwykłymi. Oporność właściwa austenitycznego żeliwa niemagnetycznego jest rzędu 100 ... 200 $\mu\Omega$cm. Podobnie jak

Tablica V. Przenikalność i oporność „nomagu" w porównaniu z mosiądzem i żeliwem zwykłym

Nazwa materiału	μ_{max} [Gs/Oe]	ϱ [$\mu\Omega$cm]
Żeliwo zwykłe	330,0	95
Mosiądz	1,0	7,50
Żeliwo „nomag"	1,03	140,00

w przypadku stali niemagnetycznych nie stosuje się ani czystego żeliwa niklowego (~ 25% Ni), ani też manganowego (~ 12% Mn).

Żeliwo „nomag". Powszechne zastosowanie znalazło pod tą nazwą żeliwo niklowo-manganowe. W porównaniu ze zwykłym żeliwem ma ono własności podane w tabl. V. Jego skład chemiczny: 2,6 ... 3,0% C, 2,5% Si, 5,5% Mn, 9 .... 12% Ni, 0,1% S, 1% P.

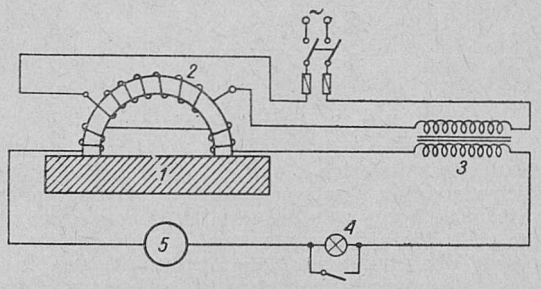
Oporność właściwa „nomagu" nie wzrasta z temperaturą w takiej mierze, jak w przypadku żeliwa zwykłego. Odlewanie nie wymaga żadnych specjalnych urządzeń; spawanie i obróbka jak w przypadku zwykłego żeliwa. „Nomag" można również niklować, miedziować i chromować.

Żeliwo miedziowe i niklowe (tabl. VI i VII). Żeliwo niemagnetyczne miedziowe stosuje się na odlewy, od których wymagana jest przede wszystkim mała przenikalność, np. na pierścienie dociskowe stojanów. Żeliwo niemagnetyczne niklowe stosuje się na odlewy dużych niemagnetycznych części o dużych zmianach przekrojów. Oporność właściwa tych żeliw ϱ = 140 ... 200 $\mu\Omega$cm.

4. Metody pomiaru przenikalności stopów niemagnetycznych.

W przypadku materiałów niemagnetycznych przenikalność maksymalna μ_{max} jest dostatecznie dokładną miarą jakości materiału, gdyż pomiary, wykonane przy natężeniach pola magnetycznego zawartych w przedziale 20 ... 250 Oe, dają przenikalność magnetyczną różniącą się stosunkowo mało od jej największej wartości. Zmierzoną wartość można nie wiązać z określoną wartością indukcji lub natężenia pola.

Metoda balistyczna. Pomiary przenikalności wykonuje się przy użyciu klasycznej metody balistycznej. Można stosować do tego celu próbki pierścieniowe lub proste. Próbki pierścieniowe są trudniejsze do wykonania (wycinanie z trudno obrabialnych stopów niemagnetycznych wzgl. wykonywanie specjalnych odlewów). Częściej stosuje się próbki proste odpowiednich wymiarów (np. średnica 10 mm, długość



Rys. 1. Schemat połączeń metody różnicowej
1 — materiał niemagnetyczny
2 — jarzmo pomiarowe
3 — jarzmo kompensacyjne
4 — opór dodatkowy (żarówka)
5 — woltomierz prądu zmiennego wyskalowany w jednostkach przenikalności magnetycznej

~ 200 mm) i mierzy się przenikalność w zmodyfikowanym układzie batalistycznym.

Badany pręt z uzwojeniem do pomiaru indukcji wkłada się do środka dostatecznie długiej cewki tak, by pręt znajdował się w polu, którego H = const. Natężenie pola oblicza się wprost z amperozwojów cewki, indukcję zaś mierzy się fluksometrem. Przebieg pomiaru jak w metodzie balistycznej.

Tablica VI. Skład chemiczny żeliwa niemagnetycznego — miedziowego i niklowego

Żeliwo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co	Al
Miedziowe	3,2—3,9	2,0—3,0	7,0—10,0	0,6	0,15	—	—	1,5—2,8	do 0,6
Niklowe	3,0—3,6	2,5—3,5	6,0— 8,0	0,6	0,12	—	7,0—9,0	—	—

Uwaga. Przy odlewach cienkościennych stosuje się dolną granicę zawartości Mn i Ni oraz górną zawartości Si, przy odlewach grubościennych należy stosować górną granicę zawartości Mn i Ni oraz dolną Si.

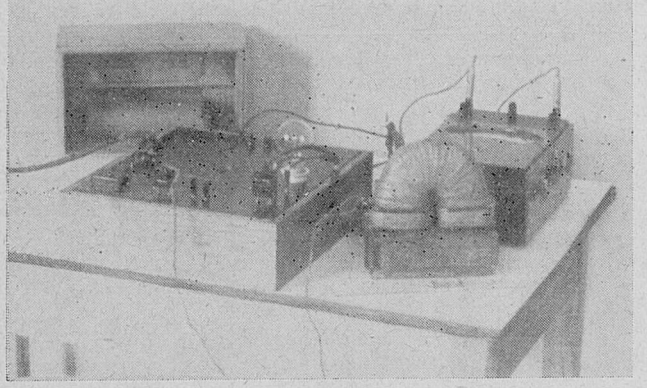
Metoda różnicowa. Pomiary przenikalności można wykonywać także bezpośrednio na materiałach niemagnetycznych o dużej masie (np. na pierścieniach dociskowych stojana turbogeneratora) przy użyciu metody różnicowej. Metoda ta

Tablica VII. Własności mechaniczne i magnetyczne żeliwa niemagnetycznego odlewanego do form piaskowych

Żeliwo	Wytrzymałość na zginanie (kG/mm²)	Twardość wg Brinella	Przenikalność magnetyczna największa μ_{max} [Gs/Oe]
Niemagnetyczne miedziowe	$\geqslant 25$	$\leqslant 240$	$\leqslant 3$
Niemagnetyczne niklowe	$\geqslant 25$	$\leqslant 240$	$\leqslant 2$

polega na pomiarze przenikalności magnetycznej maksymalnej (μ_{max}) bezpośrednio na odlewie przy pomocy przenośnego jarzma. Przyrząd pomiarowy wyskalowany jest tak, że jego wychylenie daje wprost przybliżoną wartość μ_{max} badanego odlewu.

Rys. 1 przedstawia schemat połączeń metody różnicowej. Główną częścią składową układu są dwa jarzma: pomiarowe i kompensacyjne. Każde z nich ma dwa uzwojenia pierwotne — magnesujące i wtórne indukcyjne. Przekrój drutu i liczba zwojów pierwotnych są tak dobrane, żeby prądy magnesujące obu jarzm były jednakowe, a końce połączonych szeregowo jarzm można było włączyć wprost do sieci. o napięciu 220 V. Obwód



Rys. 2. Aparat różnicowy

wtórny układu składa się z uzwojeń wtórnych obu jarzm połączonych szeregowo przeciwsobnie i woltomierza prądu zmiennego. Stosunek liczby zwojów jest tak dobrany, żeby indukowane w nich siły elektromotoryczne kompensowały się wzajemnie, gdy oba jarzma znajdują się w powietrzu.

Zmienny strumień magnetyczny wywołany przez prąd pierwotny indukuje w uzwojeniach wtórnych obu jarzm siły elektromotoryczne, które są sobie równe i przeciwnie skierowane, gdy jarzma znajdują się w powietrzu (wtedy wychylenie woltomierza jest równe żeru). Gdy jednak jarzmo pomiarowe umieścić na powierzchni materiału, którego przenikalność $\mu > 1$, to równowaga zostaje zachwiana. Opór indukcyjny jarzma pomiarowego powiększa się i doprowadzone napięcie nie rozdziela się już równomiernie na oba jarzma, jednocześnie zmniejsza się rozproszenie jarzma pomiarowego i odpowiednio większa część strumienia magnetycznego — przechodząc przez jego uzwojenie wtórne — indukuje większą siłę elektromotoryczną. Zmiana napięć wtórnych obu jarzm powoduje wychylenie woltomierza w zależności od przenikalności magnetycznej badanego materiału.

Dokładność pomiaru opisanej metody różnicowej wynosi 5 ... 10%.

Wykonany w Instytucie Elektrotechniki aparat różnicowy pokazano na rys. 2. Woltomierz wyskalowany jest wprost w jednostkach przenikalności magnetycznej i ma dwie skale: 1) o zakresie $\mu = 1 \ldots 5$ Gs/Oe, 2) o zakresie rozszerzonym. Początek skali oznaczono $\mu = 1$, środek $\mu = 5$, koniec skali ma napis „żelazo", co oznacza, że wychylenie przyrządu w tej części skali odpowiada przenikalności żelaza. Przyrząd wycechowano przy pomocy kilku specjalnie do tego celu odlanych płyt z żeliwa niemagnetycznego. Przebieg cechowania: jarzmo pomiarowe ustawia się na płytach i notuje wychylenia przyrządu na obu zakresach; następnie z płyt wycina się pręty i mierzy ich przenikalność metodą balistyczną. Maksymalne wartości pomiarów wnosi się na wykres podający μ_{max} w funkcji wychylenia woltomierza; zaokrąglone wartości μ wzięte z krzywych wpisuje się na skalę cechowanego przyrządu.

5. Wnioski.

Podane wyżej wiadomości nastręczają następujące zagadnienia do dyskusji:

1) polepszenie obrabialności odlewów niemagnetycznych przy zachowaniu dobrych własności niemagnetycznych,

2) polepszenie wytrzymałości mechanicznej drutu niemagnetycznego na bandaże przy jednoczesnym zachowaniu dobrych własności niemagnetycznych,

oraz następujące tematy prac naukowych:

1) właściwa technologia dużych odlewów z żeliwa niemagnetycznego,

2) technologia odlewu żeliwa niemagnetycznego niklowego,

3) szybkie metody pomiaru przenikalności magnetycznej odlewów żeliwnych, prętów i drutów niemagnetycznych na potrzeby kontroli produkcji.

LITERATURA

Markuszewicz M. Materiały magnetyczne, 1954, str. 414 — 421, Wyd. Górniczo-Hutnicze, Stalinogród
Nagornow N. P. Mietałowiedienje i tiermoobrabotka, 1947, Moskwa
Oding J. A. Osnowy procznosti mietałow parowych kotłow, turbin i turbogienieratorow, 1949, Moskwa
Stanley J. K. Metallurgy and Magnetism, 1948, str. 79 — 81 (American Society for Metals, Cleveland, Ohio)
Riedrich G. Stahl und Eisen, 1940, str. 815

PROF. DR L. KOZŁOWSKI, MGR INŻ. Z. ZIOŁOWSKI
Instytut Metalurgii
MGR INŻ. B. RAZUMOWSKI
Inst. Metali Nieżelaznych

Wytwarzanie ferrytu barowego, jego struktura i własności magnetyczne

546.431:541.48:621.3.013

Treść. Zestawiono dane dotyczące wpływu struktury na własności magnetyczne ferrytów. Opracowano metodę wytwarzania ferrytu barowego jako materiału na magnesy trwałe. Poddano badaniu rentgenograficznemu jego strukturę krystaliczną oraz skład fazowy próbek o różnej zawartości BaO w zależności od temperatury i czasu wyżarzania. Podano stosowane metody pomiarów magnetycznych oraz zestawiono wyniki dotyczące własności magnetycznych otrzymanego materiału.

1. Wstęp.

Przed kilkoma laty w laboratorium Philipsa opracowano nowe tworzywo na magnesy trwałe, noszące nazwę handlową „ferroxdure" [1]. Materiał ten otrzymuje się drogą reakcji w fazie stałej tlenków żelaza i baru. Występuje w nim głównie związek o wzorze sumarycznym $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, który znany był już znacznie wcześniej.

Jeszcze w roku 1938 V. Adelsköld [2] badając strukturę magnetoplumbitu $PbO \cdot 6/Fe, Mn/O_3$ stwierdził, że związki $PbO \cdot 6Fe_2O_3$, $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ i $SrO \cdot 6Fe_2O_3$ tworzą ten sam typ izomorficznych połączeń, krystalizujących w układzie heksagonalnym. Okazało się, że w związkach tych występują bloki spinelowe.

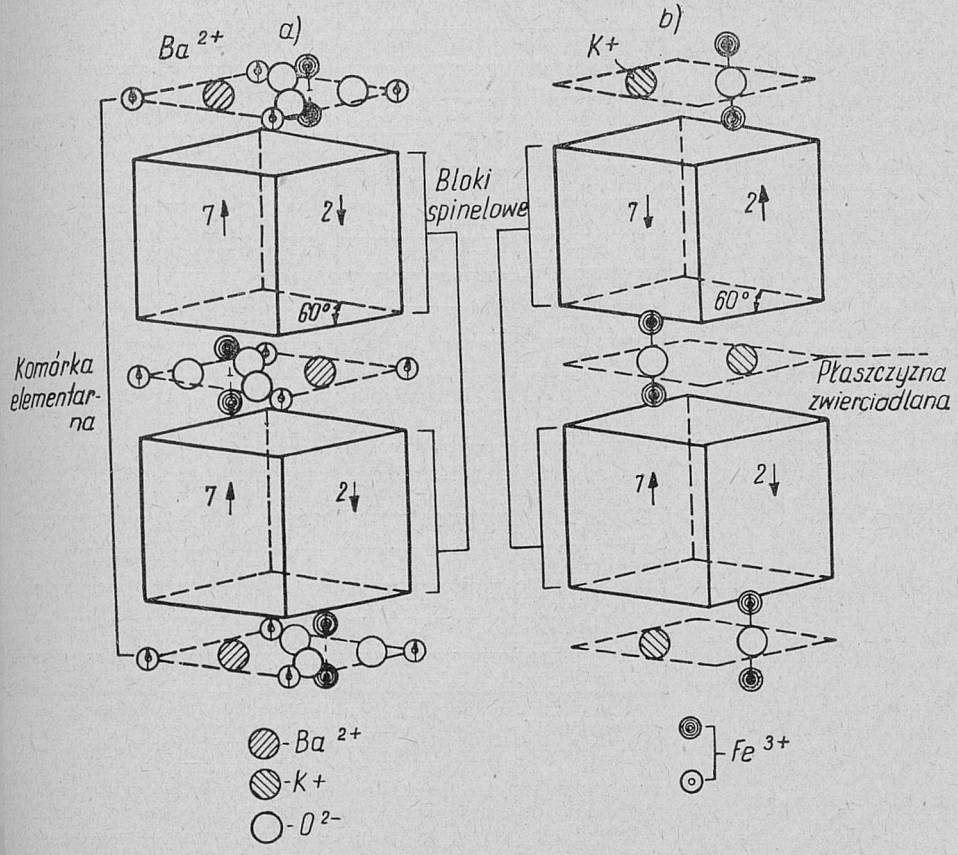
Sama obecność bloków spinelowych w strukturze $BaFe_{12}O_{19}$ nie wyjaśnia jeszcze jego ferromagnetycznego charakteru, jeśli uwzględni się fakt, że w ferrycie potasowym $KFe_{11}O_{17}$ występują również bloki spinelowe identycznie zorientowane, a materiał ten nie ma własności magnetycznych.

Wiadomo, że charakter ferromagnetyczny materiału jest własnością jego stanu krystalicznego i pojawia się wówczas, gdy momenty magnetyczne kationów w komórce elementarnej, tworzące daną strukturę, nie zostaną zrównoważone. Néel [3] wykazał, że wzajemne działanie dwóch jonów magnetycznych, a w związku z tym kierunki ich momentów magnetycznych, zależą od położenia tych jonów w sieci krystalicznej. Między jonami zajmującymi sąsiednie nierównorzędne pozycje (np. pustki oktaedryczną i tetraedryczną), istnieje silna skłonność do przeciwnego ustawiania się ich momentów magnetycznych. Między jonami zajmującymi sąsiednie równorzędne pozycje (np. wyłącznie pustki tetraedryczne) występuje również pewna skłonność do przeciwnego ustawiania się momentów, ale w znacznie mniejszym stopniu.

Jak już wspomniano, w obu strukturach znajdują się bloki spinelowe powiązane warstwami „mieszanymi" (uwidocznionymi na rys. 1). W ferrycie barowym w warstwie tej oprócz jonu Ba^{+2} znajdują się trzy jony tlenowe oraz jeden jon Fe^{+3}. W ferrycie potasowym $KFe_{11}O_{17}$ w warstwie „mieszanej" w odróżnieniu od ferrytu barowego znajduje się jeden jon tlenowy, natomiast brakuje tutaj jonu żelazowego. Stan ten powoduje zasadniczą różnicę w zachowaniu się magnetycznym obu związków. W rezultacie warstwa „mieszana" z jonem K^+ tworzy niejako płaszczyznę zwierciadlaną dla kierunków mo-

mentów magnetycznych w obu połówkach komórki, dając w efekcie znoszenie się ich momentów wypadkowych. Dlatego substancja ta nie wykazuje własności magnetycznych.

Przydatność ferrytu barowego na magnesy trwałe wiąże się z jednej strony z jego heksagonalną strukturą krystaliczną, z drugiej zaś z możliwością dobrania takiej ziarnistości materiału, by procesy magnesowania następowały tylko na drodze



Rys. 1. Porównanie struktury ferromagnetycznego $BaFe_{12}O_{19}$ (a) ze strukturą anitiferromagnetycznego $KFe_{11}O_{17}$ (b) według Rathenau'a [4]

obrotów spinów w jednodomenowych krystalitach. Według teorii Néela natężenie koercyjne materiału o jednodomenowej strukturze jest wprost proporcjonalne do jego stałej anizotropii magnetycznej. Ponadto krytyczna średnica jednodomenowego krystalitu jest proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego stałej anizotropii.

Ponieważ stała anizotropii magnetycznej $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ jest bardzo duża i $\sim$ 20-krotnie przewyższa stałą anizotropii żelaza, ziarna o średnicy $1/\mu$ mają już strukturę jednodomenową, a materiał o tej ziarnistości wykazuje duże natężenie koercyjne.

2. Technologia wytwarzania ferrytów baru.

Jako materiały wyjściowe do otrzymywania ferrytu baru stosowano: tlenek żelaza Fe_2O_3, tlenek baru BaO, nadtlenek baru BaO_2 i węglan baru $BaCO_3$.

Tlenek żelaza otrzymywano przez ogrzewanie mrówczanu żelaza przy temperaturze 300°C. Podczas rozkładu następowało samozapalanie się produktu, w wyniku czego uzyskiwano drobny pył tlenku żelaza α-Fe_2O_3.

Tlenek baru stosowany w doświadczeniach otrzymywany był z nadtlenku chemicznie czystego, który wyżarzano w próżni.

Do prób wstępnych stosowano również nadtlenek baru, jednak nie uzyskano przy jego użyciu ferrytów o dobrych własnościach magnetycznych. Węglan baru stosowany w próbach odwadniany był uprzednio przez żarzenie w próżni.

Wszystkie materiały wyjściowe przesiewano przez sito 0,06 mm.

Proces otrzymywania ferrytów składał się z następujących operacji: przygotowanie mieszanki, prasowanie brykietów, spiekanie wstępne, rozdrabnianie brykietów, ponowne prasowanie, spiekanie ostateczne i ew. obróbka mechaniczna.

Mieszanie składników przeprowadzano w kulowych mieszalnikach żelaznych. Przeprowadzano próby mieszania zarówno na sucho, jak i na mokro przy użyciu wody. Czas mieszania wynosił 48 godzin. Mieszankę prasowano w matrycach stalowych na prostopadłościenne kształtki o wymiarach 49 mm $\times$ $\times$ 32 mm $\times$ 15 mm, przy czym ciśnienie prasowania wynosiło ok. 2,2 t/cm^2.

Operacja wyżarzania wstępnego miała na celu syntezę ferrytu (żelazinu). W przypadku stosowania węglanu baru następował przy tym jego rozkład na tlenek baru.

Wyżarzanie przeprowadzano w piecach sylitowych przy temperaturze 1030°C w atmosferze powietrza.

W czasie wyżarzania wstępnego następuje spieczenie brykietów. Dla uzyskania wysokiej siły koercji produktu końcowego, brykiety rozdrabniano w ucieraku misowym.

Po przesianiu przez sito 0,06 mm, proszek prasowano na prostopadłościenne próbki o wymiarach 19 mm $\times$ 9,5 mm $\times$ 7 mm przy ciśnieniu 5 t/cm^2 i 10 t/cm^2 w nierozbieralnej matrycy stalowej. Stwierdzono, że dla uzyskania nieuszkodzonej prasówki istotnym warunkiem jest jej szybkie wypychanie z matrycy po sprasowaniu.

Ostateczne wyżarzanie kształtek przeprowadzano w piecu sylitowym przy różnych temperaturach w czasie od 0,5 godz. do 6 godz.

Z uwagi na konieczność uniknięcia naprężeń wewnętrznych, zarówno podgrzewanie, jak i chłodzenie, były bardzo powolne. Próbki od 0 do 200°C ogrzewano przez 1 godz., następnie co 1 godz. podnoszono temperaturę o 100°C.

Po uzyskaniu żądanej temperatury i utrzymaniu jej przez określony przeciąg czasu następowało chłodzenie z piecem, względnie przenoszono próbki do innego pieca o temperaturze 900°C, w którym chłodzono je powoli wraz z piecem.

3 Badania rentgenograficzne ferrytów.

Opracowanie metody wytwarzania ferrytu barowego opierało się na wynikach rentgenograficznych badań produktów spiekania $BaCO_3$ z Fe_2O_3 oraz innych surowców. Wobec tego, że dotychczasowe dane rentgenograficzne dostępne w literaturze odnośnie $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ były bardzo ogólnikowe, wyniknęła przede wszystkim potrzeba otrzymania drogą syntezy związku $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, zidentyfikowania jego struktury oraz ustalenia charakterystycznego dlań rentgenogramu proszkowego.

Z kolei przy pomocy otrzymanego wzorca przystąpiono do ustalenia najkorzystniejszej temperatury i czasu potrzebnego dla przeprowadzenia syntezy ferrytu barowego ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$) oraz określano stopień przereagowania składników w poszcze-

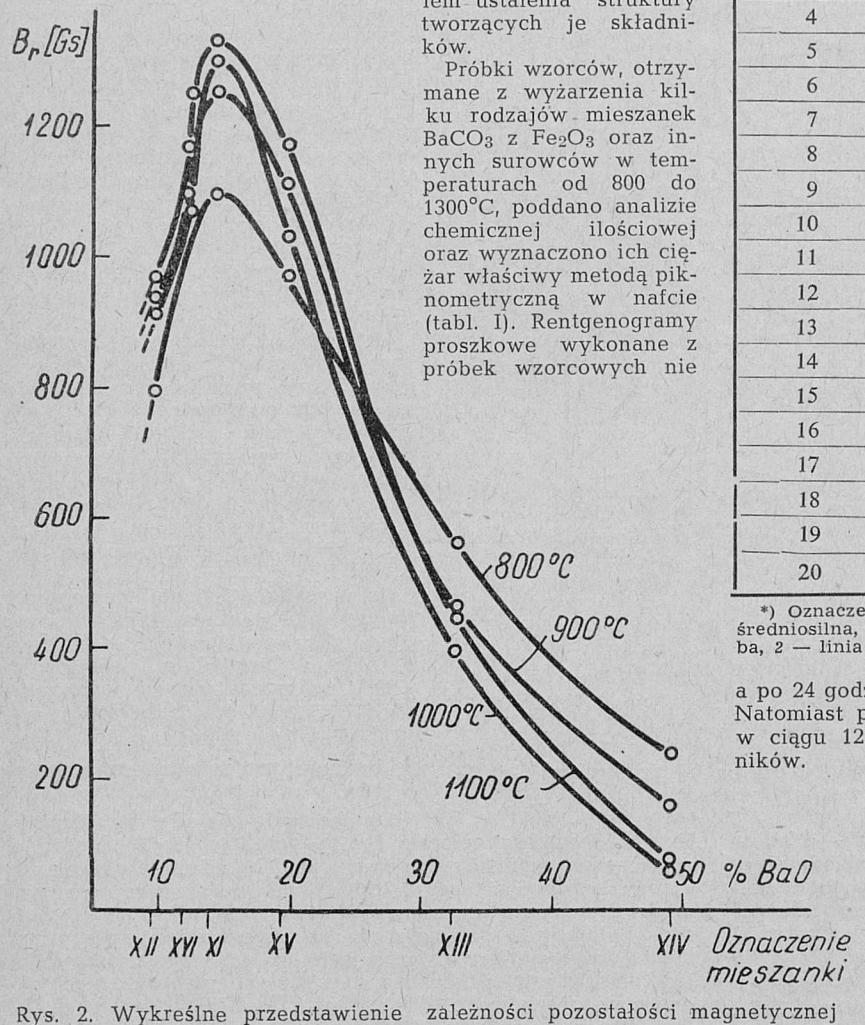
Tablica I

Oznaczenie próbki	Orientacyjna średnica ziarna (mm)	Skład chemiczny w % ciężar.		Ciężar właściwy (g/cm)	Własności	
		BaO	Fe_2O_3		$_1H_c$	B_r
Nr 1	$\sim$1 mm	14,1	85,80	5,32	100	425
Nr 2	$\sim$0,8 mm	15,36	84,56	5,36	230	688
Nr 3	$\sim$0,08 mm	13,4	86,55	5,22	nie oznaczono	
Nr 4	poniżej 0,08 mm	13,80	86,0	5,28	2750	1300
$BaO \cdot 6Fe_2O_3$	—	skład teoretyczny		c. wł. rentgenowski		
		13,79	86,21	5,3	—	—

gólnych stadiach produkcji w zależności od składu mieszanek oraz zmiany warunków prowadzenia procesu. Następnie przebadano zależność między składem chemicznym próbek, ich własnościami magnetycznymi oraz zawartością fazy $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$. Badania strukturalne przeprowadzano metodą Debye'a-Scherrer'a (kamera o średn. 114,6 mm) oraz metodą Laue'go w kamerach własnej konstrukcji [5]. Stosowano promieniowanie filtrowane lampy kobaltowej oraz promieniowanie „białe" lampy wolframowej.

Przed przystąpieniem do sporządzania mieszanek poddawano surowce wyjściowe rentgenograficznej analizie fazowej celem ustalenia struktury tworzących je składników.

Próbki wzorców, otrzymane z wyżarzenia kilku rodzajów mieszanek $BaCO_3$ z Fe_2O_3 oraz innych surowców w temperaturach od 800 do 1300°C, poddano analizie chemicznej ilościowej oraz wyznaczono ich ciężar właściwy metodą piknometryczną w nafcie (tabl. I). Rentgenogramy proszkowe wykonane z próbek wzorcowych nie



Rys. 2. Wykreślne przedstawienie zależności pozostałości magnetycznej (B_r) od składu chemicznego w układzie BaO—Fe_2O_3, próbki wyżarzano w różnych temperaturach w ciągu 24 godz.

wykazywały obecności linii składników wyjściowych, natomiast obecne były linie związku o składzie $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, które zindeksowano w układzie ortoheksagonalnym, stwierdzając stosunek osi $\frac{c}{a} = 3{,}94$. W tabl. II podano początkowe linie otrzymanego rentgenogramu wzorcowego $BaO \cdot 6Fe_2O_3$.

Zdjęcia Laue'go, otrzymane z pojedynczych kryształków, wykazywały obecność sześciokrotnej osi symetrii oraz przynależność struktury do klasy Laue'go D_{6h}.

Wymiary komórki elementarnej $a = 5{,}89$ Å, $c = 23{,}22$ Å, zawierającej dwie cząsteczki $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, obliczone na podstawie pomiarów wykonanych ze zdjęć proszkowych były zgodne z danymi literatury.

Podczas preparowania związku $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ stwierdzono, że synteza jego zostaje zapoczątkowana w temperaturach niższych niż 800°C.

W mieszankach o składzie stechiometrycznym ($BaO + 6Fe_2O_3$), wyżarzanych w temperaturze 800°C w ciągu 12 godzin, stwierdzono znaczny stopień przereagowania składników w kierunku tworzenia związku $BaO \cdot 6Fe_2O_3$. Po 24-godzinnym żarzeniu zawartość nieprzereagowanego α-Fe_2O_3 i BaO_3 zmniejszyła się do kilkunastu procentów. W temperaturze 900°C, po 12-godzinnym żarzeniu, ilość wolnego α-Fe_2O_3 wynosiła ok. 2%,

Tablica II. Rentgenogram proszkowy ferrytu: $BaO.6Fe_2O_3$

Lp. linii	Intensywność względna*) promieniowanie CoK_α	d_{hkl} (Å)	Indeksy ortoheksagonalne (hkl)
1	*3*	4,96	100
2	*3*	4,64	102
3	*3*	3,85	104
4	*2*	3,44	105
5	*1*	3,08	106
6	*6*	2,94	110
7	*4*	2,89	008
8	*3*	2,84	112
9	*8*	2,78	107
10	*8*	2,62	114
11	*2*	2,55	200
12	*2*	2,52	201, 108
13	*7*	2,42	203
14	*1*	2,339	116, 204
15	*1*	2,294	109
16	*7*	2,234	205
17	*6*	2,125	206
18	*1*	2,075	118
19	*1*	2,022	207
20	*3*	1,946	10, 11

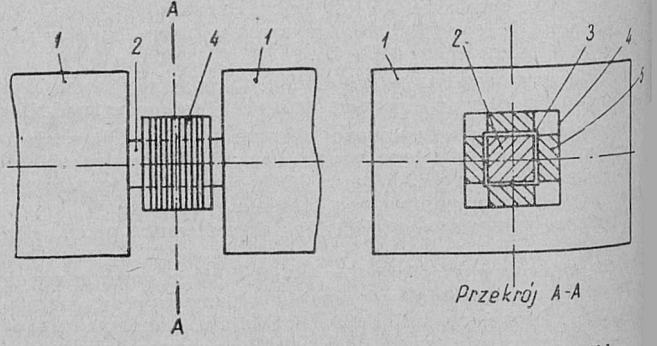
*) Oznaczenia: *8* — linia bardzo silna, *7* — linia silna, *6* — linia średniosilna, *5* — linia średnia, *4* — linia średniosłaba, *3* — linia słaba, *2* — linia bardzo słaba, *1* — linia bardzo bardzo słaba.

a po 24 godzinach nie stwierdzono zupełnie obecności α-Fe_2O_3. Natomiast podczas wyżarzania przy temperaturze 1000°C już w ciągu 12 godzin osiągano zupełne przereagowanie składników.

Wynika stąd zalecenie dla technologii, że syntezę ferrytu barowego, czyli tzw. spiekanie wstępne można z powodzeniem prowadzić w temperaturach ok. 1000°C dobierając tylko odpowiednio długi czas wyżarzania. Przez zastosowanie niższej temperatury syntezy unika się niekorzystnego wzrostu ziarna, a zachowuje się przy tym jeszcze wystarczającą ruchliwość atomów dla uzyskania uporządkowania sieci krystalicznej. Wpływ wielkości ziarna na własności magnetyczne ilustruje tabl. I.

Z dokonanych badań rentgenograficznych wynika, że ferryt barowy tworzy się łatwo przy 4 do 24% BaO a nawet i przy wyższych zawartościach, przy czym w przedziale od 4 do 13,8% w temp. do 1300°C nie powstawały żadne nowe fazy oprócz $BaO \cdot 6Fe_2O_3$.

Przy zawartościach BaO większych od 13,8% pojawiały się już nowe związki. W obecności nadmiaru α-Fe_2O_3 jak również

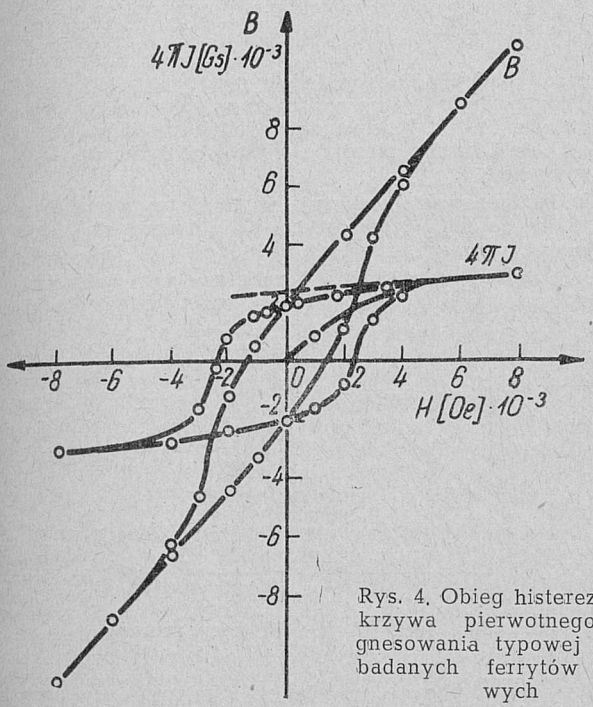


Rys. 3. Stosowana cewka pomiarowa wraz z próbką
1 — nabiegunniki jarzma
2 — badana próbka
3 — cewka do pomiaru indukcji B
4 — cewka do pomiaru pola H
5 — wsporniki

BaO nie stwierdzano tworzenia się roztworu stałego tlenku żelazowego ani BaO w ferrycie barowym.

Nasze badania układu $BaO\text{-}Fe_2O_3$ wykazały, że zakres występowania związku $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ jest bardzo szeroki. Występowanie jego stwierdzono w próbkach zawierających od 4 do 49% BaO, wyżarzanych przy temperaturach od 800 do 1200°C (i 1300°C).

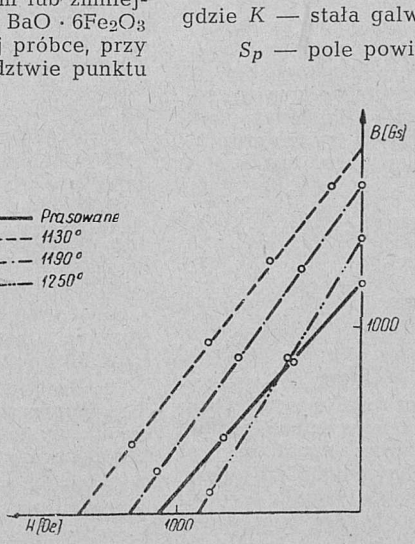
Badając zależności pomiędzy składem chemicznym próbek a ich własnościami magnetycznymi w szerokim przedziale temperatur wyżarzania (w ciągu 24 godzin) stwierdzono (rys. 2), że ich pozostałość magnetyczna wykazuje maksimum w sąsiedztwie 13,8% BaO i maleje powoli wraz ze wzrostem BaO,



Rys. 4. Obieg histerezy oraz krzywa pierwotnego magnesowania typowej próbki badanych ferrytów barowych

natomiast szybko wraz ze zmniejszaniem się jego ilości. Przebieg krzywych (rys. 2) nasuwa przypuszczenie, że w badanym materiale występuje faza magnetyczna $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, której zawartość zmienia się stopniowo wraz ze wzrostem lub zmniejszaniem się ilości BaO. W rzeczywistości fazę $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ stwierdzano rentgenograficznie w każdej badanej próbce, przy czym największa jej ilość występowała w sąsiedztwie punktu 13,8% BaO. Stromy przebieg krzywych na rys. 2 w kierunku mniejszych zawartości BaO niż 13,8% może znaleźć swoje uzasadnienie w dużej wrażliwości struktury ferrytu barowego na braki ilościowe jonów barowych oraz w istnieniu małego udziału molowego BaO w drobinie $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, które powodują to, że przy niedużym ubytku BaO następuje znaczny spadek zawartości procentowej ferrytu barowego w materiale.

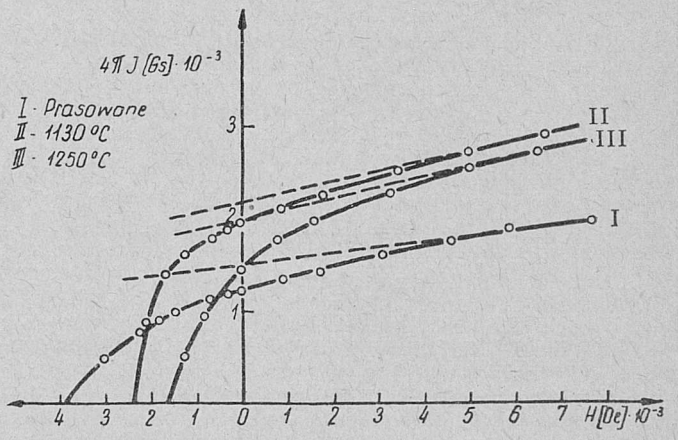
Jak wiemy, obecność jonów barowych w warstwach mieszanych — wiążących bloki spinelowe w strukturze $BaO \cdot 6Fe_2O_3$, wywołuje w nich przewagę jednokierunkowej orientacji momentów magnetycznych jonów Fe^{3+}, czyli warunkuje występowanie własności magnetycznych w materiale. Dlatego wszelkie defekty i zaburzenia w rozmieszczeniu jonów barowych obniżają znacznie jego własności. Względy te przemawiają za zastosowaniem w praktyce mieszanek o pewnym nadmiarze BaO w stosunku do składu stechiometrycznego związku $BaO \cdot 6Fe_2O_3$. Szczególnie w warunkach technicznych należy liczyć się z tym, że dokładne zestawienie mieszanki na skład stechiometryczny $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ i następne idealne zmieszanie składników nigdy nie zdarza się, a zatem nieduży nadmiar BaO jest pożądany.



Rys. 6. Wpływ temperatury spiekania na przebieg krzywej odmagnesowania w układzie B/H

4. Stosowane magnetyczne metody pomiarowe.

Rys. 3 przedstawia szczegóły dotyczące stosowanego sposobu pomiaru. Między biegunami podwójnego jarzma Neumanna *1* umieszczano próbkę ferrytu *2* najczęściej w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 6 mm × 9 mm × 20 mm. Na próbkę nasuwano cewkę z dwoma uzwojeniami *3*, *4* oddzielonymi wspornikami 5. Liczba zwojów cewki 3 jest $z_1 = 100$, cewki *4* jest $z_2 = 50$; ponadto powierzchnie obejmowane przez obydwie cewki są tak dobrane, żeby $S_2 = 2\,S_1$. W uzwojeniu 3 po 50 zwojach wyprowadzano dodatkowy przewód tak, by zwoje te połączyć szeregowo, lecz w przeciwnym kierunku z uzwojeniem *4*. Tak połączone uzwojenia służyły do pomia-



Rys. 5. Wpływ temperatury spiekania na przebieg obiegu histerezy

rów zmian natężenia pola magnesującego ΔH wywołującego zmianę ΔJ:

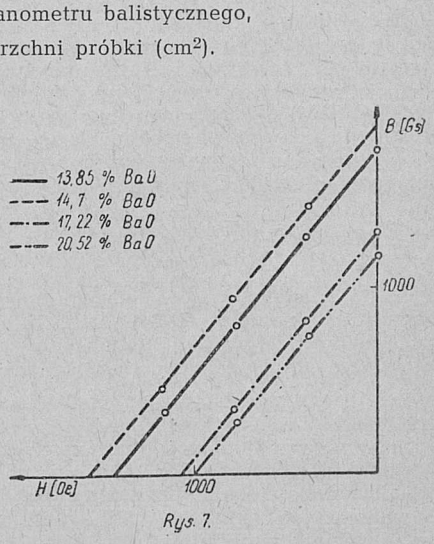
$$\Delta H = \frac{K \cdot \alpha_{\Delta H}}{Z_1 (S_2 - S_1)}. \tag{1}$$

Sto zwojów uzwojenia 3 połączono szeregowo i również w przeciwnym kierunku z uzwojeniem *4* i całość służyła do pomiarów ΔI według wzoru.

$$\Delta I = \frac{K \cdot \alpha_{\Delta I}}{S_p (Z_1 - Z_2)}. \tag{2}$$

gdzie K — stała galwanometru balistycznego,

S_p — pole powierzchni próbki (cm^2).



Rys. 7.

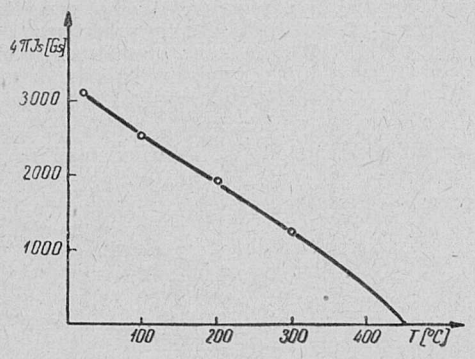
Rys. 7. Wpływ zawartości procentowej BaO na przebieg krzywej odmagnesowania w układzie B/H

Obieg histerezy w układzie (B, H) otrzymywano ze związku:

$$B = H + 4\pi I. \tag{3}$$

Do pomiarów zależności natężenia koercyjnego od temperatury zastosowano wagę magnetyczną [6]. Próbkę w kształcie małego walca o średnicy 2,5 mm i wysokości 6 mm namagnesowaną uprzednio do stanu nasycenia, umieszczano w kwarcowej rurce tak, by oś próbki była równoległa do linii poła

magnetycznego elektromagnesu, a kierunek linii pola był przeciwny kierunkowi namagnesowania próbki. W tych warunkach próbka była wypychana z obszaru między biegunami elektromagnesu aż do momentu gdy wartość $I = 0$. Moment ten występował bardzo wyraźnie, a otrzymane wartości natężenia



Rys. 8. Zależność $4\pi I_S$ od temperatury

koercyjnego były powtarzalne i zgodne z wynikami otrzymanymi z obiegu histerezy.

Do pomiarów magnetyzacji nasycenia I_S użyto również wagi magnetycznej [6] posługując się wzorem:

$$F = m \cdot \sigma \cdot \frac{dH}{dX} = V \cdot I_s \cdot \frac{dH}{dX} \tag{4}$$

gdzie m — masa próbki
σ — moment magnetyczny jedności masy,
F — siła wciągająca próbkę (w dynach),
$\frac{dH}{dX}$ — gradient pola magnetycznego w kierunku siły wciągającej,
V — objętość próbki.

5. Własności magnetyczne badanego ferrytu baru.

Rys. 4 przedstawia obieg histerezy typowej próbki ferrytu barowego zarówno w układzie B, H jak i $4\pi I$, H oraz krzywe pierwotnego namagnesowania w zakresie pól magnetycznych do 8000 erstedów. Jak widać, nie uzyskiwano pełnego nasycenia, które następuje dopiero w polu ok. 10,000 erstedów.

Wpływ temperatury spiekania na przebieg obiegu histerezy pokazuje rys. 5. Wykres wskazuje, że w temperaturze 1250°C nastąpił już rozrost ziarna, który powoduje stosunkowo szybki spadek magnetyzacji próbki przy zmniejszaniu pola magnesującego. Na rys. 6 przedstawiono w układzie B/H krzywe odmagnesowania próbek spiekanych przy różnych temperaturach. Najlepsze własności magnetyczne, otrzymane przy temperaturze spiekania 1130°C, wynoszą:

$$B_r = 1900\ Gs; \qquad {}_BH_c = 1550\ \text{Oe};$$
$$(B \cdot H)_{max} = 0{,}72 \cdot 10^6\ \text{Gs x Oe}.$$

Ponadto zbadano krzywe odmagnesowania próbek o różnej zawartości procentowej BaO (rys. 7). Przy zawartości 14,7% BaO, odpowiadającej w przybliżeniu związkowi $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$, otrzymuje się najwyższe własności magnetyczne.

Rys. 8 i 9 przedstawiają przebieg zależności magnetyzacji nasycenia oraz natężenia koercyjnego od temperatury. Magnetyzacja nasycania maleje wraz z temperaturą niemal liniowo i spada do zera w punkcie Curie wynoszącym 450°C. Ujemny współczynnik temperaturowy zmian magnetyzacji wynosi w zakresie do 350°C ok. 0,2%, czyli ok. 10 razy więcej niż współczynnik materiałów typu Alni.

Natężenie koercyjne magnetyzacji wzrasta od 2000 erstedów w temperaturze pokojowej do 4450 erstedów w temperaturze 230°C, a później maleje do zera w pobliżu punktu Curie.

Zbadano również stateczność własności magnetycznych przy zmianach temperatury i przy działaniu zewnętrznych pól magnetycznych. Stwierdzono, że w zakresie do 400°C zmiany pozornej pozostałości magnetycznej są odwracalne. Również rozmagnesowanie próbki w polu stałym o natężeniu do 1600 erstedów nie wywołuje wyraźnego odmagnesowania nieodwracalnego.

Ta własność ferrytów barowych pozwala na oddzielne magnesowanie magnesów i wmontowanie ich dopiero później w obwód magnetyczny. Pole własne nawet bardzo krótkiego magnesu nie wpływa na trwałe przesunięcie się jego punktu pracy. Własność ta w połączeniu z wysoką wartością natężenia koercyjnego ferrytu pozwala konstruować magnesy barowe o małej wysokości i dużej powierzchni przekroju prostopadłego do kierunku magnetyzacji.

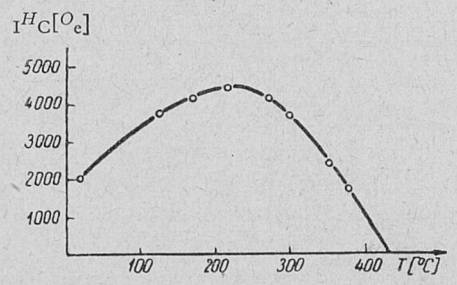
6. Uwagi końcowe i wnioski.

1. Przeprowadzone badania rentgenograficzne zarówno nad układem $BaO{\cdot}Fe_2O_3$, jak i nad ustaleniem składu mieszanek na ferryty barowe wykazują, że decydujący wpływ na własności tworzywa ma występowanie fazy magnetycznej $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$.

2. Związek $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$ o składzie ciężarowym 13,8% BaO jest bardzo trwały i tworzy się łatwo w zakresie temperatur od ok. 800 do 1300°C. Zakres jego występowania w układzie $BaO—Fe_2O_3$ jest bardzo szeroki i wynosi od kilku do ~ 50% ciężarowych BaO.

3. Dane rentgenowskie wskazują na to, że w przedziale powyżej 13,8% do 66% ciężarowych BaO tworzą się również nowe związki, różne od struktury $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$.

4. Celem uniknięcia defektów i zaburzeń w rozmieszczeniu jonów barowych w siatce $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$, co powoduje obniżenie



Rys. 9. Zależność $_IH_C$ od temperatury

własności magnetycznych, należy w namiarze surowcowym stosować około 1% nadmiar BaO.

5. Stwierdzono, że zwiększenie gęstości materiału wpływa dodatnio na własności magnetyczne, szczególnie na wartość pozostałości magnetycznej. Należy więc dążyć do prasowania kształtek pod możliwie największymi ciśnieniami.

6. Stwierdzono, że wielkość ziarna fazy $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$ ma wpływ na jej własności magnetyczne, co jest zgodne z danymi literatury. Należy dążyć do uzyskania małego ziarna już w wyżarzaniu wstępnym, co ułatwia utrzymanie go w wyżarzaniu głównym.

7. W temperaturze 1000°C w ciągu 12 godzin uzyskuje się całkowite przereagowanie składników w kierunku utworzenia $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$.

8. Duże natężenie koercyjne, mała przenikalność magnetyczna, średnia wartość iloczynu energii $(BH)_{max}$ kwalifikują materiał na magnesy trwałe.

9. Ze względu na konieczność wyeliminowania deficytowego kobaltu i niklu należy jak najszybciej wprowadzić magnesy na osnowie ferrytu baru do produkcji.

10. Nowy materiał na magnesy ma odmienne własności od dotychczas stosowanych i dlatego konieczna jest współpraca przemysłu telekomunikacyjnego i elektrotechnicznego przy projektowaniu kształtek użytkowych z tego tworzywa.

11. W celu zwiększenia indukcji magnetycznej oraz iloczynu energii $(BH)_{max}$ należy przeprowadzić próby opanowania metody wytwarzania anizotropowych ferrytów barowych.

LITERATURA

[1] Went I. I., Rathenau G. W., Gorter E. W., Oosterhout G. W. Philips Techn. Rundsch., 13, nr 12 (1952), str. 361
[2] Adelsköld V. Arkiv für Kemi Mineralogi och Geologi, Bd. 12 A, nr 29 (1938), str. 1
[3] Néel L. An. Physique, 3 (1953), str. 137
[4] Rathenau G. W. Rev. of Modern Phys., vol. 25, nr 1 (1953), str. 297
[5] Bojarski Z., Romer E., Ziołowski Z. Prace I. M. Met., 4 (1952), str. 313
[6] Kozłowski L., Siewierski J. Prace I. M. H., 5 (1953), str. 47

III. PRODUKTY NAFTOWE I POKREWNE

MGR INŻ. BOLESŁAW DRYŚ
MGR INŻ. ZBIGNIEW SICIŃSKI
Instytut Elektrotechniki
Zakł. Mater. Elektr.

Oleje i woski izolacyjne

621.315.615.2:621.315.616.98;621.315.6

Treść. Oleje mineralne kondensatorowe, transformatorowe i kablowe. Syntetyczne oleje kondensatorowe i transformatorowe. Woski mineralne i syntetyczne. Stan krajowych zagadnień produkcyjnych, przetwórczych i eksploatacyjnych. Niektóre krajowe zagadnienia ekonomiczne. Kierunki krajowych prac badawczych i przemysłowych.

1. Podział olejów.

Oleje izolacyjne rozpatruje się zazwyczaj w zależności od ich zastosowania, jednak do omówienia problemów związanych z materiałowo-surowcową stroną tego zagadnienia następujący podział wydaje się bardziej celowy:

1) Oleje mineralne lekkie: a) oleje transformatorowe i wyłącznikowe, b) oleje kondensatorowe, c) oleje do kabli najwyższych napięć.
2) Oleje mineralne ciężkie: a) oleje do kabli niskonapięciowych, b) oleje do kabli wysokonapięciowych.
3) Chloropochodne węglowodorów aromatycznych: a) syntetyczne oleje transformatorowe, b) syntetyczne oleje kondensatorowe.
4) Oleje sylikonowe.

Należy wyraźnie zaznaczyć, że poszczególne pozycje w takim podziale bynajmniej nie są równoważne z punktu widzenia ilościowego zapotrzebowania. Materiały wymienione w punktach 1) i 2) wyczerpują w zasadzie ilościowe zapotrzebowanie przemysłu elektrotechnicznego, pozostałe zaś są wyrazem postępu technicznego, mają niektóre własności lepsze od poprzednich, zwiększają niejednokrotnie zakres ich zastosowania, jednak zagadnienie ich produkcji w kraju jest dopiero w początkowym stadium rozwiązywania.

2. Mineralne oleje transformatorowe [9].

Ogólną ilość oleju transformatorowego będącego w eksploatacji można oszacować na ~ 30 000 ton; z tego połowa w energetyce zawodowej, reszta w energetyce przemysłowej. Czas eksploatacji czyli okres pracy oleju jest zależny od warunków pracy transformatora i własności początkowych oleju. Dla jednostek dużej mocy i na wysokie napięcia okres służby wynosi 4 ... 8 lat, dla transformatorów mniejszych i nie przeciążanych — około 10 lat. Te orientacyjne dane dotyczą olejów pracujących w energetyce zawodowej. W energetyce przemysłowej okresy są prawdopodobnie nieco krótsze, co jest spowodowane brakiem zorganizowanej opieki nad olejami i nieznajomością racjonalnej gospodarki olejowej. Średni czas eksploatacji olejów jest nieco dłuższy od podanego wyżej, gdyż olejami nienadającymi się do pracy w jednostkach pierwszej klasy (w ujęciu PN/E—24000) napełniane są niejednokrotnie jednostki drugiej klasy. Liczby powyższe są orientacyjne, dokładne dane są trudne do ustalenia z tego powodu, że w całym szeregu transformatorów olej wymieniano w pierwszych latach powojennych bez zanotowania daty wymiany. Z grubsza można oszacować roczne zapotrzebowanie nowego oleju transformatorowego na ~ 4 000 ton. Zapotrzebowanie nie jest jednoznaczne ze zużyciem takiej ilości oleju, gdyż duża część oleju zestarzonego wraca do powtórnej przeróbki. Surowcem do produkcji olejów transformatorowych w kraju są ropy naftowe własne i importowane, a więc różne. Z tego względu nawet przy stosowaniu stale tej samej technologii produkcji produkty końcowe muszą różnić się między sobą. Pomimo zmiennego surowca należy jednak stwierdzić, że nawet przy dodatkowej trudności oleje transformatorowe krajowe są dobre i produkcja wystarczająco jednolita.

Przy stosunkowo małym zapotrzebowaniu nowego oleju transformatorowego jedna rafineria powinna je w zupełności pokryć. Przy produkcji w kilku rafineriach jest celowe, aby każdy gatunek oleju był wytwarzany przez jedną rafinerię, np. olej transformatorowy A (temperatura krzepnięcia 5°), olej transformatorowy B (temperatura krzepnięcia —35°C). Pozwoli to na wyspecjalizowanie się producenta w jednym kierunku produkcji i ułatwi porozumienie się dostawcy i odbiorcy co do jakości produktu.

Teoretycznie rzecz biorąc, zużycie oleju transformatorowego powinno być nieznaczne i powinno wynosić ułamki procentu oleju ogólnie znajdującego się w eksploatacji, gdyż takie ilości ulegają zniszczeniu na skutek naturalnego starzenia. Pozostała ilość wymienianego oleju (najmniej 10% rocznie ogólnej ilości oleju eksploatowanego) powinna powracać do dalszej przeróbki. Więksi użytkownicy we własnym zakresie przeprowadzają oczyszczanie oleju zestarzonego i otrzymują w rezultacie tzw. olej regenerowany o własnościach wyjściowych nieco gorszych od normalnego nowego oleju. Olej taki jest chemicznie mniej stateczny od nowego i jego czas pracy w transformatorze będzie krótszy, powinien więc być uważany za nowy olej gorszego gatunku. Regeneracja chemiczna przeprowadzana we własnym zakresie jest bezsprzecznie dla użytkownika opłacalna, jest tańsza od kosztów zakupu nowego oleju, jednak w skali ogólnopaństwowej można ją uzasadnić tylko ubocznymi powodami miejscowymi, np. trudnościami transportowymi.

Zagadnienie właściwej eksploatacji olejów rozpatruje się zazwyczaj od strony pewności ruchu transformatorów i bezpieczeństwa pracy, problem zaś obniżenia ich zużycia jest traktowany jako drugorzędny. Wynika to stąd, że oleje nie są najkosztowniejszą częścią urządzeń, w których pracują. Stwierdzenie tego nie zwalnia jednak z obowiązku oszczędnej gospodarki olejowej. Prace badawcze nad olejami są również w ten sposób organizowane, przy czym najczęściej problemy pewności i bezpieczeństwa pracy transformatorów pokrywają się z zagadnieniami oszczędności zużycia olejów.

Olej transformatorowy nie nadaje się do pracy przy zanieczyszczeniu go substancjami pochodzenia zewnętrznego albo na skutek zestarzenia się w eksploatacji. W wyniku analizy takich parametrów pracy, jak temperatura, wilgoć, działanie tlenu, dochodzi się do wniosku, że na szybkość starzenia możemy wpływać kilkoma metodami.

Starzenie oleju transformatorowego przebiega tylko w obecności tlenu, jeżeli nie brać pod uwagę ewentualnego rozkładu pyrogenicznego. Odcięcie lub utrudnienie dostępu powietrza, wpływające hamująco na przebieg starzenia, osiąga się przez stosowanie pływaków w odpowiedniego kształtu konserwatorze transformatora (pływaki pokrywają prawie całkowicie swobodną powierzchnię oleju) lub przez stosowanie nad olejem elastycznej poduszki napełnionej gazem obojętnym, której rozszerzenie kompensuje zmiany objętości oleju.

Drugi sposób obniżenia szybkości starzenia polega na usuwaniu produktów starzenia oleju. Zabieg ten nazywany regeneracją może być przeprowadzany periodycznie lub w sposób ciągły podczas pracy transformatora. Metoda regeneracji opiera się na zjawisku adsorbowania — na powierzchni ciała stałego — znajdujących się w roztworze substancji o drobinie większej lub bardziej polarnej od drobiny rozpuszczalnika. Ilość zaadsorbowanej substancji jest proporcjonalna do powierzchni adsorbenta, z tego powodu używa się do tych celów substancji o silnie rozwiniętej powierzchni, np. sylikażelu.

Przy regeneracji obiegowej ciągłej stosuje się zbiorniki z adsorbentem połączone na stałe z kadzią transformatora, podobnie jak radiatory. Przepływ oleju przez urządzenie jest termosyfonowy; z tego powodu sorbent musi być o odpowiednio dużej granulacji, zapewniającej mały opór przepływu. Sorbent nie może tworzyć w oleju zawiesiny, która przechodziłaby z olejem do kadzi. W latach 1950 ... 52 w Instytucie Elektrotechniki przeprowadzono pomyślnie próby nad zastosowaniem do tego celu krajowej ziemi odbarwiającej. Próby przeprowadzono na transformatorze o mocy 4 MVA.

Następnym sposobem obniżającym szybkość starzenia oleju jest jego stabilizacja. Różne oleje w tych samych warunkach starzeją się z rozmaitą szybkością, zależną od zawartości pewnych związków, najczęściej siarkowych, zwanych naturalnymi inhibitorami starzenia. Substancje stabilizujące są zawarte w surowym oleju i nie ulegają usunięciu podczas odpowiednio przeprowadzonej rafinacji.

Wynika z tego, że rafinacja jest zasadniczą czynnością przy otrzymywaniu olejów transformatorowych statecznych. Sprawa właściwej rafinacji dotychczas nie jest ostatecznie rozwiązana. Nie ma jednolitego przepisu technologicznego rafinacji, co jest spowodowane głównie różnicą w gatunkach ropy naftowej.

Przebieg starzenia olejów, zawierających substancje stabilizujące, jest tym znamienny, że w początkowym okresie jest nieznaczny, dopiero po pewnym czasie przybiera na intensywności. Początek szybkiego starzenia oleju nosi nazwę punktu indukcji. Oleje mineralne, pozbawione naturalnych inhibitorów przez zbyt głęboką rafinację, nazywamy przerafinowanymi lub białymi; praktycznie nie mogą one być użyte jako transformatorowe (bez dodatku sztucznych inhibitorów). Opierając się na powyższych spostrzeżeniach, stosuje się małe domieszki substancji, które nie pogarszając w zasadzie własności oleju stabilizują go, powodując przesunięcie się w czasie punktu indukcji. Rodzaj i ilość dodawanych stabilizatorów są zależne od gatunku, głębokości rafinacji i warunków pracy oleju. Z tych powodów nie można ustalić uniwersalnego inhibitora starzenia.

Stosowanie olejów stabilizowanych, mimo niewątpliwych zalet, wprowadza dużo niedogodności. Nie można mieszać olejów stabilizowanych różnymi inhibitorami, jak na ogół nie można również mieszać olejów stabilizowanych z niestabilizowanymi. Stąd wynika potrzeba posiadania zapasu różnych olejów i możliwość pomyłek.

Zagadnieniem stabilizacji olejów transformatorowych zajmuje się Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki wspólnie z Zakładem Technologii Nafty Instytutu Naftowego. Istnieją dwa problemy do rozwiązania. Pierwszy z nich to dobór odpowiednich inhibitorów i olejów, drugi to metody oceny olejów stabilizowanych, przy czym problem drugi musi być wpierw rozwiązany. Laboratoryjne metody oceny trwałości olejów zawodzą przy badaniach olejów stabilizowanych, gdyż albo zbyt ostre warunki starzeń laboratoryjnych zmieniają kierunek działania dodatków stabilizujących, albo stabilizatory w stosowanych warunkach są nietrwałe. Według prac zagranicznych [3] do oceny jakości olejów stabilizowanych stosuje się metodę mierzenia szybkości pochłaniania tlenu przez olej, jednak zarówno warunki wykonywania próby, jak i otrzymywane wyniki budzą wątpliwości.

W pracach IEl'u zastosowano starzenie olejów stabilizowanych w olejowych przekładnikach napięciowych w skrajnie niekorzystnych warunkach eksploatacyjnych. W ten sposób prowadzone starzenia muszą być długotrwałe, otrzymywane zaś wyniki mogą być rozpatrywane tylko w odniesieniu do wyników, uzyskanych przy olejach niestabilizowanych starzonych w identycznych warunkach, lub do wyników analogicznego starzenia olejów o innych inhibitorach. Wyżej wspomniane prace są w toku, za wcześnie byłoby rozpatrywać dotychczas osiągnięte wyniki.

Oleje niestabilizowane kontrolowano w IEl'u w czasie półtechnicznego sztucznego starzenia również pod kątem stratności dielektrycznej. Wykonywane przy częstotliwościach akustycznych i przemysłowych pomiary pozwoliły na wyciągnięcie wniosków, których wynikiem może być nowa metoda oceny jakości olejów stabilizowanych [11].

Należy podkreślić, że metody i kryteria oceny jakości nie tylko olejów stabilizowanych, ale nawet normalnych olejów transformatorowych, nie są jeszcze metodami jednoznacznymi. Wskazują na to zarówno doświadczenia praktyków, jak i opinie naukowców. Szczególnie kłopotliwe i niepewne są metody oceny trwałości olejów izolacyjnych.

Istnieją w kraju dwie normy dotyczące olejów transformatorowych. Pierwsza z nich PN/C—96058 dotyczy olejów nowych, jest ona odzwierciedleniem jakościowych możliwości produkcyjnych naszego przemysłu naftowego i ma charakter normy zdawczo-odbiorczej. Norma PN/E—24000 jest normą eksploatacyjną, podającą górne graniczne wartości dla poszczególnych własności, dopuszczalne dla olejów pracujących w transformatorze. Są sygnały z przemysłu i energetyki, że wymagania te szczególnie w zakresie własności chemicznych są za ostre i należy je złagodzić. Zmiana normy jednak wymaga wszechstronnego jej rozpatrzenia i wyczerpującej dyskusji zainteresowanych instytucji.

Ocena jakości olejów opiera się na badaniu kilku własności fizyko-chemicznych. Poddając je analizie — na podstawie dotychczasowych doświadczeń — dochodzi się do wniosku, że przy ocenie jakości oleju poszczególne jego własności mają różne stopnie ważności. Według utartych pojęć dla oceny jakości oleju najważniejsze są: liczba kwasowa, liczba smołowa i wytrzymałość dielektryczna. Omawiając badane wielkości należy zwrócić uwagę na ich indywidualny — niewyczerpujący — charakter informacyjny. Żadna z tych wielkości nie charakteryzuje jednoznacznie oleju; dopiero dyskusja całości wyników badań może stanowić podstawę właściwej oceny oleju.

Oprócz wielkości zalecanych przez wymienione normy znany jest szereg innych własności, na których podstawie można oceniać jakość oleju. Ocena jest oparta niejednokrotnie na zaobserwowanych lub wydedukowanych zależnościach pomiędzy własnościami, np. zmiana barwy i zmiana napięcia powierzchniowego podczas starzenia jest uważana przez niektórych za wskaźnik stopnia zestarzenia się oleju. W IElu na podstawie własnych doświadczeń stwierdzono, że zmiana barwy odzwierciedla przebieg starzenia jakościowo, lecz nie ilościowo. Pomiar zaś zmian napięcia powierzchniowego oleju obrazuje w pewnym sensie zmiany w nim zachodzące, jednak zmiany te są zbyt małe i przez to trudne do interpretacji, a więc wnioski z nich wyprowadzone są niepewne.

Osobny problem stanowią metody oceny trwałości olejów transformatorowych. Od razu trzeba stwierdzić, że żadna ze stosowanych metod sztucznego starzenia nie pozwala na wyciąganie wystarczająco wyczerpujących i ścisłych wniosków co do przyszłej pracy oleju. Zagadnienie to, jak i zagadnienie korelacji poszczególnych własności oleju w czasie jego starzenia, jest za obszerne, aby mogło być omówione w ramach tego referatu.

Wielkości elektryczne charakteryzują w pewnym stopniu olej, ale nie wszystkie pozwalają na wyciąganie wniosków o zmianach zachodzących w czasie jego pracy.

Wytrzymałość dielektryczna jest cechą bardzo zależną od zanieczyszczeń oleju; z tego powodu jest też nie do zastąpienia w kontroli ruchowej do określenia aktualnego zawilgocenia i zanieczyszczenia oleju, nie może być jednak miarodajna do oceny jego jakości.

Oporność właściwa oleju jest od strony teoretycznej dobrym miernikiem jakości oleju, jednak trudności pomiarowe i aparaturowe, jak również wpływ zanieczyszczeń oraz zjawisk ubocznych występujących przy pomiarze, uniemożliwiają — przynajmniej na razie — stosowanie pomiaru tej wielkości jako narzędzia kontrolnego jakości oleju.

Przenikalność dielektryczna ε, wielkość wyraźnie związana ze strukturą chemiczną oleju, ma zbyt małe zróżnicowanie dla poszczególnych olejów świeżych: również jej zmiany w toku eksploatacji są małe.

Wiele prac poświęconych jest ostatnio pomiarowi stratności dielektrycznej oleju (tg δ). W Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego IEl'u prowadzone są badania, mające na celu ustalenie nowych metod kontroli jakości, względnie zmian jakości olejów izolacyjnych, metod opartych na pomiarach stratności dielektrycznej. Proponuje się przy tym wykonywanie pomiarów przy częstotliwościach akustycznych w formie zdefiniowanych charakterystyk temperaturowych, które dają znacznie pełniejszy materiał dyskusyjny niż pomiary punktowe. Do pomiarów tych opracowano kondensator pomiarowy typu czaszowego. Wykonane badania pozwoliły na sugestie zastąpienia kłopotliwych, pracochłonnych i mało dokładnych oznaczeń chemicznych — liczby kwasowej i smołowej względnie zesmalania — znacznie prostszymi, szybszymi i dokładniejszymi oraz możliwymi do zautomatyzowania i rejestracji — pomiarami stratności dielektrycznej [11].

Równocześnie prowadzone są prace w kierunku korelacji własności chemicznych. Dotychczasowe wyniki prowadzonych w IEl'u prac pozwalają na sugerowanie nowych metod oceny jakości olejów. Wyniki te powinny jednak być przedyskutowane w możliwie szerokim zakresie, może nawet przy współpracy z zagranicą.

3. Oleje kondensatorowe i do kabli najwyższych napięć.

Oleje kondensatorowe stanowią ten sam typ oleju, co oleje transformatorowe, ze względu jednak na różne warunki pracy wymagania im stawiane są inne. Oleje kondensatorowe ulegają starzeniu tylko w czasie produkcji kondensatorów, późniejsza ich praca przebiega bez dostępu żadnego gazu. Przy wielkich natężeniach pola elektrycznego, na które oleje są narażone, podstawowym warunkiem ich przydatności są dobre własności elektryczne (stratność dielektryczna) i związane z nimi własności chemiczne. Drugorzędną rolę odgrywa ich odporność na utlenianie.

Używane oleje stanowią produkt głęboko rafinowany i ewentualnie potem inhibitowany. W czasie produkcji kondensatorów oleje są dokładnie odgazowywane i osuszane przy temperaturze 50 ... 110°C i ciśnieniu 0,5 ... 0,01 mm Hg w ciągu kilkudziesięciu godzin. Olej krążący w urządzeniu produkcyjnym częściowo zużywa się i wtedy uzupełnia go się świeżym produktem. W cyklu produkcyjnym olej zawyczaj dodatkowo bieżąco oczyszcza się ziemiami odbarwiającymi. Olej pracuje w kondensatorze zazwyczaj w temperaturze poniżej 50°C w ciągu 10 do 20 lat. Pomimo dość silnie rozwiniętej produk-

kondensatorów nie uruchomiono w kraju produkcji olejów kondensatorowych, używa się zamiast nich olejów transformatorowych, co niewątpliwie pogarsza jakość kosztownej produkcji. W związku z tym należałoby opracować normę materiałową lub na razie warunki techniczne odbioru oraz uruchomić produkcję olejów na podstawie literatury, doświadczenia dotychczasowej produkcji kondensatorów oraz ewentualnie zorganizować prace ośrodków naukowo-badawczych.

Ponieważ oleje w kablach najwyższych napięć pracują praktycznie w warunkach beztlenowych i muszą mieć dobre własności dielektryczne, wymagania im stawiane pokrywają się z wymaganiami stawianymi olejom kondensatorowym, tym bardziej że i własności fizyczne obu olejów są bardzo podobne. Problemy, które należy rozwiązywać, są te same przy stosowaniu olejów w kondensatorach i kablach najwyższych napięć.

4. Oleje mineralne ciężkie — kablowe.

Oleje tej grupy są typu cylindrowego ewentualnie dodatkowo oczyszczone. Są one stosowane jako syciwo do nasycania izolacji włóknistej kabli. Zagadnienie ustalenia technologii produkcji odpowiednich olejów, jak również technologii ich stosowania, istnieje u nas od kilku lat i dotychczas nie jest całkowicie rozwiązane ani ustabilizowane. Ze względu na stosunkowo małe zapotrzebowanie — w porównaniu do zapotrzebowania innych olejów — nie ma u nas produkcji ciągłej olejów kablowych; są one wyrabiane przez wytwórcę na każdorazowe zapotrzebowanie. Przy takim stanie produkcja nie może być jednolita, tym bardziej że i wymagania odbiorcy nie są jednoznacznie sprecyzowane. Dotychczas nie ma obowiązującej normy, a warunki technicznego odbioru nie są tak wyczerpujące, aby odpowiadały potrzebom odbiorcy i były możliwe do przyjęcia przez rafinerię. Warunki, w których pracują oleje kablowe są szczególne. Względnie duże i nierównomierne natężenia pola elektrycznego są przyczyną wydzielania się wodoru, powstawania aktywnych związków nienasyconych, dających w procesach polimeryzacyjnych związki wysokodrobinowe, zwiększające początkowo lepkość oleju i wypadające w końcu w postaci osadu nazywanego woskiem x. Zawartość gazu w oleju stwarza dodatkowo niebezpieczeństwo jonizacji. Szybkość tworzenia się produktów starzenia zależna jest od gatunku oleju i stopnia jego rafinacji. Ustalenie technologii produkcji i stosowania, mające silny wpływ na starzenie się olejów w eksploatacji, jest szczególnie ważne dla olejów kablowych. Przyczyną tego jest brak możliwości wpływania na warunki pracy oleju w eksploatacji.

Oprócz dobrych własności chemicznych i elektrycznych, będących wynikiem odpowiedniej rafinacji, oleje kablowe muszą mieć odpowiednią lepkość. Wymagania co do lepkości wynikają z technologii produkcji kabla, jak również z warunków jego pracy. Nasycanie izolacji włóknistej kabla odbywa się w temperaturze rzędu 100 ... 120°C i w tej temperaturze olej musi być bardzo rzadki. Im lepkość oleju jest mniejsza, tym olej jest lepszy. Przy temperaturze obołowiania kabla, wynoszącej około 60°, wymagana już jest duża lepkość oleju, aby uniemożliwić jego obciekanie. Normalna temperatura pracy kabla mieści się w granicach 35 ... 50°C i wówczas nieodpowiednia — zbyt mała — lepkość oleju może spowodować jego wyciekanie, tym bardziej że różnica poziomów ułożenia kabla bywa nieraz dość znaczna. W temperaturze otoczenia (0 — 20°) olej nie może być ciałem stałym, musi zezwalać na przesuwanie warstw papieru nim nasyconego w czasie zwijania, montażu i pracy kabla.

Pod względem lepkości oleju w przemyśle kablowym rozróżniamy dwa gatunki oleju kablowego. Jeden z nich służy do sporządzania syciwa kablowego przez zmieszanie z substancją zwiększającą jego lepkość. Do tych celów stosuje się przeważnie kalafonię, ale znane i stosowane są również domieszki oparte na tworzywach polimeryzacyjnych. Ponieważ stosowane domieszki do oleju psują jego własności elektroizolacyjne i chemiczne, syciwa takie stosuje się do kabli na niższe napięcia, a sam olej nazywa się wtedy olejem niskonapięciowym. Drugim typem jest olej mineralny, mający bez dodatków odpowiednią lepkość zależną od temperatury, co umożliwia stosowanie go jako syciwa kablowego wysokonapięciowego.

Rozpatrując sprawę produkcji olejów kablowych należy stwierdzić, że brak w kraju oleju kablowego niskonapięciowego jest wynikiem nieporozumienia oraz niedopatrzenia, natomiast produkcja dobrego oleju kablowego wysokonapięciowego może napotykać trudności surowcowe (odpowiednia ropa naftowa) oraz technologiczne.

Z powyższych rozważań wynika, że następujące zagadnienia muszą być rozwiązane w sprawie zaopatrzenia kraju w nowoczesne oleje kablowe:

1) ustalenie warunków technicznych na oleje kablowe i syciwa kablowe;

2) ustalenie technologii produkcji olejów kablowych niskonapięciowych;

3) ustalenie technologii produkcji olejów kablowych mineralnych wysokonapięciowych.

5. Oleje transformatorowe syntetyczne.

W nowoczesnych stacjach transformatorowych znajdujących się w pomieszczeniach, w których uszkodzenie transformatora, pociągające za sobą wybuch lub pożar, byłoby niedopuszczalne, stosuje się zamiast łatwopalnych mineralnych olejów izolacyjnych niepalne i niewybuchowe oleje syntetyczne: chlorowane dwufenyle względnie ich mieszanki z trójchlorobenzenem.

Za granicą istnieje dążność do stosowania tych olejów również w normalnych warunkach pracy, ze względu na ich znacznie lepsze własności dielektryczne oraz bardzo dużą stateczność chemiczną. Czynnikiem hamującym wzrost ich zastosowania jest wysoka cena, która nie zawsze może być zrównoważona korzyściami ekonomicznymi.

Zagadnienie produkcji syntetycznych olejów transformatorowych zostało w innych krajach już dawno opanowane [1] i rozwiązane w skali przemysłowej. Oleje te mają za granicą nazwy firmowe: „sowtol" w ZSRR, „clophen T64" w Niemczech, „askarol" względnie „piranol" w USA itp. W Polsce syntezę laboratoryjną tych olejów w przystosowaniu do surowców krajowych odtworzył Instytut Tworzyw Sztucznych. Produkcja jednak nie wyszła poza skalę laboratoryjną głównie z powodu braku dostatecznych ilości surowca podstawowego, którym jest dwufenyl. Otrzymuje się go obecnie w kraju w ilościach, które nie wystarczają do produkcji izolacyjnych olejów syntetycznych nawet w skali półtechnicznej.

W zasadzie produkcja tych olejów jest łatwa. W dużym skrócie obejmuje ona następujące etapy: produkcję dwufenylu przez przepuszczanie bardzo czystego benzenu w temperaturze 800°C nad metalicznymi katalizatorami, chlorowanie dwufenylu w obecności zazwyczaj chlorku żelaza jako katalizatora, usuwanie z płynnego syciwa nadmiaru chlorowodoru przez przedmuchiwanie powietrzem, oczyszczanie produktu przez ługowanie roztworem wodorotlenku sodu oraz działanie adsorpcyjne ziemiami odbarwiającymi i węglanem sodu. Zupełnie osobnym etapem produkcji syntetycznego oleju transformatorowego jest sporządzenie mieszanki chlorowanego dwufenylu z trójchlorobenzenem.

Na jakość produktu wpływają przede wszystkim dwa czynniki: jego czystość, głównie brak wolnego chloru i chlorowodoru, odpowiedni stopień schlorowania dwufenylu — zazwyczaj produkt jest mieszaniną izomerów, wreszcie odpowiednia jakość trójchlorobenzenu. Punkt pierwszy — czystość oleju syntetycznego — nie wymaga objaśnień; jest oczywiste, że nieobecność wolnego chloru i chlorowodoru jest konieczna do uzyskania dobrych właściwości izolacyjnych olejów syntetycznych. Odpowiedni stopień schlorowania ma zasadniczy wpływ na własności oleju — zarówno chemiczno-fizyczne, jak i dielektryczne. Tak np. izomery o trzech atomach chloru związanych z dwufenylem wykazują największą przenikalność dielektryczną, ale równocześnie największą wrażliwość na zanieczyszczenia i wilgoć. Pięciochlorodwufenyle cechuje najniższa stratność dielektryczna oraz bardzo duża stateczność chemiczna. Do produkcji syntetycznych olejów transformatorowych stosunkowo bardzo dobrze nadają się izomery o związanych sześciu atomach chloru; przy równie dobrej stateczności chemicznej mają one względnie małą lepkość oraz są bardzo trudnopalne — praktycznie niepalne. W praktyce przemysłowej oleje syntetyczne są prawie zawsze mieszaniną izomerów o różnym stopniu schlorowania przy przewadze jednego z izomerów o najlepszych własnościach dla danego zastosowania. W sprawie jakości trójchlorobenzenu, który w ilości ok. 36% jest mieszany z chlorowanym dwufenylem dla obniżenia jego lepkości i obniżenia temperatury krzepnięcia, literatura radziecka [2] podaje, że powinien to być 1-, 2-, 4-trójchlorobenzen wymrożony przy 0°C, tzn. uwolniony od wyżej topliwych izomerów.

Własności syntetycznych olejów transformatorowych nie są ujęte normami państwowymi. Podstawą ich odbioru technicznego są zazwyczaj zagraniczne firmowe warunki techniczne. Jedynie normy amerykańskie [10] sugerują metody badania specjalnie dostosowane do olejów syntetycznych. Według

danych radzieckich syntetyczne oleje transformatorowe mają następujące własności: ciężar właściwy 1,51 ... 1,53 G/cm^3, lepkość przy 65°C około 6 ... 7 cSt (1,5 ... 1,8°E), temperatura krzepnięcia — 30°C, stratność dielektryczna: przy 20°C tg δ = 10 ... 20.10^{-4}, przy 90° C tg δ = 100 ... 500.10^{-4}, ciepło właściwe 0,38 kcal/kG°C. Ważną ujemną właściwością syntetycznego oleju transformatorowego jest jego szkodliwe działanie na skórę ludzką, szczególnie w miejscach narażonych na tarcie bielizny lub odzieży ochronnej. Jeszcze bardziej agresywne są pary oleju. Zachowanie czystości przy pracy, częsta zmiana odzieży ochronnej oraz używanie mydła przetłuszczonego są w zasadzie wystarczającymi środkami zaradczymi [4].

Wspomniana już wysoka cena syntetycznych olejów transformatorowych jest pośrednio powodem zmiany konstrukcji transformatorów napełnionych tymi olejami. Zmiany idą zasadniczo w dwu kierunkach: konstrukcji małoolejowych oraz podwyższenia roboczej temperatury transformatorów. W budowanych dla górnictwa jednostkach o mocy rzędu kilkudziesięciu do kilkuset kilowoltoamperów ilość oleju obniża się — — w stosunku do ilości oleju mineralnego — o ~ 35 ... 50%. Niepalność olejów syntetycznych i ich duża stateczność termiczna i chemiczna umożliwiają podniesienie ich roboczej temperatury według literatury radzieckiej [5] nawet do 150°C. Korzystną cechą olejów syntetycznych, która musi być uwzględniona przy projektowaniu transformatorów nimi napełnionych, jest ich duża przenikalność dielektryczna — w przybliżeniu równa przenikalności celulozy. Umożliwia to przez równomierny rozkład pola elektrycznego znacznie lepsze wyzyskanie materiałów izolacyjnych. Transformatory napełnione olejem syntetycznym muszą być wyposażone w pochłaniacz gazów powstających przy zwarciach wskutek termicznego rozkładu oleju w łuku elektrycznym. Gazy są nadzwyczaj szkodliwe dla organizmu ludzkiego oraz silnie korodują metale. Muszą one być bezwzględnie usuwane lub pochłaniane np. przez roztwór ługu sodowego.

Transformatory o oleju syntetycznym nie mają konserwatora ze względu na zmniejszenie ilości oleju. Ochrona przed zakłóceniowym wzrostem ciśnienia w skrzyni transformatora wykonana jest przeważnie w formie przepony tekstolitowej, która przez odpowiedni sworzeń i klapę sprężynującą łączy wnętrze skrzyni z atmosferą.

Eksploatacja syntetycznych olejów transformatorowych w zasadzie nie różni się od eksploatacji olejów mineralnych, tzn. nie wymaga stosowania odmiennego postępowania z wyjątkiem przechowywania w naczyniach szczelnych ze względu na stosunkowo dużą prężność pary tych olejów. Przy swej przewadze jakościowej oleje syntetyczne dają szereg wyraźnych korzyści eksploatacyjnych. Po pierwsze dzięki niepalności i niewybuchowości dopuszczalne jest ustawienie transformatorów bezpośrednio na miejscu pracy, bez stosowania budowlanych zabezpieczeń przeciwpożarowych w formie odpowiednich dołów zbiorczych, przegród i odrębnych pomieszczeń. Po drugie zaś oleje syntetyczne są chemicznie i termicznie stateczne, nie utleniają się, nie wytwarzają w czasie eksploatacji wody ani szlamu, nie wymagają zatem w czasie eksploatacji bieżącej kontroli swych własności. Ich higroskopijność będąca wynikiem budowy polarnej oraz ich na ogół słaba ale istniejąca — szczególnie przy wyższych temperaturach roboczych — agresywność w stosunku do materiałów celulozowych wymagają jednak okresowego sprawdzania wytrzymałości dielektrycznej. Przy badaniu tej własności należy przy każdorazowym przebiciu zmienić próbkę, gdyż powstające przy łuku elektrycznym stosunkowo duże ilości sadzy silnie obniżają badaną wytrzymałość dielektryczną.

Zanieczyszczenie oleju mineralnego olejem syntetycznym nie jest szczególnie groźne, natomiast zanieczyszczenie w odwrotnym kierunku obniża niepalność olejów syntetycznych i znacznie pogarsza ich własności dielektryczne. Uniemożliwia to zamianę olejem syntetycznym oleju mineralnego w transformatorach już eksploatowanych.

Z powyższych uwag na temat syntetycznych olejów transformatorowych należy wyciągnąć wnioski zarówno przemysłowe, jak i naukowe. Pierwszy wniosek przemysłowy: zakupić z importu pewną ilość oleju syntetycznego i umieścić go częściowo w eksploatacji dla gromadzenia własnego doświadczenia, napełniając nim na razie transformatory o niezmienionej konstrukcji. Drugim wnioskiem przemysłowym jest konieczność opracowania konstrukcji transformatora, np. górniczego-dołowego, dostosowanego do własności oleju syntetycznego. Wniosek trzeci dotyczy uruchomienia krajowej produkcji olejów syntetycznych i wytycznych ich stosowania. Na tym odcinku prace przemysłowe muszą biegnąć równolegle z pracami naukowymi, gdyż produkcja — aczkolwiek łatwa — niewątpliwie w niektórych szczegółach będzie wymagać opracowań naukowych. Zagadnieniem ekonomicznym będzie wykonanie kalkulacji na temat możliwości szerokiego zastosowania przy adaptacjach konstrukcji transformatora i oszczędnościach inwestycyjno-budowlanych.

6. Oleje sylikonowe.

Związki krzemoorganiczne stanowią, podobnie jak węglowodory, liczną grupę substancji od ciał stałych do cieczy i gazów włącznie. Wśród nich znajdują się również oleje, które oprócz zastosowań nieelektrycznych, np. oleje do pomp dyfuzyjnych [7], oleje smarne znalazły również zastosowanie jako oleje izolacyjne.

Obecność krzemu w olejach sylikonowych nadaje im szereg cennych zalet. Należą do nich: nadzwyczaj wysoka termiczna odporność, stateczność chemiczna oraz bardzo dobre własności dielektryczne, m. inn. stałe w szerokim zakresie częstotliwości — od niskiej przemysłowej do radiotechnicznej włącznie. Zalety te stawiają oleje sylikonowe m.inn. w rzędzie najlepszych surowców do produkcji lakierów izolacyjnych dla maszyn elektrycznych. Ich niska temperatura krzepnięcia (około —88°C) jest cenna przy zastosowaniu w obszarach arktycznych. Równie cenną zaletą olejów sylikonowych jest mała zmienność ich lepkości z temperaturą. Przykładowo w granicach od +40 do —20°C lepkość ich wzrasta mniej więcej trzykrotnie, natomiast lepkość transformatorowych olejów mineralnych w tym samym zakresie temperatur wzrasta blisko stokrotnie.

Podstawową wadą tych olejów jest bardzo wysoka cena, uniemożliwiająca szerokie ich stosowanie.

Za granicą w krajach o wysokim stopniu uprzemysłowienia oleje sylikonowe są produkowane w skali przemysłowej. W Polsce, aczkolwiek odtworzono syntezę laboratoryjną produkując nawet oleje do pomp dyfuzyjnych, produkcji przemysłowej na razie nie opanowano i nie przewiduje się jej w latach najbliższych.

7. Syntetyczne oleje kondensatorowe.

W produkcji kondensatorów papierowych dąży się do jak największych oszczędności surowców deficytowych, którymi są: bibułka kondensatorowa i folia aluminiowa, stosowana jako materiał na okładziny.

Oszczędności można dość łatwo uzyskać przez zastąpienie olejów mineralnych olejami syntetycznymi opartymi na dwufenylach chlorowanych. Ich prawie dwukrotnie większa stała dielektryczna, w przybliżeniu równa przenikalności dielektrycznej celulozy, pozwala na obniżenie zużycia bibułki kondensatorowej zarówno dzięki wzrostowi wskaźnika pojemności na jednostkę objętości (μF/cm^3), jak też dzięki możliwości podniesienia naprężeń dielektrycznych przy równomierniejszym — w stosunku do olejów mineralnych — rozkładzie naprężeń.

Syntetyczne oleje kondensatorowe są to mieszaniny naturalne chlorowanych dwufenyli o różnym stopniu schlorowania przy zazwyczaj wyraźnej przewadze pięciochlorodwufenylu. Skład taki zapewnia niską stratność dielektryczną oleju oraz dużą stateczność chemiczną syciwa. Produkcja tych olejów jest za granicą całkowicie opanowana, a oleje znane są pod nazwami firmowymi: sowoł — ZSRR, clophen A50 — Niemcy, dykanol — Holandia, piranol, aroclor, inerteen — kraje anglo-saskie. Zarys produkcji podany został przy opisie syntetycznych olejów transformatorowych.

W skali laboratoryjnej synteza została odtworzona przez Instytut Tworzyw Sztucznych w latach 1949/50. Badania wykonane w IEl'u stwierdziły, że próbki prawie w zupełności odpowiadają wymaganiom przemysłu kondensatorowego. Synteza w skali przemysłowej, jak przy oleju transformatorowym, nie została uruchomiona ze względu na brak dwufenylu oraz na pominięcie tej sprawy przez MPChem w planach produkcji fabryk chemicznych. Warunki technicznego odbioru tych olejów są podawane w literaturze. W okresie początkowej produkcji krajowej prawdopodobnie będą one musiały być złagodzone.

Kwestia konstrukcji kondensatorów dostosowanych do syntetycznych olejów jest nieskomplikowana. Konstrukcja dotychczasowa może pozostać bez zmiany, wzrośnie jedynie moc bierna produkowanych obecnie jednostek.

Technologia nasycania kondensatorów papierowych olejami syntetycznymi wymaga opracowania w dwu kierunkach: umożliwienia bardzo czystych warunków produkcji, gdyż zanieczyszczenia silnie pogarszają jakość oleju, oraz zapewnienia załodze fabryki higieny i bezpieczeństwa pracy, szczególnie w dziale nasycalni. Potrzebne inwestycje nie są kosztowne, ani nie wymagają wielkiej pracy i mogą być wykonane własnymi siłami przez producenta kondensatorów. Wytyczne zapewnienia ochrony zdrowia pracowników były już omawiane w poprzednich publikacjach [4].

8. Woski naturalne i syntetyczne.

Stosowane w przemyśle elektrotechnicznym woski można uszeregować według przeznaczenia w dwie grupy: składniki zalew kablowych oraz syciwa kondensatorów papierowych. Woski do zalew kablowych obejmują: wosk karnauba, wosk montana, parafinę i cerezynę. Do grupy syciw kondensatorowych należy zaliczyć: parafinę, cerezynę, woski syntetyczne prawie wyłącznie typu chlorowanych naftalenów oraz woski sztuczne, jak makroparafina S, wosk Z, wosk E.

Wosk pszczeli stosowany jako syciwo izolacji włóknistej drutów tzw. schematowych, używanych w telekomunikacji, nie może być zaliczany do żadnej z poprzednich grup.

Z wymienionych wosków nie wszystkie są produkowane w kraju; importuje się cerezynę oraz wosk karnauba — zresztą w coraz mniejszych ilościach, gdyż cerezynę zastępuje się woskiem syntetycznym i makroparafiną, wosk zaś karnauba woskiem montanowym.

Z ważnych osiągnięć krajowych należałoby zanotować odbudowanie chlorowni, które umożliwiło uruchomienie produkcji woskoli (wosku syntetycznego opartego na naftalenach chlorowanych). Odtworzenie w IEl'u metod oczyszczania [6] oraz stabilizacji własności dielektrycznych woskolu dla pracy w obwodach prądu stałego [8] było tym cenniejszym osiągnięciem, że jego wytwórca miał poważne trudności z otrzymaniem produktu o zadowalającej jakości.

Osiągnięciem może jeszcze niedostatecznie wyzyskanym jest wprowadzenie na rynek krajowy makroparafiny. Otrzymuje się ją jako produkt uboczny przy syntezie benzyny. Makroparafina ma w zasadzie strukturę łańcuchową podobnie jak parafina naturalna, jednak z powodu większego jej ciężaru drobinowego jest trudniej topliwa i bardziej odporna na starzenie.

Własności większości spośród wymienionych materiałów są ujęte w odpowiednich warunkach technicznych, które obejmują przeważnie własności fizyczne, jak temperatura mięknienia i kroplenia, rozszerzalność cieplna, lepkość w pewnych zakresach temperatur zazwyczaj wysokich (temperatury nasycania izolacji włóknistej) oraz podstawowe własności chemiczne. Własności dielektryczne wosków nie są na ogół kontrolowane.

Jakość produkowanych w kraju wosków jest zadowalająca, wkładu pracy wymagają jedynie woskole. Ich produkcja może i powinna być jeszcze ulepszona. Przede wszystkim powinna być ostatecznie zakończona budowa oczyszczaczy, opartych na działaniu adsorbentów (ziem odbarwiających); po drugie należy ustalić technologię i metody kontroli produkcji woskolu; wreszcie należy sprecyzować technologię produkcji woskoli o wyższych temperaturach topliwości. Uzyskanie woskolu granulowanego jest kwestią wyłącznie inwestycji, które zresztą mogą być wykonane systemem gospodarczym.

Makroparafina jest woskiem właściwie o nieustalonym jeszcze zastosowaniu. Wydaje się, że po uruchomieniu krajowej (opartej na licencji zagranicznej) produkcji bibułki kondensatorowej metalizowanej makroparafina powinna być właściwym syciwem do wyrobu kondensatorów małogabarytowych. Wprowadzenie makroparafiny do produkcji zalew kablowych, jako materiału zastępczego dla parafiny, wymaga podobnie jak punkt poprzedni wykonania drobnych prac badawczych.

9. Wnioski i uwagi końcowe.

W zakresie produkcji i stosowania olejów i wosków izolacyjnych jesteśmy pod względem postępu technicznego w porównaniu z zagranicą — ogólnie rzecz biorąc — opóźnieni, dużo jednak zagadnień z tego zakresu już właściwie postawiono i wkraczamy obecnie w fazę ich rozwiązania. Za granicą jest ścisła specyfikacja zastosowań materiałów, u nas natomiast częstokroć ten sam materiał jest stosowany zastępczo do różnych celów, co jest wynikiem zarówno braków ilościowych jak i jakościowych oraz braku obowiązujących norm materiałowych czy warunków technicznych.

Oleje mineralne lekkie — transformatorowe, kondensatorowe i do kabli najwyższych napięć. Nie należy przewidywać w najbliższych latach dużego wzrostu zużycia, gdyż właściwa technologia użytkowania, głównie olejów transformatorowych, powinna wyrównać wzrost zapotrzebowania, wynikły ze zwiększenia ilości urządzeń napełnionych olejem. W kraju należy prowadzić następujące prace, zapewniające zaopatrzenie materiałowe zgodnie z postępem technicznym:

a) ustalenie — opartych na badaniach — warunków technicznego odbioru oraz uruchomienie produkcji olejów kondensatorowych i do kabli najwyższych napięć;

b) kontynuowanie pracy nad stabilizacją olejów transformatorowych;

c) zastosowanie na szeroką skalę regeneracji obiegowej ciągłej olejów transformatorowych;

d) kontynuowanie prac naukowych nad metodami kontroli olejów, w szczególności kontroli ich trwałości, z pełnym uwzględnieniem pomiarów własności dielektrycznych.

Oleje mineralne ciężkie — kablowe. Zapotrzebowanie wzrasta proporcjonalnie do wzrostu produkcji kabli nasyconych olejem; nie należy spodziewać się ilościowych braków materiałowych.

Prace do wykonania przy rozwiązywaniu problemu olejów kablowych powinny obejmować:

a) ustalenie — opartych na badaniach — warunków technicznych na oleje kablowe;

b) opracowanie technologii, ujednolicenie produkcji olejów kablowych nisko- i wysokonapięciowych na podstawie planowych prac naukowo-badawczych (należy przedyskutować ewentualną celowość importu oleju wysokonapięciowego);

c) ustalenie technologii stosowania olejów z nowymi dodatkami, polepszającymi ich charakterystykę lepkości, na podstawie prac naukowych i doświadczenia eksploatacyjnego;

d) prowadzenie prac naukowych nad metodami kontroli olejów, a głównie ich odporności na starzenie.

Oleje syntetyczne niepalne — transformatorowe i kondensatorowe. W kraju nie były one dotychczas produkowane. Ponieważ istnieje zaplecze surowcowe i nie ma zasadniczych trudności produkcyjnych, a wprowadzenie olejów niepalnych stanowi postęp techniczny, produkcja ich powinna być uruchomiona i silnie rozwinięta. W tym celu należy podjąć następujące prace:

a) zbieranie doświadczenia eksploatacyjnego z olejem importowanym;

b) ustalenie warunków technicznego odbioru;

c) uruchomienie produkcji chlorodwufenylów i trójchlorobenzenu oraz opracowanie metod odpowiedniego ich wykańczania (oczyszczania);

d) rozwiązanie konstrukcji transformatora olejowego przystosowanego do olejów syntetycznych.

Do czasu wprowadzenia syntetycznych olejów pochodzenia krajowego należy oprzeć się na imporcie tych olejów.

Woski naturalne i syntetyczne. Istnieją w tej dziedzinie trudności w uzyskaniu odpowiedniej jakości produktów (nieodpowiednia rafinacja).

Należy ustalić:

a) jednolitość produkcji wosków syntetycznych oraz technologię ich oczyszczania i stabilizacji;

b) właściwe zastosowanie dla niektórych nowych produktów (np. makroparafiny S) na podstawie prac naukowo-badawczych.

LITERATURA

[1] Clark F. M. Nonflammable dielectric organic compounds (Ind. and Eng. Chemistry, VI. 1937).
[2] Korycki i Tarejew. Sprawocznik po elektriczeskoj izolacji (1948).
[3] Beaven G. H., Irving R., Thompson C. N. A method for evaluating the oxidation stability of inhibited transformer oils (1948).
[4] Siciński Z. Nowoczesne syntetyczne syciwa kondensatorowe (Przegl. Elektr., nr 4/5/6, 1949).
[5] Burianow, Ekspłoatacja transformatornawo masła (1951).
[6] Siciński Z. Chlorowany naftalen jako syciwo kondensatorowe przy prądzie stałym (Prace IEl'u, nr 4 (7), 1953).
[7] Schmidt B. Olej krajowy o niskim ciśnieniu par do pomp dyfuzyjnych (Prace PIT'u, nr 5, 19).
[8] Buck J., Siciński Z. Stabilizacja woskolu przy pomocy antrachinonu (Prace IEl'u w druku, złożono w VIII.54 r.).
[9] Dryś B., Siciński Z. Gospodarka olejami transformatorowymi (Przegl. Elektr., 1955, z. 2/3, str. 233).
[10] ASTM, D 901—49T, Tentative Methods of Testing Askarels.
[11] Dryś B., Siciński Z. Próby nowych metod oceny jakości olejów izolacyjnych (Prace IEl'u, w druku, złożone VII.1954 r.).

MGR INŻ. ZDZISŁAW STEPEK
Instytut Naftowy

Bitumy

665.4:625.85:665.5:621.315.21

Treść. Klasyfikacja bitumów ze szczególnym uwzględnieniem asfaltów. Osiągnięcia przemysłu naftowego w dziesięcioleciu w zakresie produkcji różnych gatunków asfaltów, w szczególności asfaltu „bakosbit". Problem mas zalewowych kablowych oraz lakierów asfaltowych.

1. Określenia.

Dotychczas nie ustalono dokładnej definicji bitumów. Jest kilka różnych prób określenia i klasyfikacji tej wielkiej i różnorodnej grupy węglowodorów. Bitumy według Krejcera [1] dzieli się na następujące cztery podstawowe grupy: a) asfalty i asfaltyty, b) piroasfalty, c) smoły, d) paki.

Asfalty i asfaltyty są to mieszaniny węglowodorów i ich pochodnych, nie zawierające pierwiastków metalicznych, spotykane w naturze lub otrzymywane w wyniku zachowawczych procesów przeróbczych.

Piroasfalty są to asfalty naturalne i bitumiczne minerały skalne, zawierające wysoko spolimeryzowany, trudno topliwy i trudno rozpuszczalny asfalt, rozszczepiający się w czasie obróbki termicznej i uzyskujący potem rozpuszczalność i topliwość.

Smoły są płynnymi produktami kondensacji lotnych składników, otrzymanymi przez suchą destylację różnego rodzaju związków organicznych. Rozróżniamy w nich: a) smoły z węgla kamiennego, b) smoły z łupków, c) smoły z torfu, d) smoły z węgla brunatnego, e) smoły drzewne, f) smoły z rop naftowych, g) produkty podobne do smół.

Paki są to substancje gęsto płynne lub kruche i twarde o typowych właściwościach mieszanin szklistych, przechłodzonych, bezpostaciowych, otrzymywane jako pozostałość po destylacji smół, przy destrukcyjnej destylacji paliwa lub jako produkt zesmalania się materiałów organicznych. Dzieli się je na: paki smołowe, paki tłuszczowe oraz inne.

Jak z powyższego pobieżnego zestawienia wynika, do grupy związków zwanych bitumami zalicza się wiele produktów pochodzących z różnych surowców i otrzymywanych w różnorakich procesach technologicznych. W elektrotechnice tylko nieliczne bitumy znajdują zastosowanie i te jedynie będą tu omawiane.

2. Asfalty.

Podział. Są to produkty o konsystencji półpłynnej lub stałej, prawie całkowicie lub częściowo rozpuszczalne w dwusiarczku węgla, topiące się przy ogrzewaniu i odznaczające się charakterystycznymi własnościami wiążącymi i plastycznymi. Dzielimy je na asfalty naturalne, nie występujące w kraju i w zasadzie nie sprowadzane, oraz asfalty ponaftowe, stanowiące produkty przeróbki ropy naftowej. Pod względem chemicznym asfalty stanowią mieszaninę wielkocząsteczkowych węglowodorów oraz ich pochodnych tlenowych i siarkowych.

Asfalty naturalne różnią się od ponaftowych następującymi cechami:

a) zawartość składników lotnych przy jednakowej temperaturze mięknienia w asfaltach naturalnych jest na ogół większa niż w asfaltach ponaftowych, wskutek czego ich temperatura zapłonu jest odpowiednio niższa;

b) zawartość popiołu w asfaltach ponaftowych najczęściej nie przekracza 1%, w asfaltach naturalnych jest znacznie wyższa (do 35%);

c) asfalty ponaftowe zawierają mniej siarki i jest ona w nich znacznie mocniej związana niż w asfaltach naturalnych;

d) liczby zmydlenia i kwasowe są w asfaltach ponaftowych niższe, podobnie jak zawartość kwasów asfaltogenowych; wskaźniki te, jak również zawartość węglowodorów nasyconych, są cechami wybitnie odróżniającymi asfalty naturalne od ponaftowych.

Asfalty ponaftowe. Otrzymuje się je w następujący sposób:

a) jako pozostałość przy zachowawczej i głębokiej destylacji ropy naftowej lub mazutu z zastosowaniem pary przegrzanej i próżni;

b) przez utlenienie za pomocą przedmuchu powietrza podestylacyjnych asfaltów lub ekstraktów z selektywnej rafinacji olejów;

c) przez odasfaltowanie propanem koncentratów ropnych.

Wszystkie te sposoby fabrykacji znajdują zastosowanie w kraju. Na szczególną uwagę zasługuje produkcja asfaltów dmuchanych. W metodzie tej asfalty pozostałościowe lub gudrony podlegają utlenieniu powietrzem w temperaturze 230 — 300°C. Jest to reakcja egzotermiczna i dla lepszego jej regulowania wprowadza się czasem dodatkowo przegrzaną parę. Proces przeprowadza się do czasu otrzymania produktu o żądanych własnościach (temperatura mięknienia, penetracja, ciągliwość, łamliwość). Często produkt dmuchany fluksuje się ciężkim olejem. W ogólności dmuchanie pozwala produkować asfalty twardsze niż przy destylacji zachowawczej oraz częściowo uniezależnić się od surowca, gdyż dobre asfalty dmuchane można produkować z rop nieasfaltowych, a nawet parafinowych. Z tego powodu przemysł krajowy rozbudowuje urządzenia do produkcji asfaltów dmuchanych, które różnią się od asfaltów ponaftowych podestylacyjnych następującymi cechami:

a) asfalty dmuchane są mniej wrażliwe na zmiany temperatury niż podestylacyjne oraz odznaczają się większą elastycznością;

b) asfalty dmuchane o tej samej temperaturze mięknienia co asfalty podestylacyjne odznaczają się większą penetracją (są bardziej miękkie), przy jednakowej zaś penetracji asfalt dmuchany odznacza się znacznie wyższą temperaturą mięknienia;

c) asfalty dmuchane odznaczają się niższą liczbą zmydlenia oraz są bardziej odporne na wpływy cieplne i atmosferyczne niż asfalty podestylacyjne, otrzymane z tego samego surowca i mające tę samą temperaturę mięknienia i tę samą ilość składników lotnych;

d) ciągliwość asfaltów dmuchanych w temperaturze 25°C jest niższa niż asfaltów podestylacyjnych, ale krzywa zmiany ciągliwości ze wzrostem temperatury jest mniej stroma.

Asfalty należy rozpatrywać jako skomplikowane układy koloidalne, w których skład wchodzą karbeny, asfalteny, żywice i oleje. Skład grupowy asfaltów wpływa decydująco na ich własności fizyczno-chemiczne. Zwiększenie zawartości oleju zwiększa penetrację (miękkość) oraz zmniejsza ciągliwość. Zwiększenie ilości żywic podwyższa ciągliwość i temperaturę łamliwości asfaltu. Zwiększenie ilości asfaltenów powiększa twardość asfaltu, zmniejsza penetrację i ciągliwość oraz podwyższa temperaturę mięknienia. Zwiększona zawartość karbenów i karboidów powoduje utratę przez asfalt właściwości wiążących i obniża rozpuszczalność.

Jak widać z powyższego, sposób przygotowania asfaltu tzn. sposób dmuchania i fluksowania oraz rodzaj oleju używany do fluksowania wpływa w decydującym stopniu na jakość asfaltów.

Naturalnie, również doniosłą rolę spełnia sam surowiec ropny, wiadomo bowiem, że nie można z każdej ropy wyprodukować dowolnego typu asfaltów nawet przy zastosowaniu wszystkich znanych sposobów przeróbki.

Własności asfaltów. Asfalty określa się następującymi wielkościami fizycznymi:

a) temperatura mięknienia (PN/C-04020),
b) ciągliwość (PN/C-04132),
c) penetracja (PN/C-040134),
d) temperatura łamliwości (PN/C-04130),
e) temperatura kroplenia (PN/C-04020),
f) odparowalność oraz spadek penetracji po odparowaniu (PN/C-4138),
g) temperatura zapłonu (PN/C-04088),
h) zawartość składników nierozpuszczalnych w CS_2 lub benzenie (PN/C-04082).

Cechy, którymi określa się asfalt za pomocą wymienionych wyżej analiz, nie wystarczają do dokładnego określenia jego własności. Ważne jest zwłaszcza określenie zmiany własności asfaltu w różnych temperaturach. Na zachodzie oznacza się tę własność umowną liczbą, tzw. wskaźnikiem wrażliwości (susceptibility index [2]), który oblicza się z pomiarów spójności i temperatury mięknienia asfaltu według wzoru

$$S = \frac{\text{spójność } 32°\text{F} - \text{spójność } 115°\text{F}}{\text{temperatura mięknienia KS}} \cdot 100.$$

We wzorze tym spójność jest pierwiastkiem kwadratowym siły potrzebnej do przesunięcia płaskiej powierzchni 1 cm² z prędkością 1 cm/min (pomiaru dokonuje się przy pomocy spójnościomierza). Zamiast wskaźnika S wprowadza się charakterystyczne krzywe zmiany penetracji asfaltu przy zmianie temperatury. Krzywe takie dają obraz zmian twardości

asfaltu w badanym zakresie temperatur. Spotyka się również oznaczenie lepkości asfaltu w celu oznaczenia skłonności asfaltu do spływania.

Niektóre gatunki asfaltów bada się na przyczepność [3], na zachowanie się w niskich temperaturach (zwłaszcza próby odporności na wstrząsy ważne dla mas zalewowych do akumulatorów), na zachowanie się w wysokich temperaturach (spływność). Badania tego rodzaju nie są jeszcze dokładnie opracowane. Do scharakteryzowania składu grupowego asfaltów posługujemy się metodą rozdziału Marcussona [4]. Jest ona bardzo uciążliwa i niezbyt dokładna; uproszczenia i innowacje do tej metody wprowadziła Łysichina [5]. Metodę tę stosuje się do analizy asfaltów krajowych w Instytucie Naftowym.

Systematycznej analizie grupowej asfaltów produkowanych z krajowych rop względnie z surowca importowanego należy poświęcić więcej czasu, gdyż przy różnorakich wymaganiach przemysłu co do rozszerzenia sortymentu produkowanych asfaltów tylko dokładne poznanie ich składu może umożliwić należyty wybór surowca oraz odpowiedniego procesu technologicznego do wytwarzania pożądanych rodzajów asfaltów.

O s i ą g n i ę c i a k r a j o w e. Krajowe ropy zawierają stosunkowo małe ilości asfaltów. Dlatego przemysł rafineryjny w produkcji asfaltów musiał oprzeć się na surowcu importowanym. W okresie międzywojennym znane były asfalty meksykańskie o jakości nieosiągalnej dla naszej produkcji krajowej. Odznaczały się one dużą rozpiętością pomiędzy temperaturą mięknienia a temperaturą łamliwości (do 105°C), znaczną penetracją przy wysokiej temperaturze mięknienia i — co jest pożądane — stosunkowo dużą ciągliwością.

U nas przeprowadzono szereg prób i opracowano metodę produkcji specjalnego asfaltu pod nazwą meksfaltu. Surowcem jest ropa parafinowa. Meksfalt odznacza się dużą rozpiętością między temperaturą mięknienia i łamliwości wynoszącą 90 — 100°C.

Dla niektórych przemysłów, w tej liczbie i elektrotechnicznego, nawet ten nowy gatunek asfaltu okazał się niewystarczający. Dlatego ostatnio przemysł rafineryjny opracował produkcję nowego asfaltu pod nazwą bakosbit. Jako surowiec służy ropa niskoparafinowa, wysokosiarkowa, zawierająca duże ilości asfaltu.

Tabl. I podaje własności kilku rodzajów asfaltów. Podano w niej również niektóre własności asfaltu „karolinit". Jest to produkt utleniania powietrzem ekstraktu z selektywnej rafinacji olejów. Karolinitu używa się w produkcji farb i lakierów.

Jak widać z tabl. I, bakosbit ma własności odpowiednie do specjalnych celów. Jego najbardziej istotnymi cechami są:

1) różnica temperatur mięknienia i łamliwości wynosząca 112°C;

2) rozpuszczalność w benzenie bardzo dobra i mimo wysokiej temperatury mięknienia wyższa aniżeli w asfaltach utlenionych, wysokotopliwych meksykańskich, japońskich oraz szeregu amerykańskich i wenezuelskich;

3) ciągliwość przy wysokim mięknieniu bardzo duża; asfalty ponaftowe produkowane dotychczas w kraju z rop krajowych i importowanych już przy temperaturze mięknienia wg PiK przy 70°C mają ciągliwość w granicach 2 do 3 cm. Według Abrahama wszystkie znane asfalty produkcji amerykańskiej, meksykańskiej, wenezuelskiej o temperaturze mięknienia bakosbitu mają ciągliwość przy 25°C w granicach 0,5 cm do 2,5 cm, natomiast ciągliwość 5 cm przy 25°C mają asfalty meksykańskie i amerykańskie o mięknieniu wg P i K w granicach 90°C;

4) odparowalność i spadek penetracji po odparowaniu małe — powszechnie spotykane w asfaltach dobrej jakości;

5) zawartość siarki, parafiny i układ grupowy analogiczne jak w asfaltach meksykańskich;

6) wzrost penetracji od temperatury 0°C do temperatury 30°C niewielki, następnie do temperatury 50°C nieco większy — wszystkie jednakże wartości penetracji dla temperatur od 0°C do 50°C wykazują pewną stateczność.

Podane wyżej cechy bakosbitu przeznaczają go do wypełnienia dużej luki w sortymencie naszych asfaltów specjalnych zwłaszcza dlatego, że przez odpowiednie fluksowanie można modyfikować jego własności, np. obniżać temperaturę mięknienia i temperaturę łamliwości, powiększać penetrację i ciągliwość.

Jak widać z powyższego przeglądu, przemysł rafineryjny może szczycić się w ostatnim dziesięcioleciu poważnymi osiągnięciami na polu produkcji asfaltów. Jedyną trudność

T a b l i c a I. Porównanie własności kilku rodzajów asfaltów.

Oznaczenie	Meksfalt importowany (Shell)	Z ropy bezparafinowej krajowej	Z ropy parafinowej krajowej	Meksfalt krajowy	Bakosbit	Karolinit
Temperatura mięknienia PiK (°C)	89	85	89	82	104	134
Temperatura łamliwości (°C)	—17	21	10	—10	—8	30
Temperatura mięknienia minus temperatura łamliwości	106	64	79	92	112	104
Ciągliwość w 25°C (cm)	5	—	—	3	5	—
Penetracja w 25°C	19	2	20	20	20	—
Odparowalność przy 160°C/5 godz (%)	—	—	—	—	0,07	—
Penetracja w 25°C po odparowaniu	—	—	—	—	18	—
Temperatura zapłonu wg Marcussona (°C)	—	299	260	—	270	—
Rozpuszczalność w benzenie (%)	99,0	—	—	99,0	99,5	99,5
Rozpuszczalność w CS_2 (%)	—	99,5	99,7	—	—	99,8
Zawartość popiołu (%)	—	—	—	—	0,35	0,15
Zawartość siarki (%)	6,5	—		1,0	4,9	0,5
Zawartość parafiny wg Holdego (%)	2,68	—		—	2,6	—

stanowi stosunkowo mała zdolność produkcyjna spowodowana brakiem odpowiednich urządzeń. W związku z rozbudową urządzeń do utleniania asfaltów należy liczyć się w najbliższej przyszłości z całkowitym zaspokojeniem potrzeb naszego przemysłu.

Innym zagadnieniem jest zabezpieczenie jednolitości produkcji asfaltów specjalnych. Aby to osiągnąć, należy zapewnić ciągłość i jednolitość dostaw odpowiedniego surowca oraz określić ilość i rodzaj potrzebnego użytkownikom asfaltu na dłuższy okres czasu.

3. Masy zalewowe kablowe.

W ł a s n o ś c i. Rodzaje mas zalewowych kablowych określa norma PN/E-16, dzieląca je na 2 zasadnicze grupy, tj. zalewy do urządzeń elektroenergetycznych oraz do urządzeń teletechnicznych. Do produkcji mas zalewowych, zwłaszcza do urządzeń elektroenergetycznych, stosuje się asfalty lub mieszaniny asfaltów z kalafonią, wazeliną i innymi związkami. Nie należy używać jako dodatku produktów z przeróbki węgla, gdyż one odznaczają się — zwłaszcza produkty o temperaturze topienia ponad 60°C — mniejszymi zdolnościami izolacyjnymi niż asfalty. Unika się ich również z tego powodu, że w wypadku sporządzania mieszanin z olejem pochodzącym z rop naftowych lub podczas stykania się z olejami kablowymi, wytrącają się cząsteczki koksu, które uszkadzają izolację.

Masy zalewowe kablowe muszą mieć następujące cechy: a) niską temperaturę łamliwości, b) dobrą przyczepność do metali, porcelany, szkła, c) odpowiednią dla danych warunków temperaturę mięknienia w zasadzie nie niższą niż 60°C (P i K), d) małą lepkość w temperaturze 150°C, e) małą zawartość substancji lotnych, f) dużą wytrzymałość dielektryczną, g) szeroką rozpiętość plastyczności, h) małą skurczliwość, i) dobrą odporność na przegrzewanie.

Niska temperatura łamliwości daje gwarancję, że masa zalewowa nie będzie pękać w niskich temperaturach. Dobra przyczepność ma wielkie znaczenie, gdyż tylko masa zalewowa o dobrej przyczepności może izolować olej kablowy i nie

dopuszczać do jego wypływania. Odpowiednia temperatura mięknienia zabezpiecza również olej kablowy przed wypłynięciem. Mała lepkość w wyższych temperaturach, mała zawartość substancji lotnych, mała skurczliwość oraz dobra odporność na przegrzanie to własności ważne przy zalewaniu muf masą.

Ocena stosowanych obecnie zalewowych mas kablowych. Stosowane obecnie w kraju masy zalewowe A i B produkowane są z asfaltów naftowych dmuchanych. Nie wprowadza się żadnych mieszanin różnych rodzajów asfaltu. Masy te w ostatnich czasach spotykają się z krytyką użytkownika. Najpoważniejszą ich wadą jest rozpuszczalność w oleju kablowym, co w konsekwencji doprowadza do wyciekania olejów kablowych.

Przyczyn tego stanu należy szukać w kilku czynnikach.

1) Produkowane dotychczas masy zalewowe dostarczane są użytkownikowi w dużych beczkach (150 kg), których znakowanie często jest niewystarczające, wskutek czego zdarzają się pomyłki i stosuje się masy zalewowe o niższej temperaturze mięknienia A zamiast mas zalewowych B.

2) Najwięcej uszkodzeń mas zalewowych obserwuje się w nowozbudowanych zakładach w początkach ich pracy. Jest to spowodowane bardzo częstym przeciążeniem kabli w okresach rozruchu zakładu. Należy zdać sobie sprawę, że jednorazowe krótkie przeciążenie kabla do tego stopnia, że jego temperatura osiągnie temperaturę mięknienia masy zalewowej może już spowodować jej uszkodzenie. Również kilkunastogodzinne obciążenie kabla do tego stopnia, że jego temperatura jest niższa o ~ 10°C od temperatury mięknienia masy zalewowej, może spowodować uplastycznienie masy zalewowej i wyciśnięcie jej z mufy.

3) Zalewanie muf wykonywane jest często niezgodnie z istniejącymi instrukcjami.

4) Oleje kablowe są złej jakości, szczególnie lepkość ich jest za niska.

Wysiłki producenta idą w kierunku poprawienia tego stanu rzeczy. Korzystając z możliwości wprowadzenia do mas zalewowych asfaltu „bakosbit" będzie można podwyższyć ich temperaturę mięknienia. W związku z tym zachodzi możliwość przejścia na produkcję tylko jednego gatunku mas zalewowych, które by sprostały wszystkim wymaganiom. Taka masa zalewowa miałaby temperaturę mięknienia ok. 90°C. Wysuwanie zastrzeżenia, że taki produkt będzie nastręczał trudności przy wylewaniu ze względu na większą lepkość wydaje się niesłuszne. Należałoby jedynie opracować odpowiednią aparaturę do grzania oraz instrukcję dla pracowników zajmujących się montażem kabli.

Ponieważ mas zalewowych używa się w niedużych ilościach, należałoby przejść na opakowanie 10 — 15-kilogramowe. Zwiększony koszt opakowania opłaci się, gdyż uniknie się marnotrawienia wielkich ilości masy zalewowej, co często zdarza się obecnie. Miałoby to również duże znaczenie w wypadku pozostania przy dwóch rodzajach mas zalewowych, gdyż takie małe naczynia można lepiej oznaczyć, co uniemożliwi omyłki.

Prace Instytutu Naftowego, Instytutu Elektrotechnicznego i przemysłu rafineryjnego nad poprawą olejów kablowych powinny również przyczynić się do poprawienia obecnej sytuacji. Z pracami tymi związana jest ściśle konieczność rewizji normy PN/E-16 i to zarówno co do wymagań technicznych, jak i metod badania. Metody badań są bowiem za mało dokładne (próba plastyczności, próba przyczepności), a pewnych oznaczeń w ogóle brak (temperatura łamliwości).

Do poprawienia obecnego stanu w sprawie używania mas zalewowych kablowych potrzeba odpowiedniego zorganizowania laboratoriów w zakładach elektromontażowych oraz ścisłej współpracy producenta z użytkownikiem. Odpowiednia kontrola dostarczonego produktu oraz sumienny dozór prac montażowych przyczynią się w równej mierze jak wysiłki producenta do usunięcia obecnych trudności.

4. Lakiery asfaltowe.

Asfalty stosowane do produkcji lakierów elektroizolacyjnych muszą odznaczać się małą zawartością popiołu, dużą ciągliwością, małą zawartością parafiny, wysoką temperaturą mięknienia (ok. 140 °C) oraz zdolnością mieszania się z olejami schnącymi (zwłaszcza z pokostami).

Jako rozpuszczalniki stosuje się benzyny lakowe, benzen, toluen, naftę. Nasz przemysł lakierów izolacyjnych na podstawie asfaltowej dopiero się rozwija, a ostatnie osiągnięcia przemysłu naftowego w szczególności wyprodukowanie asfaltu „karolinit" przyspieszy ten rozwój. Dla należytego wykorzystania asfaltów do celów produkcji lakierów elektroizolacyjnych należałoby badać szereg surowców ropnych i asfaltów z nich produkowanych. Dużą pomocą w tych pracach może być analiza grupowa asfaltów [5].

5. Wnioski.

a) Technika wytwarzania asfaltów dla przemysłu elektrotechnicznego została zakwestionowana przez przemysł rafineryjny. Ponieważ produkcja opiera się na surowcu importowym, którego własności ulegają zmianom, przeto należy nawiązać szerszą współpracę pomiędzy wytwórcą a użytkownikiem. W szczególności użytkownicy powinni na rok naprzód zamówić odpowiednie rodzaje asfaltów tak, aby przemysł rafineryjny nawet w wypadku zmiany surowca mógł mieć czas na przeprowadzenie prób produkcyjnych.

b) W celu choćby częściowego uniknięcia importu należy nadal prowadzić w Instytucie Naftowym prace nad badaniem krajowych rop na zawartość i rodzaj asfaltów. W związku z tym należy opracować metodę analityczną, za pomocą której można by trafnie przewidzieć własności asfaltu z poszczególnych gatunków rop.

c) Dla lepszej oceny asfaltów i mas kablowych należy opracować lub adaptować z zagranicznych opracowań nowe sposoby oznaczenia przyczepności, spływności, odporności na wstrząsy w niskich temperaturach itp.

d) Należy ustalić najwyższe temperatury kabli, w których mogą one być użytkowane bez niebezpieczeństwa uplastycznienia się zalewy.

e) Należy przedyskutować problem przejścia na jeden rodzaj zalew kablowych; w razie potrzeby należałoby przeprowadzić próby.

f) Należy zorganizować i wyposażyć w odpowiedni sprzęt laboratoria ruchowe przy większych przedsiębiorstwach zajmujących się instalacją i montażem kabli.

LITERATURA

[1] Krejcer G. D. Asfalty, smoły i paki, 1954
[2] Abraham H. Asphalts and Allied Substances, 1938
[3] Zerbe K. Mineralöle und verwandte Produkte, 1952
[4] Marcusson J. Die natürlichen und künstlichen Asphalte, 1931
[5] Łysichina A. I., Jastriebowa L. N. Fiziko-chimiczeskije swojstwa bitumow, 1947

MGR INŻ. Z. STEPEK
Instytut Naftowy

Oleje turbinowe, smary i inne produkty naftowe

621.315.615.001.5:621.892.2:621.313.322–8

Treść. Ocena obecnie produkowanych olejów turbinowych. Konieczność przejścia w produkcji olejów na surowiec parafinowy oraz zmiany reżimu rafinacji. Dodatki polepszające jakość olejów turbinowych. Skuteczność inhibitorów utlenienia i przeciwrdzewnych. Problem pienienia olejów oraz zagadnienia związane z czyszczeniem obiegu olejowego. Dotychczasowe metody badania olejów oraz nowe kierunki w technice laboratoryjnej oceny olejów. Smary do łożysk tocznych z naświetleniem obecnego ich stanu i możliwości poprawienia jakości. Problemy związane z produkcją, badaniem i zastosowaniem benzyny lakowej i benzyny wzorcowej.

I. OLEJE TURBINOWE

1. Wykaz produktów, ich własności i produkcja.

Problem odpowiedniego doboru oleju turbinowego interesuje zarówno producenta olejów i turbin, jak i użytkownika. W zasadzie producent oleju turbinowego musi w ten sposób przeprowadzać proces wytwarzania oleju, ażeby dostarczony użytkownikowi produkt odpowiadał warunkom, jakie mu stawia praca w turbinie.

Olej turbinowy spełnia w turbinie trzy zadania: 1) chłodzi łożysko i wał, 2) zwilża wszystkie smarowane części turbiny, 3) służy do napędu urządzeń sterujących.

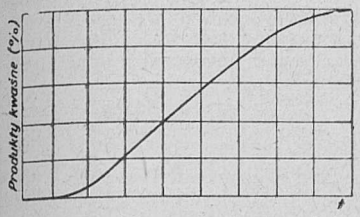
Z tych trzech zadań najważniejsza, zwłaszcza w nowoczesnych typach turbin, jest zdolność chłodzenia. Wskutek wielkiej prędkości obrotowej oraz zrównoważenia wirnika turbiny obciążenie łożysk jest zaledwie rzędu 10 kg/cm^2 i dlatego smarowanie nie napotyka trudności [1].

Własności handlowych olejów krajowych normowane są wymaganiami normy PN/C—96059. Istotnymi cechami olejów, określonymi w normie, są:

1) odpowiednią lepkość, zapewniająca tworzenie i utrzymanie filmu smarowego w warunkach pracy,

2) odporność na utlenianie,

3) zdolność do pokrywania części metalowych i tworzenia błony ochraniającej przed korozją,
4) jak najmniejsza skłonność pienienia się,
5) zdolność szybkiego wydzielania wody i stałych zanieczyszczeń,
6) dostatecznie wysoka temperatura zapłonu w celu zapobieżenia powstawaniu pożarów w razie uszkodzenia przewodów olejowych,
7) jednolitość produktu.



Rys. 1. Przebieg utleniania oleju w zależności od czasu

Odpowiednia lepkość potrzebna jest do powstania „klina smarowego" i zbliżenia warunków smarowania ruchowego do teoretycznego smarowania płynnego. Ostatnio [2] dają się zauważyć tendencje zwrócenia uwagi na wskaźnik lepkości oleju. Jest to celowe z dwóch powodów.

Po pierwsze, olej o wyższym wskaźniku lepkości zapewnia sprawniejszą pracę urządzeń sterujących, gdzie większe zmiany lepkości ze wzrostem temperatury mogą doprowadzić do zaburzeń w pracy turbiny.

Po drugie, wskaźnik lepkości charakteryzuje częściowo skład chemiczny oleju, pochodzenie surowca, z którego wyprodukowano olej, oraz informuje użytkownika o warunkach, w których surowiec był rafinowany. Za pomocą wskaźnika lepkości można określić, czy olej był rafinowany kwasem czy rozpuszczalnikami selektywnymi. Ma to duże znaczenie, gdyż oleje selektywnie rafinowane mają wyższy wskaźnik lepkości, odznaczają się równocześnie mniejszą polarnością i — co za tym idzie — nie chronią należycie części maszyny przed korozją. Na rynkach światowych spotyka się oleje turbinowe o wskaźnikach lepkości od 40 do 120. Na Zachodzie od olejów dobrej jakości wymaga się wskaźnika lepkości ponad 50. Nasze oleje krajowe mają wskaźnik w granicach 60—80, należą więc pod tym względem do dobrego gatunku olejów.

Ostatnio spotykamy się również z tendencjami wprowadzenia do użytku — zwłaszcza w turbinach pracujących w łatwych warunkach — olejów o małej lepkości, rzędu 2,7—3,0°E. Takie oleje odznaczają się lepszym odprowadzaniem ciepła oraz szybszym oddzielaniem wody i zanieczyszczeń mechanicznych, a co za tym idzie mniejszą skłonnością do tworzenia emulsji oraz mniejszą skłonnością do pienienia się.

Odporność oleju na utlenianie się jest najważniejszą jego cechą. Z tego powodu zagadnieniu temu poświęca się więcej uwagi.

Oleje w czasie pracy w turbinie stykają się z różnymi metalami, z powietrzem, z parą wodną oraz podlegają działaniu temperatury, ciśnienia, pola elektrycznego, światła itp., wskutek czego zmieniają swoje własności fizyczno-chemiczne. Pod wpływem tych czynników następuje utlenienie węglowodorów wchodzących w skład oleju. Te skomplikowane procesy, doprowadzające do zmiany składu i własności oleju, określa się potocznie jako starzenie się olejów.

Obserwacja przebiegu utleniania olejów turbinowych doprowadziła do stwierdzenia, że zewnętrzne objawy utlenienia nie występują bezpośrednio z chwilą zetknięcia się tlenu (lub powietrza) z olejem. Normalnie upływa pewien okres czasu do momentu pojawienia się produktów starzenia takich, jak kwasy lub szlam. W tym okresie, potrzebnym do rozwinięcia się reakcji utlenienia, a nazwanym okresem indukcyjnym, naturalne antyutleniacze, które znajdują się w oleju w ilościach zależnych od rodzaju surowca ropnego i sposobu rafinowania, kompensują działanie nadtlenków i dlatego proces utleniania

Tablica I. Analiza szlamu ze zbiornika olejowego

Zawartość wody	60%
Zawartość oleju	30%
Zawartość mydeł metali	10%
Olej ze szlamu:	
liczba kwasowa	0,6 mg KOH/g
liczba zmydlania	1,0 mg KOH/g
Substancje suche:	
nierozpuszczalne w benzynie	5%
nierozpuszczalne w benzenie	4,8%
popiół*)	1,6%

*) Popiół składał się z Fe_2O_3 i małych ilości miedzi i piasku.

nie może się rozwijać z naturalną szybkością. Z chwilą gdy naturalne inhibitory ulegną zniszczeniu, ropoczyna się drugi okres szybkiego powstawania produktów utleniania. Przedstawia to rys. 1.

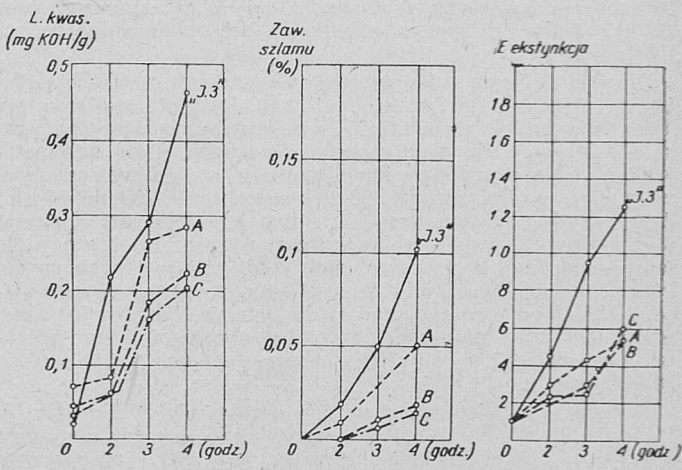
W czasie starzenia się olejów obserwuje się powstawanie kolejno następujących produktów:

węglowodory → nadtlenki → kwasy → oksykwasy → estolidy → asfaltogenowe,
nadtlenki → żywice → asfalteny → karbeny, karboidy.

Końcowymi produktami utleniania są kwasy i szlamy. Szlam jest bardziej niebezpieczny, gdyż osadzając się na wale, łożyskach, chłodnicy i przewodach olejowych może doprowadzić do uszkodzenia turbiny.

Szlam naturalny występujący w turbinie nie jest identyczny ze szlamem sztucznie otrzymywanym w laboratorium przez wytrącanie osadu w starzonym oleju rozpuszczonym w benzynie. Szlam naturalny — w odróżnieniu od sztucznego — występuje w układzie olejowym turbiny w różnych postaciach, od silnie zdyspergowanej mieszaniny, składającej się z mydeł, wody i oleju, do aglomeratów ciał stałych. Szlam zawiera zwykle wodę i olej. Woda ma charakter kwaśny i zawiera tlenki żelaza, mydła żelazowe, miedziowe, oksykwasy oraz sole wapnia, magnezu. Olej wydzielony ze szlamu odznacza się wyższymi liczbami kwasowymi aniżeli olej z obiegu smarowego. Tabl. I przedstawia analizę szlamu zebranego ze zbiornika olejowego [4].

Zwiększona ilość produktów przyspieszających proces utleniania oleju, która znajduje się w szlamie, jest szczególnie



Rys. 2. Przebieg sztucznego starzenia olejów turbinowych w zależności od sposobu rafinacji. Starzenie w bombie Butkowa (150°C)

niebezpieczna przy wymianie oleju i dlatego wymaga się dokładnego wymywania obiegu smarowego turbiny przed napełnieniem jej nowym olejem.

W czasie eksploatacji turbiny zwraca się uwagę na pierwsze objawy powstawania szlamu, stwierdzono bowiem, że w razie pojawienia się szlamu „ratowanie" oleju natrafia na duże trudności, a z powodu kosztowności jest mało opłacalne. Natomiast środki zapobiegawcze powzięte w porę wybitnie przedłużają okres bezpiecznej pracy. Trudności napotyka jedynie trafne określenie tego momentu. Uważa się, że liczba kwasowa oleju ok. 1,3 mg KOH/g oraz liczba zmydlenia ok. 3,5 mg KOH/g sygnalizują zbliżające się niebezpieczeństwo powstawania szlamu.

Problem ustalenia momentu, kiedy należy wymienić olej, jest w zasadzie na razie nie rozwiązany, względnie rozwiązywany różnie w różnych krajach. U nas zagadnienie to wymaga szerszego opracowania. Problem ten może być tematem kilkuletnich prac instytutów naukowych czy laboratoriów badawczych.

Okres pracy oleju w turbinie zależy naturalnie w pierwszym rzędzie od szybkości starzenia się. Na tę szybkość mają wpływ czynniki zależne od wytwórcy oleju oraz od konstruktora i użytkownika turbin.

Wytwórca oleju turbinowego wpływa na jego jakość przez dobór surowca, sposób rafinacji oraz ostatnio przez dodatki uszlachetniające. Konstruktor dobiera odpowiednie tworzywo, zabezpiecza olej przed nadmiernym stykaniem się z powietrzem, wyznacza najlepszą pojemność i konstrukcję zbiorni-

ka olejowego, wielkość chłodnicy, wielokrotność wymiany oleju itp.

Użytkownik, przestrzegając obowiązujących przepisów obsługi, stara się o jak najlepsze wyzyskanie oleju, o utrzymanie go w stanie zdatnym do pracy przez możliwie najdłuższy okres czasu.

Dobór surowca ma szczególne znaczenie. Wiadomo powszechnie, że oleje z rop parafinowych odznaczają się większą odpornością na utlenianie niż oleje z rop naftenowych. Z krajowej praktyki wynika, że oleje z rop naftenowych pracują w turbinach 10 000 — 14 000 godzin, a pierwsze trudności związane z koniecznością ich oczyszczania występują po ~ 8000 godzinach pracy. Natomiast oleje z rop parafinowych pracują do ~ 50 000 godzin, a pielęgnowanie ich jest znacznie uproszczone i ogranicza się w zasadzie do okresowego usuwania zanieczyszczeń mechanicznych przez okresowe (2-3-dniowe) wirowanie.

Nasze krajowe oleje, produkowane od lat w jednej rafinerii z ropy naftenowej, odznaczają się krótkim okresem użytkowania wynoszącym ok. 10 000 godzin. Przedłużenie tego okresu do 20 000 godzin połączone jest z dużymi kosztami i możliwe jest do przeprowadzenia w zakładach, wyposażonych w odpowiednie urządzenie oraz posiadających wyszkolony personel [5]. Kurczowe trzymanie się jednego gatunku ropy można tłumaczyć jedynie nieporozumieniem, wynikłym z okresu sprzed II wojny światowej, kiedy to producenci twierdzili, że oleje turbinowe z rop bezparafinowych są znacznie lepsze. Nie bez winy są też użytkownicy, którzy niezbyt gorąco walczyli o rewizję tego sądu. Przy postępującej obecnie szybko modernizacji i rozbudowie naszych rafinerii należy domagać się od przemysłu naftowego przestawienia produkcji olejów turbinowych z surowca bezparafinowego na parafinowy.

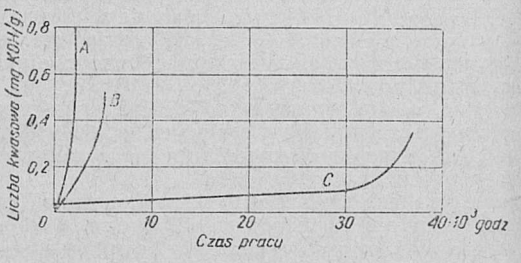
Drugim ważnym zagadnieniem związanym z produkcją olejów turbinowych jest sposób rafinacji destylatów. Pierwotnie stosowany sposób rafinacji kwasem siarkowym z biegiem czasu ulepszono przez dodatkowe traktowanie ziemią odbarwiającą. Na tym właśnie poziomie znajduje się produkcja krajowych olejów turbinowych. Od 20 lat większość światowej produkcji olejów turbinowych jest rafinowana rozpuszczalnikami wybiorczymi. Uzyskane tą drogą oleje odznaczają się o wiele lepszą odpornością na utlenianie. Wadą ich jest brak związków polarnych, co w konsekwencji powoduje zwiększenie niebezpieczeństwa korozji urządzenia. Instytut Naftowy [6] przeprowadził próby na skalę laboratoryjną z olejami turbinowymi, otrzymanymi z surowca bezparafinowego rafinowanego krezolem.

Tablica II przedstawia zestawienie własności trzech olejów turbinowych (A, B, C) rafinowanych krezolem oraz oleju turbinowego „3' rafinowanego kwasem, a rys. 2 przedstawia przebieg procesu sztucznego starzenia olejów turbinowych rafinowanych krezolem oraz oleju turbinowego „3". Jak wynika z powyższego, oleje z rafinacji wybiorczej, zwłaszcza olej „C" odznaczają się o wiele lepszą odpornością na utlenianie, a poza tym również bardzo dużą odpornością na emulgowanie. Te wstępne prace wskazują na konieczność poważnego zajęcia się zagadnieniem wybiorczej rafinacji olejów turbinowych. Będzie to w najbliższej przyszłości możliwe, gdyż przemysł rafineryjny, uznając ważność tych problemów, rozbudowuje urządzenie do tego sposobu rafinacji.

2. Dodatki polepszające jakość olejów turbinowych.

Dodatki antyutleniające. Trzecim zagadnieniem produkcyjnym jest uszlachetnienie olejów za pomocą pewnych dodatków. Z rozwojem techniki konstrukcyjnej turbin powstaje konieczność produkowania coraz lepszych olejów, które muszą sprostać coraz cięższym warunkom pracy. Zwłaszcza możliwość powstawania miejscowych przegrzań olejów (wynikająca ze stosowania pary o coraz wyższych temperaturach a więc i wyższych temperatur wału, doprowadzają miejscowe przegrzanie oleju do ~ 250°C, choć olej opuszczający łożysko ma rzadko temperaturę ponad 80°C, a wszak podwyższenie temperatury o każde 10°C przyśpiesza szybkość reakcji utleniania blisko dwukrotnie.

Z tego to powodu poszukuje się związków chemicznych które będąc dodatkiem w małych ilościach do oleju przedłużają okres jego pracy przez przedłużenie okresu indukcyjne



Rys. 3. Przebieg utleniania oleju turbinowego
A, B — olej handlowy *C* — olej podwójnie inhibitowany

go. Jednak gdy okres ten się skończy, proces utleniania przebiega tak samo, jak w olejach nieinhibitowanych lub nawet gwałtowniej. Przedstawiają to wykresy na rys. 3.

Działanie inhibitorów utlenienia tłumaczy się zdolnością wiązania tlenu uwolnionego przez nadtlenki lub odebranego węglowodoru. Dzięki temu działaniu redukującemu okres indukcyjny ulega przedłużeniu, w dalszym zaś stadium utleniania produkty starzenia oleju przechodzą w związki rozpuszczalne w oleju.

Skuteczność działania dodatku antyutleniającego zależy w dużym stopniu od rodzaju surowca i sposobu rafinacji. Inhibitory są najskuteczniejsze, gdy się je stosuje do olejów o składzie jak najbardziej jednorodnym. Głęboko rafinowane oleje mają charakter bardziej parafinowy, aniżeli słabo rafinowane. Reakcja na inhibitor tych pierwszych jest dlatego w zasadzie lepsza.

Ponieważ oleje mają również inhibitory naturalne, przeto technika uszlachetniania olejów idzie dwiema drogami. Pierwsza — to ostrożne rafinowanie oleju tak, by nie zniszczyć naturalnych inhibitorów, a następnie inhibitowanie dodatkami średniej jakości. Druga polega na głębokim rafinowaniu rozpuszczalnikami wybiorczymi i następnie inhibitowaniu dodatkami najwyższej klasy. Przyszłość okaże, która z metod uszlachetniania olejów okaże się skuteczniejsza dla olejów turbinowych.

Według Krejna [7] dobry inhibitor dla olejów turbinowych powinien: a) stosunkowo łatwo rozpuszczać się w oleju, ale nie reagować z nim chemicznie, b) nie pogarszać własności eksploatacyjnych oleju, np. nie powodować emulgowania oleju, c) nie rozpuszczać się w wodzie, wzgl. rozpuszczać się tylko w znikomej ilości wody, d) nie rozkładać się pod działaniem wody lub metali, e) nie powodować korozji metali, f) nie zmieniać się podczas długotrwałego magazynowania, g) nie wyparowywać z oleju w temperaturze pracy maszyny, h) nie powodować zwiększenia higroskopijności oleju.

Do inhibitowania olejów turbinowych znalazły zastosowanie następujące grupy związków organicznych: fenole, aminy, aminofenole.

Z fenoli najskuteczniejsze okazały się wielofenole, których grupy OH są wobec siebie w położeniu „orto" lub „para". Skuteczność ich działania

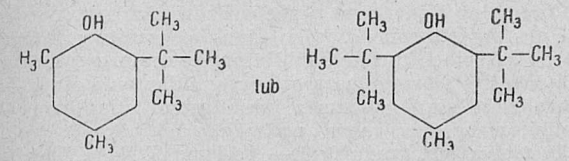
Tablica II. Zestawienie własności olejów turbinowych rafinowanych metodą wybiorczą

Własności	Po rafinacji	Olej			
		A	B	C	„3"
Ciężar właściwy przy 15°C	0,9057	0,9037	0,9037	0,9037	0,9138
Lepkość przy 50°C (°E)	3,61	3,61	3,54	3,54	3,42
Lepkość przy 50°C (cSt)	26,3	26,3	25,7	25,7	—
Temperatura zapłonu wg Marcussona (°C)	193	193	193	193	193
Temperatura krzepnięcia (°C)	—	−29,5	−30	−32	−32
Zawartość popiołu (%)	—	0	0	0,006	0,0022
Zawartość wody i zanieczyszczeń	—	0	0	0	—
Odporność na emulgowanie (sec)	450	40	32	32	120
Liczba kwasowa (mg KOH/g)	0,43	0,07	0,03	0,04	0,018
Odczyn	—	obojętny			
Ekstynkcja En (filtr niebieski)	0,1871	0,096	0,066	0,060	0,076
Ekstynkcja Ez (filtr zielony)	0,174	0,096	0,066	0,055	0,061

Oleje A, B, C otrzymano z surowca rafinowanego metodą wybiorczą (własności podane w kolumnie pierwszej), a następnie dorafinowanego różnymi ilościami kwasu siarkowego oraz neutralizowanego różnymi sposobami.

zmniejsza się ze wzrostem temperatury. Według Czernożukowa [3] działalność fenoli idzie w kierunku zmniejszenia szybkości powstawania produktów kwaśnych, natomiast znikomo wpływa na tworzenie się produktów polimeryzacji (asfalteny, szlam). Zastosowanie znalazły α- i β-naftole, 1,5 dwuhydronaftalen oraz pyrogallol.

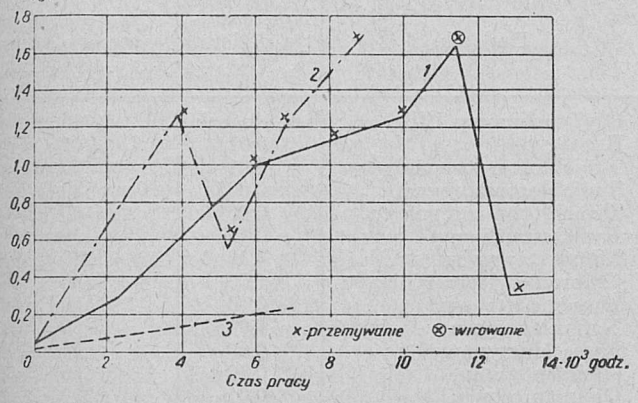
Na Zachodzie, a ostatnio w Czechosłowacji, wprowadza się do olejów turbinowych alkilo-fenole, zwłaszcza alkilowane rodnikami butylowymi, np.:



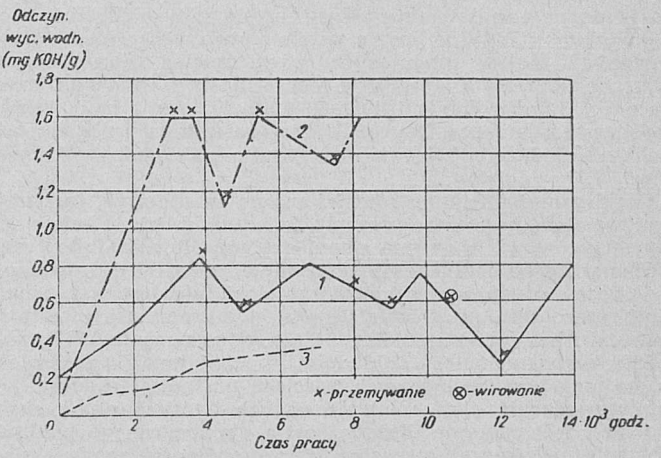
Prawy przedstawia znany produkt „paronox 441"; inhibitor ten dodawany do olejów turbinowych w ilości 0,2% przedłuża okres eksploatacji oleju do 15 lat, tzn. 130 000 godzin.

Aminy znajdują mniejsze zastosowanie, gdyż należą do słabszych dodatków.

Aminofenole znalazły zastosowanie w Związku Radzieckim. W szczególności dla pewnych stref klimatycznych wprowadza się *p*-hydroksydwufenyloaminę. Według doświadczeń radzieckich *p*-hydroksydwufenyloamina obniża 1,5 — 2-krotnie ilość tworzących się produktów kwaśnych. Na tworzenie się szlamu wpływa znikomo, czasami powoduje zwiększenie jego ilości. Skuteczność jej jest zależna od rodzaju surowca naftowego oraz stopnia rafinacji. Przeprowadzone przez Instytut Naftowy próby laboratoryjne sztucznego starzenia krajowych olejów turbinowych zainhibitowanych *p*-hydroksydwufenyloaminą dały wyniki negatywne, co naturalnie nie przesądza o konieczności przeprowadzenia prób w ruchu. Zostało ustalone, że najlepsza koncentracja tego inhibitora ze względu na niebezpieczeństwo powstawania szlamu wynosi 0,01%. W Instytucie Naftowym przeprowadzono poza tym szereg prób laboratoryjnych w celu znalezienia odpowiednich dla naszych surowców dodatków przeciwutleniających. Próby, o których będzie mowa szczegółowo w rozdziale o metodach analitycznych, doprowadziły do wniosków, że nieznaczny, bo 0,01% dodatek aniliny, względnie α-naftolu dwukrotnie zwiększa wytrzymałość oleju na starzenie. Tabl. III przedstawia wpływ rodzaju oleju i dodanego inhibitora na odporność na utlenianie olejów turbinowych. Oleje A, B, C o własnościach podanych w tabl. II pochodziły z rafinacji wybiorczej, olej „3" był typowym produktem handlowym.

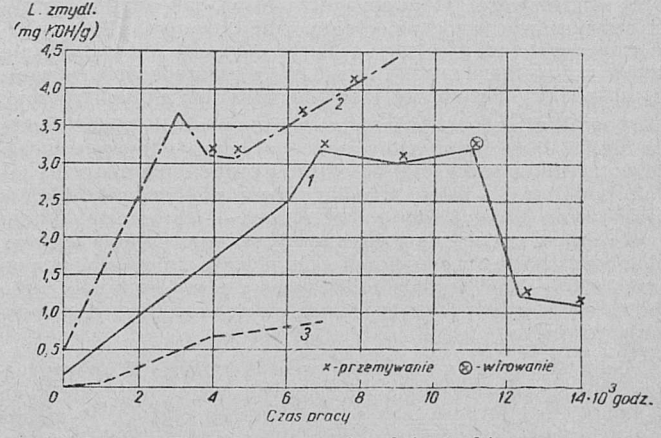


Rys. 4. Przebieg starzenia oleju turbinowego
1, 2 — oleje turbinowe „3" handlowe
3 — olej turbinowy „3" + 0,01% aniliny



Rys. 5. Przebieg starzenia oleju turbinowego
1, 2 — oleje turbinowe „3" handlowe
3 — olej turbinowy „3" + 0,01% aniliny

Wskaźnikiem 100 określono wytrzymałość na utlenianie handlowego oleju turbinowego „3". Wartości poniżej 100 oznaczają polepszenie trwałości oleju, wartości powyżej 100 — pogorszenie. Niski wskaźnik utlenialności olejów rafinowanych metodą wybiorczą z dodatkiem inhibitorów nie świadczy o specjalnym wpływie inhibitorów, gdyż w tym wypadku nieinhibitowany olej ma już niski wskaźnik 50, a olej *C* z dodatkiem fenylohydrazyny — 44. Polepszenie jest tylko 1,14-krotne, a przy oleju „3" z dodatkiem aniliny 2,4-krotne. Jeszcze raz więc widać z powyższego, że dla każdego gatunku oleju należy dobrać odpowiedni dodatek.



Rys. 6. Przebieg starzenia oleju turbinowego
1, 2 — oleje turbinowe „3" handlowe
3 — olej turbinowy „3" + 0,01% aniliny

Tablica III. Wpływ rodzaju oleju i dodanego inhibitora na odporność na utlenianie olejów turbinowych

Lp.	Rodzaj oleju i dodatku	Wskaźnik
1	Olej „3" + 0,01% aniliny	42
2	Olej „C" + 0,01% fenylohydrazyny	44
3	Olej C + 0,01% α-naftolu	46
4	Olej „3" + 0,01% α-naftolu	49
5	Olej C	50
6	Olej C + 0,01% aniliny	51
7	Olej „3" + 0,01% dwufenyloaminy	53
8	Olej „3" + 0,01% fenylohydrazyny	54
9	Olej „3" + 0,01% pirogallolu	64
10	Olej B	70
11	Olej C + 0,01% p-hydroksydwufenyloaminy	71
12	Olej „3" + 0,01% siarki	75
13	Olej „3" + 0,01% orto-toluidyny	87
14	Olej „3" + 0,01% fenyl β-naftylaminy	88
15	Olej A	95
16	Olej „3"	100
17	Olej „3" + 0,01% β-naftolu	104
18	Olej „3" + 0,01% p-hydroksydwufenyloaminy	111

Na podstawie wyników laboratoryjnych rozpoczęto próby ruchowe przy współpracy Instytutu Naftowego z Ministerstwem Energetyki i podległymi mu zakładami. Zainhibitowano aniliną partię oleju turbinowego „3", przeznaczonego dla pewnej turbiny, która pracuje w dość ciężkich warunkach, wskutek czego poprzednie próbki olejów „3" nie wytrzymywały więcej niż 14 000 godzin pracy i to z koniecznością odwirowywania i mycia. Na rys. 4, 5, 6 przedstawione są krzywe wzrostu liczby kwasowej, liczby zmydlenia oraz odczynu trzech olejów pracujących w tej turbinie. Dwa pierwsze nieinhibitowane starzały się znacznie prędzej niż trzeci inhibitowany aniliną. W dwóch pierwszych wypadkach musiano przystąpić

do „ratowania" oleju po 3000 — 4000 godzin. Natomiast w wypadku trzecim olej nie poddaje się jak dotychczas żadnym zabiegom. Olej I musiano wymienić po 14 000 godzin, II po 9000 godzin, trzeci po przepracowaniu 7000 godzin wykazuje przyrost liczby kwasowej lub liczby zmydlenia taki, jak dwa pierwsze po 1000 — 2000 godzin pracy. Olej znajduje się pod dalszą kontrolą. Wszystko wskazuje na to, że sprawdzą się wyniki prób laboratoryjnych i uzyska się przedłużenie okresu eksploatacji oleju do ~ 40 000 godzin. W związku z pierwszym pozytywnym rezultatem wprowadzono do innych turbin oleje z dodatkiem 0,01% aniliny, a ostatnio wprowadza się anilinę nawet do olejów pracujących przez pewien okres czasu. Wstępne te próby wykazały, że jest to możliwe i należy liczyć się z dodatnimi wynikami, jeśli olej nie wykazuje nadmiernego stopnia utlenienia. Dlatego każdorazową taką próbę trzeba traktować oddzielnie i zasięgać rady odpowiednich fachowców.

Oleje silniej utlenione również można inhibitować, lecz należy w takim wypadku uprzednio je oczyścić, tzn. odwirować i przemyć wodą, a czasem przefiltrować. Oleje inhibitowane można wirować, natomiast przemywanie wodą lub filtrowanie, zwłaszcza z dodawaniem ziemi aktywnej, nie jest wskazane, gdyż równocześnie pozbawia się olej inhibitora. Jeśli inhibitor jest tani i łatwo rozpuszczalny, to można go uzupełnić. W tym jednak wypadku należy dokładnie oznaczyć jego ilość w oleju, co przy prawie śladowych ilościach nastręcza trudności.

Wprowadzenie olejów inhibitowanych, których okres eksploatacji jest znacznie dłuższy, jest z ekonomicznego punktu widzenia nadzwyczaj korzystne. W szczególności obniżają się koszty własne użytkownika z powodu dłuższego używania tego samego oleju. Zmniejsza się również krajowe zapotrzebowanie oleju turbinowego i to w wypadku używania dodatków gorszego gatunku, do których zaliczyć należy anilinę, dwukrotnie. W przypadku wprowadzenia wysokogatunkowych dodatków przedłużających okres użytkowania oleju do 100 000 godzin zapotrzebowanie zmniejsza się pięciokrotnie. Całą nadwyżkę dotychczas produkowanego oleju można będzie skierować na eksport lub też w inny sposób zużytkować surowiec, z którego obecnie produkowany jest olej turbinowy. Największą oszczędnością jest całkowite lub częściowe wyeliminowanie dotychczas koniecznych zabiegów tzw. ratowania oleju, tj. wirowania, przemywania, filtrowania, regeneracji. Poza tym zmniejsza się okresy koniecznych postojów turbiny w celu czyszczenia obiegu olejowego i wymiany oleju. Jeśli oceniać, że 30% utraty mocy elektrowni idzie na karb oleju i gospodarki smarowniczej, staje się rzeczą jasną, jak wielkie korzyści przynosi wprowadzenie olejów inhibitowanych. W wypadku powszechnego przejścia na produkowanie i użytkowanie olejów z dodatkami można liczyć się z oszczędnością w ogólnej gospodarce narodowej rzędu 15 milionów złotych rocznie.

Zapoczątkowana przez Instytut Naftowy akcja uszlachetniania olejów idzie dwiema drogami. Pierwsza — to wprowadzenie do nienajlepszych olejów obecnej produkcji prostych i tanich inhibitorów, które przedłużą czas użytkowania olejów turbinowych do ~ 40 000 godzin. Druga — ta bardziej długotrwała praca, mająca na celu wybranie i opracowanie syntezy inhibitora, który by przedłużył czas służby oleju turbinowego do 100 000 — 120 000 godzin. Związana z tym jest konieczność opracowania nowych warunków rafinacji oraz odpowiedni dobór surowca.

Dodatki przeciwrdzewne. W obiegu olejowym turbiny olej styka się z wodą lub wilgocią w ilościach zależnych od konstrukcji turbiny oraz pieczołowitości obsługi. W związku z tym występują objawy korozji. Jest ona dotkliwa zwłaszcza w tych częściach maszyny, które nie są zmywane przez olej, np. górna część zbiornika olejowego. Części te są zimniejsze od oleju, wskutek czego na ich powierzchniach występuje zjawisko kondensacji powierzchniowej. Zebrane krople wody opadają następnie do oleju zabierając ze sobą cząstki rdzy, składającej się z tlenku żelazowego Fe_2O_3 oraz tlenku żelazawego FeO. Tlenek żelazowy jest silnym katalizatorem procesów utleniania oleju, a magnetyczny tlenek żelazowy ma zdolność koagulowania w większe cząsteczki, które są porywane przez olej i przedostają się do łożysk, gdzie często zostają wtłoczone w metal łożyska lub do urządzenia sterującego, wpływając ujemnie na jego pracę. Ten rodzaj korozji, nazywany korozją pierwotną, jest spotykany najczęściej w nowych turbinach.

Korozja wtórna występuje jako skutek starzenia się oleju i powstawania rozpuszczalnych w wodzie kwasów małocząsteczkowych. Objawy tego rodzaju korozji spotyka się najczęściej na dokładnie wykończonych powierzchniach maszyny. Pierwotna korozja nie zależy od stanu oleju, natomiast korozja wtórna jest wynikiem starzenia się oleju. Z tych powodów wymaga się od oleju turbinowego, by miał dobrą zdolność zwilżania metalu w celu utworzenia na częściach maszyny, które czasowo tylko pokryte są olejem, filmu zabezpieczającego przed korozją. Substancje, które tworzą ten film, są związkami polarnymi, a ponieważ nowoczesne oleje turbinowe — głęboko rafinowane w celu polepszenia ich odporności na utlenianie — są ich pozbawione, przeto zachodzi potrzeba dodawania do nich odpowiednich związków. Związki te zwane inhibitorami korozji (lub dodatkami przeciwrdzewnymi) wpływają korzystnie na powstawanie bardzo cienkiej warstwy filmu olejowego na częściach turbiny. Inhibitory te mają często charakter słabo kwaśny i przyśpieszają procesy utlenienia oleju. Z tego powodu stosuje się je razem z inhibitorami utlenienia. Oleje tak produkowane nazywamy „podwójnie inhibitowanymi". Ich liczba kwasowa jest rzędu 0,10 — 0,15 mg KOH/g. Znamienne jest to, że w takich olejach w czasie pracy początkowo liczba kwasowa obniża się. Dodatki przeciwrdzewne są w zasadzie rozpuszczalne w wodzie i dlatego olejów podwójnie inhibitowanych nie należy przemywać wodą.

Tabl. IV przedstawia skuteczność niektórych związków stosowanych jako dodatki przeciwrdzewne. Skuteczność ich działania jest wyrażona przedłużeniem okresu próby do momentu ukazania się korozji. W Związku Radzieckim opracowano dodatki pod nazwą MT. Są one bardzo skuteczne jak to widać z zestawienia w tabl. V; poza tym odznaczają się zdolnością rozbijania emulsji woda-olej.

Tablica IV. Skuteczność niektórych dodatków przeciwrdzewnych do oleju turbinowego [3]

Dodatek	Koncentracja dodatku (%)	Czas po którym występuje korozja przy 40°C (min)
Olej turbinowy UT	bez dodatku	15
Rezorcyna	0,02	45
Trójchlororezorcyna	0,01	60
Trójchlororezorcyna	0,005	180
Trójchlororezorcyna	0,001	60
Kwas stearynowy	0,15	30
Metylostearynian	1,30	240
Chlorometylostearyniany	1,00	60
Kwasy naftenowe	0,10	60
Naftenian cynku	1,00	30
Kwas abietynowy	0,60	24
Oleinian glinu	0,30	60
Oleinian ołowiu	0,05	330
Oleinian cyny	0,10	330

W naszej praktyce problem walki z korozją w turbinach nie jest na razie należycie postawiony. W związku z możliwościami rozpoczęcia produkcji olejów turbinowych rafinowanych sposobem wybiorczym zajdzie konieczność wprowadzenia do nich dodatków przeciwrdzewnych. Dlatego należy już obecnie zająć się tym zagadnieniem.

Dodatki przeciwpieniące. Z objawami pienienia się olejów turbinowych spotyka się dotychczas dość rzadko. Jest to czasami spowodowane nieodpowiednim wykończeniem oleju w rafinerii, najczęściej jednak utrzymywaniem w niskich temperaturach oleju przez obsługę turbiny. Z chwilą wprowadzenia olejów z dodatkami polepszającymi ich własności, zwłaszcza antykorozyjne, wyłoniły się duże trudności, gdyż niektóre dodatki powodowały znaczne pienienie się olejów. Pienienie jest związane z napięciem powierzchniowym na granicy olej-powietrze. Powstająca piana powoduje wybieganie oleju ze zbiornika olejowego, w układzie smarowym może

Tablica V. Skuteczność dodatków typu MT [3]

Olej	Rodzaj i ilość dodatku	Wynik badania na korozję przy 70°C
Turbinowy UT	bez dodatku	korozja po 15 min
Turbinowy UT	0,5% MT2	brak korozji po 89 godz.
Turbinowy UT	1,0% MT2	brak korozji po 89 godz.
Turbinowy UT	0,5% MT4	brak korozji po 70 godz.
Turbinowy UT	1,0% MT4	brak korozji po 89 godz.

spowodować przerwanie filmu smarowego, w układzie hydraulicznego sterowania wpływa na pewność automatycznej regulacji turbiny. Dlatego ostatnio poleca się wprowadzać do olejów dodatki przeciwpieniące, dzięki którym drobne bańki piany łączą się w większe, które prędzej wypływają na powierzchnię oleju. Pękanie dużych baniek spowodowane jest działaniem dodatku na powierzchnię baniek w kierunku osłabienia błonki olejowej. Najczęściej stosuje się obecnie dodatek 0,0001 — 0,01% sylikonów. Są to związki zawierające węgiel, krzem i tlen, które w zależności od stopnia polimeryzacji są cieczami łatwo płynnymi, lepkimi olejami, substancjami mazistymi lub gumowatymi. Sylikony są trudno rozpuszczalne w olejach, dlatego wprowadzenie ich nastręcza trudności.

Zagadnienie produkcji sylikonów jest od kilku lat opracowywane przez krajowe instytuty i należy liczyć się z szybkim wprowadzeniem ich do krajowych olejów, zwłaszcza że potrzebne ilości są niewielkie.

Na własności deemulgowania olejów zwraca się dostateczną uwagę. Temperatura zapłonu oleju uzależniona jest od rodzaju surowca i jego lepkości. Z tego więc powodu są małe możliwości podwyższenia jej. Dlatego usunięcie niebezpieczeństwa zapłonu oleju w wypadku uszkodzenia przewodów olejowych pozostawia się konstruktorom turbin.

Materiały do czyszczenia obiegu olejowego. Zagadnieniem odrębnym, choć ściśle związanym z problemem olejowym w obsłudze turbin, jest czyszczenie obiegu olejowego.

Do przemywania obiegu olejowego używane są następujące rozpuszczalniki: benzyna, benzol, mieszanina benzol-alkohol, chloroform, trójchloroetylen (tri), czterochlorek węgla (tetra) i czterohydronaftalen (tetralina). Benzyna rozpuszcza jedynie olejowe składniki szlamu, benzol rozpuszcza również asfalty. Także mieszanka dwóch części benzolu i jednej części alkoholu etylowego ma dużą zdolność rozpuszczenia szlamu. Wszystkie te rozpuszczalniki odznaczają się palnością i dlatego są rzadziej używane. Chloroform, trójchloroetylen, czterochlorek węgla i czterohydronaftalen również dobrze rozpuszczają szlam, są niepalne, natomiast pary ich są szkodliwe dla organizmu ludzkiego. Najlepszy z nich okazał się czterohydronaftalen. W wypadku stosowania tych rozpuszczalników należy przestrzegać przepisów bezpieczeństwa. Ostatnio za granicą stosuje się system czyszczenia obiegu olejowego, zwłaszcza chłodnic olejowych, parami rozpuszczalników (system Atlas).

Obieg olejowy przemywa się czasem olejem. To przemywanie można wykonać dwoma sposobami: stosuje się lekki olej o małej wartości w celu obniżenia kosztów czyszczenia albo pełnowartościowy olej turbinowy z dodatkami inhibitorów. Ta druga koncepcja jest słuszniejsza, gdyż w pierwszym wypadku pozostawia się w obiegu pewną partię niskowartościowego oleju, który może wpłynąć niekorzystnie na czysty olej turbinowy; w drugim przypadku przemycia można dokonać w czasie pracy turbiny. Poza tym używanie do przemycia oleju z dodatkiem inhibitora korozji zmniejsza wybitnie niebezpieczeństwo korozji.

Metodyka badania olejów z dodatkami. Metody badań olejów turbinowych dzielą się: a) na metody analizy świeżego oleju turbinowego i b) na metody analizy oleju używanego.

Ocena oleju świeżego opiera się na postanowieniach normy państwowej PN/C 96059. W normie tej najwięcej uwagi zwraca się na oznaczenie pomiaru odporności na emulgowanie, odczyn, liczbę kwasową oraz liczbę zesmalania (PN/C-04100). Ta ostatnia wielkość ma charakteryzować odporność oleju na utlenianie. Norma ta, oparta na normie niemieckiej VDE, jak to wykazały badania Instytutu Naftowego [6] nie jest odpowiednia. Warunki utleniania stawiane przez nią są zbyt łagodne i dlatego jeśli porównać oleje „3" i „4", to na podstawie wyników starzenia powyższą metodą (tabl. VI) doszłoby się do fałszywych wniosków, że oba te oleje wykazują jednakową odporność na utlenienie. W rzeczywistości tak nie jest. Oleje „3" odznaczają się większą odpornością na utlenianie niż oleje „4". Ostatecznym wnioskiem tych prac jest stwierdzenie, że metoda obecnie obowiązująca (PN/C-04100) nie może służyć jako kryterium do oceny odporności na utlenianie olejów turbinowych, a już w zupełności nie nadaje się do oceny olejów turbinowych z inhibitorami.

Tablica VI. Porównawcze sztuczne starzenie olejów turbinowych „3" i „4" metodą na razie obowiązującą

Własności po starzeniu	Olej turbinowy „3"	Olej turbinowy „4"
Liczba kwasowa (mg KOH/g)	0,075	0,082
Liczba zmydlania (mg KOH/g)	0,702	0,690
Liczba zesmalania	0,103	0,110
Zawartość szlamu (%)	0,006	0,005

Istnieje dużo metod oceny odporności na utlenianie olejów turbinowych, co świadczy o trudności problemu. Ostatnio można zauważyć dwie tendencje w rozwoju metod sztucznego starzenia. Jedną są metody utleniania w bombach pod ciśnieniem. Metodę tę stosuje się w Związku Radzieckim pod nazwą metody Butkowa oraz w USA (ASTM D 67042/I). Modyfikację tej metody opracował Instytut Naftowy. Właśnie używając tej metody wyselekcjonowano z dużej grupy inhibitorów anilinę, jako najlepiej działającą na krajowe oleje turbinowe. Jak przedstawiono w innym miejscu, te badania laboratoryjne znajdują potwierdzenie w próbach ruchowych. Metody ciśnieniowe wymagają o wiele mniej czasu. Na przykład w metodzie Butkowa okres utleniania trwa maks. 6 godzin, gdy w metodach przepływowych (PN/C-04100, VDE, BBC, Baadera, Michie) okres ten waha się w granicach 48 — 170 godzin. Analiza produktów utlenienia trwa w obu rodzajach metod jednakowo długo. Ujemną cechą metod ciśnieniowych jest konieczność doboru dobrego gatunku stali na butle oraz ostrożniejszego manewrowania aparatem ze względu na ciśnienie.

Działanie inhibitorów daje się ocenić również innymi metodami, jak radziecką WTJ (GOST 981-52), amerykańską ASTM D 665-49 lub metodami bardziej naukowymi, polegającymi na oznaczaniu wielkości i szybkości pochłaniania tlenu przez badany olej (Kräger i Kaller [8]). Oprócz metody WTJ, która jest prosta i trwa 14 godzin, inne są długotrwałe i wymagają kosztownej aparatury.

Wszystkie próby oceny działania inhibitorów utlenienia na oleje turbinowe muszą być potwierdzone wynikami prób przeprowadzonych w turbinach.

Zadania metod sztucznego starzenia polegają na wstępnym wyselekcjonowaniu dodatków oraz na umownym porównaniu bieżących dostaw produktów. Jest to na tyle ważne, że ze względu na niepewność kwalifikowania olejów turbinowych na podstawie wyników przyspieszonego starzenia zachodzi konieczność poszukiwania w dalszym ciągu takich metod sztucznego starzenia, które by swymi wynikami jak najmniej odbiegały od wyników naturalnego starzenia olejów w turbinach. Osobnym zagadnieniem jest problem analizy starzonych olejów. I w tej dziedzinie ostatnio zauważa się postęp, polegający na wprowadzeniu do analiz ruchowych bardziej ścisłych metod fizyko-chemicznych, które zaczynają wypierać metody chemiczne. Instytut Naftowy sprawdzał możliwości zastosowania badań kolorymetrycznych w ocenie postępu utlenienia oleju. Otrzymano potwierdzenie, że ekstynkcja starzonego oleju wzrasta proporcjonalnie do wzrostu produktów utlenienia określonego liczbą kwasową, liczbą zmydlenia i zawartością szlamu. Metoda ta o wiele ostrzej rozróżnia poszczególne oleje oraz prędzej sygnalizuje powstawanie produktów utlenienia.

Również ostatnio wprowadza się za granicą do oceny starzonego oleju metodę pomiaru napięcia międzypowierzchniowego [9, 10] na granicy faz olej-woda. Wraz ze wzrostem koncentracji produktów utlenienia oleju wzrasta ilość drobin polarnych na granicy faz olej-woda, co jest połączone z odpowiednim obniżeniem napięcia międzypowierzchniowego. Za pomocą tensjometru Du Nouy można dokonać pomiarów napięcia międzypowierzchniowego oleju turbinowego wobec wody i stwierdzić, że wraz z postępem utlenienia wartość napięcia spada. Spadek ten jest już widoczny, nim da się zauważyć jakikolwiek wzrost liczby kwasowej, i w ten sposób można doświadczalnie oznaczyć postęp utlenienia do takiego stadium, w którym należy oczekiwać tworzenia się osadu.

W wypadku stosowania dodatków uszlachetniających, zwłaszcza inhibitorów rdzy, które mogą wpływać na napięcie międzypowierzchniowe, należy uzyskać wiadomości o nieinhibitowanym oleju zanim przystąpi się do poprawnego interpretowania otrzymanych wyników oznaczenia. Bez tych wiadomości stwierdzona wielkość napięcia międzypowierzchniowego oleju utlenionego może prowadzić do błędnych wniosków. Oleje turbinowe odznaczają się napięciem międzypowierzchniowym 30 — 35 dyn/cm; po starzeniu napięcie spada nawet do 18 dyn/cm.

Przy ocenie używanych olejów turbinowych posługujemy się normą określającą dopuszczalne granice starzenia się oleju (PN/C 00-000) zwracając specjalnie uwagę na odporność na emulgowanie, liczbę kwasową i zmydlenia oraz zawartość asfaltów twardych.

Z powyższych prób pewne wątpliwości budzi oznaczanie asfaltów twardych (szlam). Oznaczenie, które jest decydujące w ocenie oleju, nie charakteryzuje rzeczywistego stanu utlenienia oleju w kierunku tworzenia szlamu, gdyż wytrącone benzyną normalną osady niekoniecznie muszą znajdować się w oleju. Często właśnie tworzą się one pod wpływem działania benzyny, która jest o wiele gorszym rozpuszczalnikiem niż olej turbinowy. Dlatego ostatnio spotyka się propozycje zastąpienia tej próby oznaczaniem rzeczywiście istniejącego szlamu w oleju drogą filtracji próbki oleju bez rozcieńczania w podwyższonej temperaturze z użyciem ciśnienia. Poza tym poprzednio wspomnianym metodom pomiaru ekstynkcji lub napięcia międzypowierzchniowego przypisuje się własności określania szlamu tworzącego się w oleju.

3. Osiągnięcia nasze na tle osiągnięć światowych.

Aby ocenić postęp w produkcji i użytkowaniu olejów turbinowych, należy zdać sobie sprawę, że prace nad tym zagadnieniem muszą trwać długi — kilkunastoletni — okres czasu. Jest to związane z koniecznością długoletniego śledzenia zachowania się olejów w turbinach. W pierwszych latach po ostatniej wojnie użytkownicy stosowali często oleje różnego pochodzenia i dlatego nie można było wyrobić sobie zdania o krajowej produkcji. Problem ten poruszony przez PKPG w roku 1950 został zlecony do dalszego opracowania Instytutowi Naftowemu, który na podstawie wyników prób laboratoryjnych wystąpił w roku 1953 z wnioskiem uszlachetniania olejów turbinowych przez dodatek inhibitorów utleniania. Obecnie trwają próby ruchowe, których pierwszy rok daje zachęcające wyniki, i wszystko wskazuje, że już w najbliższych latach okres używalności krajowych olejów turbinowych będzie znacznie przedłużony.

Obecny stan produkcji olejów turbinowych w porównaniu z osiągnięciami na całym świecie należy uznać za niski. Produkcja nasza — mimo wprowadzenia wyżej wspomnianych innowacji — znajduje się w porównaniu z produktami rynku światowego na poziomie roku 1935, czyli że jesteśmy opóźnieni o dwadzieścia lat. Ażeby te zaległości odrobić możliwie najprędzej, należy zespolić wysiłki wytwórców olejów, instytucji rozdzielających oraz użytkowników przy równoczesnym poważnym zainteresowaniu Instytutu Naftowego i Instytutu Elektrotechniki.

4. Wnioski.

a) Należy rozszerzyć próby stosowania aniliny, α- i β-naftolu oraz fenylohydrazyny jako dodatków uszlachetniających oleje turbinowe.

b) Nie zadowalając się dotychczasowymi osiągnięciami, należy opracować syntezę inhibitora utlenienia, który by przedłużył okres użytkowania olejów turbinowych do 100 000 godzin.

c) Należy zająć się stroną ekonomiczną uszlachetniania olejów przez wprowadzenie do nich inhibitorów. W związku z tym należałoby obciążyć odpowiednie komórki zarządów energetycznych obowiązkiem prowadzenia systematycznej kontroli kosztów eksploatacji turbin pracujących na olejach inhibitowanych.

d) Należy opracować i wprowadzić do przemysłu skuteczne dodatki przeciwrdzewne i przeciwpieniące.

e) Wykorzystując modernizację rafinerii należy przejść na produkcję olejów turbinowych z surowca parafinowego rafinowanego rozpuszczalnikami wybiorczymi.

f) Należy zapewnić sobie dostawy jednolitego surowca do produkcji inhibitowanych olejów turbinowych; bez zapewnienia sobie stałych dostaw oraz odpowiedniej ilości zbiorników nie można spodziewać się poprawienia jakości olejów oraz nie uzyska się spodziewanych skutków gospodarczych.

g) Należy zrewidować dotychczasowe metody badania olejów turbinowych; w szczególności należy opracować nową normę na badanie skłonności olejów do utleniania się i oznaczenie korozyjności olejów oraz wprowadzić na szeroką skalę posługiwanie się metodą kolorymetryczną i oznaczaniem napięcia międzypowierzchniowego do oceny postępu starzenia się olejów w laboratorium i w ruchu.

h) Należałoby przedyskutować metodykę czyszczenia obiegów smarowych turbin oraz wybrać najodpowiedniejszy rozpuszczalnik.

i) Również należy przeprowadzić badania nad sposobem oznaczeń ilości szlamu w oleju przez wytrącenie go benzyną lub przez przesączenie oraz określić moment, w którym należy wymienić olej lub poddać go oczyszczeniu ze względu na powstawanie szlamu.

j) Dla należytego wypełnienia tych dezyderatów należy zorganizować centralne laboratorium przy Ministerstwie Energetyki, zaopatrzone w nowoczesną aparaturę oraz posiadające odpowiednio wyszkolony personel techniczny.

II. BENZYNA LAKOWA

Benzyny lakowej używa się jako rozpuszczalnika przy produkcji lakierów. Własności tego produktu określone są normą PN/C-96023. Najważniejszymi wymaganiami według powyższej normy są granice wrzenia, w zasadzie 140—200°C, oraz temperatura zapłonu w granicach 21 — 24°C. Benzyna lakowa powinna więc odznaczać się stosunkowo wysoką temperaturą wrzenia oraz dość wysoką temperaturą zapłonu.

Wymagania stawiane benzynie lakowej za granicą są znacznie większe. W szczególności wprowadzone jest oznaczenie zdolności rozpuszczania oraz związanej z tym zawartości węglowodorów aromatycznych. Poza tym przeprowadza się oznaczenie odparowalności. Wymagana jest możliwie najlepsza zdolność rozpuszczania żywic lub asfaltów, względnie doskonała zdolność mieszania się z żywicami i olejami. Z takich roztworów nawet po dłuższym staniu nie powinny wytrącać się żywice. Zdolność rozpuszczania związana jest z procentową zawartością węglowodorów aromatycznych. Z drugiej zaś strony wiadomo, że te węglowodory działają silnie trująco na organizm ludzki. Dlatego należy znaleźć benzynę o kompromisowej zawartości węglowodorów aromatycznych. Krajowe benzyny lakowe, produkowane w różnych rafineriach z różnych surowców, odznaczają się zmienną zawartością węglowodorów aromatycznych w granicach od 2 do 20%.

Wydaje się rzeczą konieczną ujednolicenie krajowej produkcji benzyny lakowej przez nowelizację normy PN/C-96023. W szczególności należałoby wprowadzić do normy oznaczenie węglowodorów aromatycznych wg PN/C-04115. Również należałoby opracować metodę określającą zdolność rozpuszczania benzyny. W tym przypadku można się wzorować na metodzie U. O. P. L-31 (U. O. P. Laboratory Test Methods, Chicago, Universal Oil Products Co, 1948) opracowanej przez Bearda i współpracowników [11, 12]. Metoda polega na wkropleniu badanego rozpuszczalnika do odpowiednio przygotowanego roztworu wzorcowego żywicy kauri w butanolu i określeniu momentu zmętnienia powstającej mieszaniny. Metoda ta jest stosunkowo prosta. Jedyną trudność stanowi otrzymanie jednolitej próbki żywicy. Przystosowanie jej do naszych warunków może być tematem prac Instytutu Farb i Lakierów.

Oprócz wyżej wymienionych analiz należałoby wprowadzić do norm oznaczenie odparowalności benzyny lakowej.

Jak z powyższego widać, benzyna lakowa obecnie będąca w użyciu jest mało dokładnie określona obowiązującymi normami. Należy domagać się szybkiego opracowania odpowiedniej normy. Zagadnienie to jest o tyle łatwe do przeprowadzenia, że nie powinno nastręczyć producentowi specjalnych trudności produkcyjnych.

III. BENZYNA WZORCOWA (NORMALNA)

Benzynę wzorcową należy traktować jako odczynnik chemiczny. W elektrotechnice znajduje ona zastosowanie w analizach olejów do oznaczania twardych asfaltów (szlamu). Nie wdając się w polemikę na temat przydatności tej metody do oceny rzeczywistej ilości szlamu w oleju turbinowym lub transformatorowym (ob. uwagi o metodach badania oleju turbinowego), należy stwierdzić, że do czasu opracowania nowej metody oceny ilości szlamu w oleju należy posługiwać się tą metodą choćby z tej racji, że oznaczenie ilości szlamu jest decydujące w ocenie oleju.

Benzyna wzorcowa produkowana przez Kahlbauma jest produktem silnie rafinowanym, pozbawionym węglowodorów aromatycznych, o zawartości 8 — 12% węglowodorów naftenowych i ustalonej zdolności wytrącania asfaltów twardych. Inne własności tej benzyny przedstawiają się jak następuje [13]:

gęstość przy 15°C	0,695 — 0,705
początek wrzenia	55°C,
90% oddestylowuje do	80°C,
koniec wrzenia	90°C,
zaw. węglowodorów arom. nie wyżej	0,5% wag.,
liczba bromowa nie wyżej	1,0%,
punkt alininowy	58 — 62°C,
pozostałość po odparowaniu najwyżej	10 mg/100 ml.

Jak widać z powyższego, wymagania są ostre i dlatego produkcja odpowiedniej benzyny nastręcza trudności.

W kraju produkowano przed wojną benzynę wzorcową z ropy „Grabownica", uzyskując wyniki co do zdolności wytrącania asfaltów zbliżone do wyników z benzyną Kahlbauma. Obecnie produkcja tego odczynnika jest zaniechana.

Ostatnio próbowano zastąpić benzynę naturalną benzyną z syntezy Fischer-Tropscha po jej zhydrowaniu w celu pozbawienia węglowodorów nienasyconych. Zhydrowany produkt posiadał następujące własności:

gęstość/15°C	0,669,
punkt anilinowy	68,4°C,
granice wrzenia	60 — 80°C,
liczba bromowa	0,4 mg/100 ml.

Przeprowadzone w Instytucie Naftowym próby wytrącania dały wyniki wyższe niż z benzyną wzorcową z rop Grabownicy; w przypadku małych zawartości asfaltów różnice wynosiły 20%, w olejach zaś zużytych różnice wynosiły do 40%.

Ogólnie wiadomo, że benzyny z krakingu lub syntetyczne odznaczają się większą zdolnością wytrącania asfaltów twardych. Dlatego wydaje się, że próby zastosowania hydrowanej benzyny syntetycznej do celów analitycznych nie mają widoków powodzenia. Może ona być tylko wtedy wskaźnikiem, gdy nie wytrąci się asfalt, gdyż — odznaczając się silniejszą zdolnością wytrącania — wskazuje pewniej na brak asfaltów.

Jedyna droga jaka pozostaje, jeśli zrezygnuje się z importu, to opracowanie procesu otrzymywania benzyny wzorcowej z odpowiedniej ropy krajowej. Problem ten nadaje się do dyskusji. Drogą tą idą prace Instytutu Naftowego [12], który zamierza otrzymywać benzynę wzorcową z odpowiedniej frakcji benzynowej odaromatyzowanej metodą chromatograficzną na sylikażelu. Otrzymane pozytywne wyniki w skali laboratoryjnej oraz rozpoczęte prace nad aparaturą w skali półtechnicznej dają rękojmię, że w niedługim czasie problem produkowania benzyny wzorcowej w kraju będzie rozwiązany.

IV. SMARY DO ŁOŻYSK TOCZNYCH

W łożyskach tocznych tarcie jest znikome. Dlatego smary do łożysk tocznych spełniają w nich inne zadanie. Głównym zadaniem smaru jest ochrona łożyska przed wpływami atmosferycznymi, przed wilgocią i pyłem i z tego powodu powinien on odznaczać się doskonałą przyczepnością do metalu. Poza tym — w związku z długim okresem pracy smaru w łożysku, trwającym rok i więcej — powinien on odznaczać się odpornością na utlenianie, trwałością mechaniczną oraz nie nagryzać łożyska.

Własności krajowych smarów do łożysk tocznych objęte normą PN/C-96134 są bardzo liberalne, np. dla smaru ŁT 2 granice penetracji przy 25°C wynoszą 190 — 290°C, dopuszczalna zaś zawartość wolnych zasad wynosi do 0,5% oraz stałych ciał obcych do 0,5%. Każdy więc prawie smar na bazie mydeł metali alkalicznych sprosta jej wymaganiom. Zwłaszcza duża rozpiętość penetracji dyskwalifikuje dotychczasową normę, gdyż dopuszcza produkcję smaru o znacznych różnicach konsystencji.

Z trzech rodzajów smarów do łożysk tocznych (ŁT 1, 2 i 3) smar ŁT 2 jest najważniejszy. Smar ten specjalnie spotkał się z krytyką użytkowników. W szczególności użytkownicy stwierdzają występowanie korozji łożysk pracujących na smarze ŁT 2, co tłumaczą nadmierną zawartością jonów chloru, wynoszącą do 0,14% Cl, oraz niepowracaniem smaru do swej pierwotnej konsystencji po ogrzaniu go powyżej punktu topliwości i ponownym ochłodzeniu.

Chlorki obecne w smarze pochodzą: a) z solonych tłuszczów wchodzących w skład łoju technicznego, b) z ługu sodowego, c) z wody użytej przy produkcji smaru (w małych ilościach).

Korozja łożysk nie zależy jedynie od chloru. Smar dotychczasowej produkcji po stopieniu i następnym ochłodzeniu wydziela olej mineralny i przybiera konsystencję twardą, kruchą oraz obniża swą zdolność do przyczepiania się do metalu. Poza tym smar ten odznacza się małą zdolnością pochłaniania wody. Jest to spowodowane nieodpowiednim doborem surowców do produkcji smarów.

Z przytoczonych powodów smar nie chroni powierzchni metalu przed wilgocią, tlenem i produktami starzenia się smaru. Stan ten w ostatnim roku uległ częściowej poprawie. Instytut Naftowy zbadał [13] zagraniczny smar szwedzki SKF do łożysk tocznych i opracował nową recepturę smaru ŁT 2. Nowa receptura opiera się na kwasach tłuszczowych z łoju, dzięki czemu uzyskuje się o wiele lepsze własności smaru, a w szczególności niższą zawartość chloru i zanieczyszczeń mechanicznych, dobrą stateczność termiczną; smar powraca po stopieniu do pierwotnej konsystencji oraz pochłania wodę. Próby na skalę techniczną są w toku i należy się spodziewać, że w najbliższej przyszłości użytkownicy otrzymają smar do łożysk tocznych nie ustępujący własnościami najlepszym smarom zagranicznym.

LITERATURA

[1] Broom W. E., Clark G. H. Inst. of. Petrol. Review, 1950, 45, 46, 297, 325
[2] Clark G. H. Scient. Lubric. 5, 10 (1953) 12
[3] Czernożukow N. I., Krejn S. E.: „Okislajemost' minieralnych masieł", 1946. 88
[4] Wolf K.: „Die Schmierung von Dampfturbinen". 1951. 84
[5] Szczepanik S., Gunia M. Energetyka. 1950, 3/4, 9/10
[6] Stepek Z.: „Uszlachetnianie olejów" Prace IN. nr 27. 1953
[7] Krejn S. E.: „Stabilizacja turbinnych i transformatornych masieł", Gostoptiechizdat. 1948
[8] Kräger C., Keller A.: Öl- u. Kohle 39, 1943. 669 i 40, 1944. 504
[9] Estcourt V. F.: „Symposium on turbine oils". ASTM. 1950. 11
[10] Merrow A. S.: „Symposium on turbine oils". ASTM. 1950. 24
[11] Beard L. C., Shipp V. L., Spelshouse W. E. Ind. Eng. Chem. Anal. Edit. 5, 307 (1933)
[12] Harvey W. T., Mills I. W. Analyt. Chem. 20, 207 (1948)
[13] Zerbe C. Mineralöle und verwandte Stoffe, 1952, 329
[14] Gibiński S. Wydzielanie węglowodorów aromatycznych z benzyn drogą chromatograficzną (referat z prac IN nieopubl.)
[15] Patzau S.: Nowa receptura smaru do łożysk tocznych ŁT 2 (Prace Inst. Naft. nieopubl.)

IV. TWORZYWA ORGANICZNE

MGR INŻ. TADEUSZ SULIMA
Instytut Elektrotechniki
Zakł. Materiałozn. Elektr.

Tłoczywa termoutwardzalne

621.983.4+621.984:679.562-002.2

Treść. Rozwój przemysłu krajowego z zakresu tłoczyw termoutwardzalnych fenolowo-formaldehydowych. Zagadnienia, które powinny być rozwiązane w najbliższym czasie. Stan technologii i wnioski zmierzające do jego poprawy.

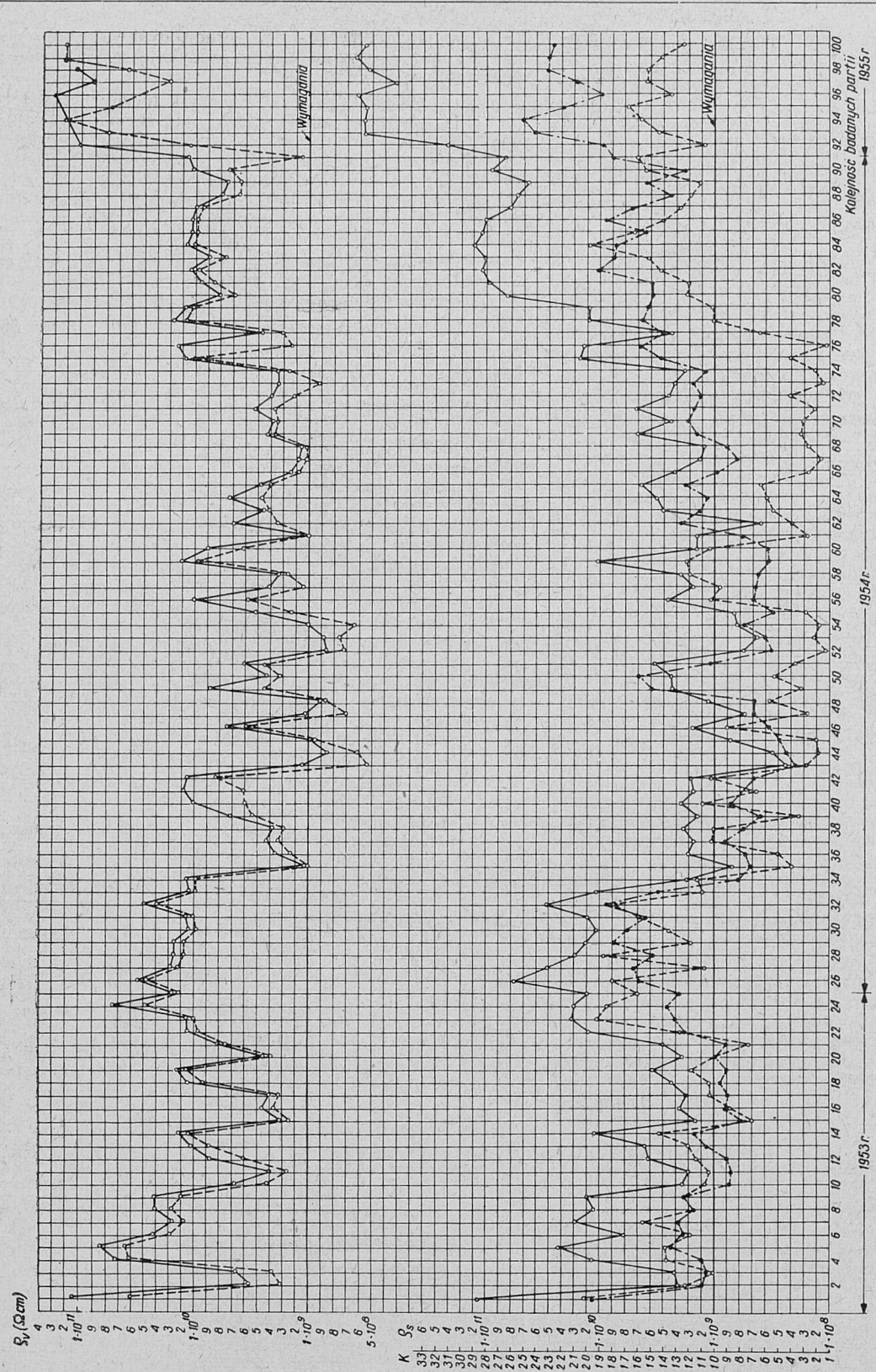
1. Wstęp.

Postępy przemysłu krajowego w technologii tłoczyw termoutwardzalnych, zwłaszcza od końca ubiegłego roku, są widoczne we wzroście produkcji, poprawie jakości i wprowadzaniu nowych tłoczyw. Dla przykładu podano na rys. 1, 2 i 3 zmiany w jakości produkcji tłoczyw termoutwardzalnych w jednym z naszych zakładów wytwórczych od początku r. 1953. Z wykresu na rys. 1 wynika, że w r. 1953 przemysł chemiczny wytwarzał w większości przypadków tłoczywo typu K-18-2 (nomenklatura radziecka) dość zgodne z wymaganiami. W 1954 r. jakość produkcji uległa przejściowemu zachwianiu, po czym w 1955 r. w wyniku prac przemysłu chemicznego i przy współpracy Instytutu Elektrotechniki sytuacja uległa zupełnej poprawie i do chwili obecnej wszystkie wsady produkcyjne są dobre.

Rozpoczęte w końcu 1954 r. przez przemysł chemiczny prace nad podniesieniem jakości tłoczywa K-21-22 i doprowadzeniem jej do stanu zgodnego z wymaganiami dały wyraźnie dodatnie wyniki. Prace te (rys. 2) oparto na badaniach Instytutu Elektrotechniki i Zakładu Technologii Politechniki Wrocławskiej. Są jeszcze wprawdzie partie niezgodne z wymaganiami, ale różnice są raczej nieznaczne i wynikają z braku właściwej kontroli w procesie technologicznym.

Inaczej przedstawia się sytuacja z tłoczywem K-211-3 (rys. 3). Właściwe próby wytwarzania tego tłoczywa rozpoczęły się dopiero w roku 1955. Stan rzeczy jest więc tu podobny do stanu z tłoczywem K-21-22 z 1953 r.

Obecnie można już przyjąć, że produkcja tłoczyw fenolowo-formaldehydowych przeznaczonych do celów ogólnych (K-18-2) oraz tłoczyw o wysokich własnościach dielektrycznych (K-21-22) jest opanowana pod warunkiem ścisłego przestrzegania przepisanego procesu technologicznego. Podobnie wygląda sprawa z tłoczywem melaminowym. Natomiast w za-



Rys. 1. Tłoczywo K-18-2 (1953—55 r.)

Góra

——— oporność właściwa skrośna po 48 godz. klimatyzacji przy 65% wilgotności względnej

– – – – oporność właściwa skrośna po 48 godz. klimatyzacji przy 100% wilgotności względnej

Dół

——— oporność właściwa powierzchniowa po 48 godz. klimatyzacji przy 65% wilgotności względnej

– – – – oporność właściwa powierzchniowa po 48 godz. klimatyzacji przy 100% wilgotności względnej

– · – · – wytrzymałość dielektryczna

Punkty powyżej linii „wymagania" oznaczają tłoczywo odpowiadające wymaganiom

kresie tłoczyw o małej stratności przy wielkich częstotliwościach i przy jednoczesnym utrzymaniu wysokich własności dielektrycznych (K-211-3) mimo wysiłków przemysłu chemicznego nie udało się do chwili obecnej otrzymać materiału odpowiadającego wymaganiom.

Wobec trudności surowcowych należy poważnie zastanowić się nad możliwościami częściowego zastąpienia tłoczyw fenolowo-formaldehydowych tłoczywami aminowymi, szczególnie dla części nie pracujących w obwodach elektrycznych, jak obudowy, okapturzenia itp.

Z najbliższych zagadnień oczekujących rozwiązania należy wymienić przede wszystkim opracowanie tłoczyw odpornych na prądy powierzchniowe pełzające, tłoczyw o wysokich właśnościach dielektrycznych, żywic lanych w zastosowaniu do potrzeb elektrotechniki.

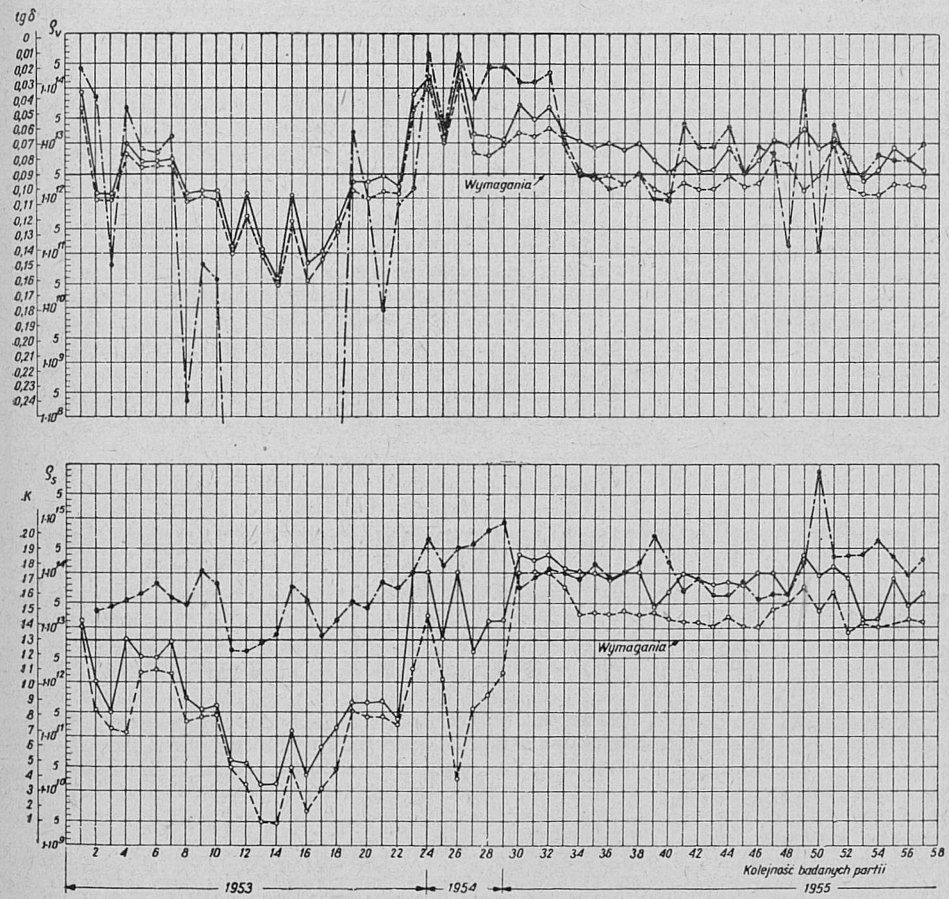
2. Materiały odporne na prądy pełzające.

Zakłócenie w pracy urządzeń elektrycznych połączone z tym uszkodzeniem powierzchni materiału izolacyjnego, po wystąpiło zwarcie, jest najczęściej wynikiem działania prądów pełzających. Badania wstępne nad tym zagadnieniem u nas nowym i w ogóle jeszcze niezupełnie wyjaśnionym prowadzone są w Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki, a podyktowane zostały potrzebami życiowymi. Nad zagadnieniem tym pracują instytuty zagraniczne od kilkunastu lat, lecz metody badawcze stosowane

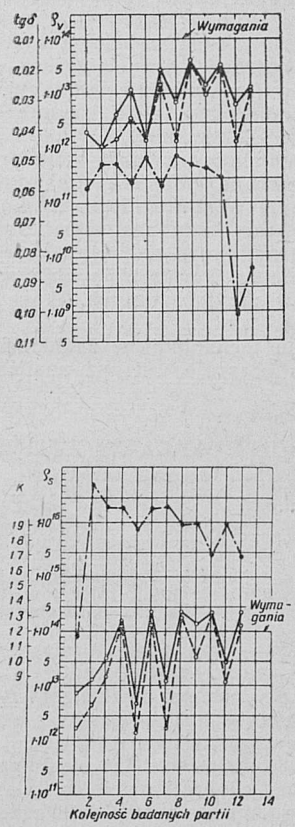
Tablica I

Wskaźniki	Prasowanie							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Średni nacisk dla istniejących form (t)	16,1	52,4	16,5	39,9	28,3	16,1	30,0	30,1
Średni nacisk dla istniejących pras (t)	52,0	63,5	49,4	59,7	69,7	42,7	61,2	59,9
Średni nacisk dla form. 100% / Średni nacisk dla pras	31,0	82,5	33,4	66,8	40,6	37,7	49,0	50,3

dotychczas są niewystarczające. Dotychczasowe badania pozwalają na niepewne jeszcze uszeregowanie stosowanych materiałów izolacyjnych według odporności na prądy pełzające. Konieczne jest przeto wprowadzenie tymczasowej normy, opartej na własnym i obcym doświadczeniu, nim sprawa nie będzie w pełni wyjaśniona. Konieczne jest również rozszerzenie badań i zbieranie doświadczenia. Tak postawione zagadnienie pozwoli na opracowywanie i wprowadzanie nowych materiałów odpornych na prądy pełzające nawet przy pracy obniżające własności dielektryczne materiału. Rozpoczęto już u nas prace na razie w bardzo wąskim zakresie, mające na celu wytworzenie i wprowadzenie do przemysłu żywic lanych epoksydowych. Za granicą żywice te znalazły już szereg zastosowań. Żywice epoksydowe otrzymane w kraju na drodze laboratoryjnej odznaczają się doskonałymi własnościami izolacyjnymi i bardzo dobrą przyczepnością do metali. Możliwości zastosowań są szerokie, np. w przekładnikach prądowych i napięciowych, w maszynach wirujących wysokiego napięcia



Rys. 2. Tłoczywo K-21-22 (1953 — 55 r.)



Rys. 3. Tłoczywo K-211-3 (1955 r.)

Góra

oporność właściwa skrośna po 48 godz. klimatyzacji przy 65% wilgotności względnej
oporność właściwa skrośna po 48 godz. klimatyzacji przy 100% wilgotności względnej
współczynnik strat przy częstotliwości 50 Hz dla rys. 2 i 10^6 Hz dla rys. 3

Dół

oporność właściwa powierzchniowa po 48 godz. klimatyzacji przy 65% wilgotności względnej
oporność właściwa powierzchniowa po 48 godz. klimatyzacji przy 100% wilgotności względnej
wytrzymałość dielektryczna

Punkty powyżej linii „wymagania" oznaczają tłoczywo odpowiadające wymaganiom

w ciężkich warunkach. Za jeden z takich materiałów można uważać tłoczywo melaminowe.

Zadaniem przemysłu chemicznego byłoby opracowanie innych jeszcze materiałów odpornych na prądy pełzające (np. nienasycone żywice poliestrowe lane, tłoczywa na żywicy anilinowej itp.); zadaniem instytutów i przemysłu elektrotechnicznego byłoby dokładne opracowywanie metod badania nowych materiałów i wprowadzanie ich do przemysłu.

3. Żywice lane epoksydowe.

Dotychczas stosowana izolacja z żywic termoutwardzalnych ma ograniczone zastosowanie. Są to żywice polikondensacyjne, wydzielające w czasie utwardzania produkty lotne, itp. Należy zwiększyć intensywność prac nad otrzymaniem tych żywic, modyfikować je w kierunku otrzymania pożądanych własności, jak najszybciej wprowadzać je w przemyśle elektrotechnicznym i rozszerzać ich zakres zastosowania.

Konieczna tu jest ścisła współpraca chemików z elektrykami.

4. Wprowadzenie grzania dielektrycznego w produkcji materiałów uwarstwionych.

Dotychczasowe grzanie parowe pras wielopłytowych przy produkcji materiałów uwarstwionych, stosowane u nas i za granicą, ma szereg wad. Podstawową wadą tej metody jest ogrzewanie materiału prasowanego od powierzchni zewnętrz-

nych, co powoduje niższą temperaturę wewnątrz materiału. Pociąga to za sobą pozostawanie wewnątrz materiału pęcherzyków gazu, a tym samym obniżenie własności dielektrycznych materiału. Próby zagraniczne stosowania grzania dielektrycznego nie dały zadowalającego rozwiązania. U nas nie rozpoczęto dotychczas badań w tym kierunku. Wprowadzanie grzania dielektrycznego przy produkcji materiałów uwarstwionych natrafi zapewne na poważne trudności, niemniej jednak korzyści wynikające z poprawy jakości materiału i skrócenia czasu prasowania będą istotne i należy już obecnie przystąpić do prac mających na celu wprowadzenie grzania dielektrycznego w produkcji materiałów uwarstwionych. Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki rozpoczął prace przygotowawcze w tym kierunku.

5. Zagadnienia technologiczne.

Prócz wymienionych zagadnień pozostaje do wykonania szereg innych prac w przemyśle zarówno chemicznym, jak i elektrycznym. Wobec nacisku ze strony użytkowników jakość produkcji przemysłu chemicznego w zakresie tłoczyw termoutwardzalnych wyraźnie się poprawiła, należy jednak zwiększyć asortyment wyrobów. Przemysł elektryczny potrzebuje tłoczyw odpornych na wysokie temperatury, tłoczyw o małej stratności przy wielkich częstotliwościach i to w zakresie tłoczyw zarówno proszkowych, jak i uwarstwionych. Należy jak najszybciej przystąpić do produkcji materiałów na żywicach i wypełniaczach odpornych na wysokie temperatury (np. tekstolit szklany). Powodzenie tych zamierzeń uwarunkowane jest dalszym zacieśnieniem współpracy chemików z elektrykami.

Niemniejsze zadania stoją przed przemysłem elektrycznym. Powszechną bolączką przemysłu przetwórczego jest niestosowanie odpowiedniego suszenia i podgrzewania wstępnego oraz brak dokładnego pomiaru i automatycznej regulacji temperatury. Prace nad tymi zagadnieniami powinny ulec przyspieszeniu. Powszechną bolączką jest poza tym brak laboratoriów przyfabrycznych. Prace w tym kierunku są zbyt powolne.

Stan technologii w zakładach przetwórczych w roku ubiegłym obrazuje wstępna analiza dokonana przez Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki. Zbadano kilka prasowni bakelitowych, ujmując stan i charakterystykę wyposażenia zakładów w prasy, urządzenia pomocnicze i formy prasownicze. W każdym zakładzie dokonano chronometrażu procesu prasowania na wszystkich prasach oraz poczyniono inne obserwacje celem ogólnego scharakteryzowania pracy prasowni tych zakładów.

W wyniku tych badań ustalono ponad wszelką wątpliwość, że przepustowość poszczególnych prasowni można zwiększyć przez dostosowanie form (wielokrotność) do istniejących pras. Dla uwypuklenia tego wniosku obliczono dla każdego zakładu średni nacisk na formę w pełnym okresie użytkowania wszystkich form, potrzebnym do wykonania zadania produkcyjnego, oraz średni nacisk pras zakładu. Stosunek powyższych wielkości określa stopień dopasowania istniejących w zakładzie form (w przewidywanym zadaniu planowym) do asortymentu posiadanych przez zakład pras. Z zestawienia w tabl. I wynika, że wielokrotność form można znacznie zwiększyć. Stwierdzono, że konstrukcja form w większości przypadków jest błędna. Należałoby powołać specjalną komórkę do uporządkowania tego zagadnienia, znormalizowania form i udzielania porad, a nawet zatwierdzania form projektowanych przez poszczególne zakłady.

6. Wnioski.

a) Należy podnieść dyscyplinę technologiczną przy produkcji tłoczyw.

b) Należy uruchomić w jak najszybszym czasie laboratoria przyfabryczne w przemyśle zarówno chemicznym, jak i przetwórczym.

c) Należy utworzyć Centralne Biuro Konstrukcyjne dla form.

d) Należy zaopatrzyć przemysł przetwórczy tłoczyw w jak najszybszym czasie w aparaturę regulacyjną, kontrolną i pomocniczą (regulacja temperatury, przekaźniki czasowe, blokada, tabletkarki, podgrzewarki itp.).

e) Należy opracować i uruchomić produkcję tłoczyw odpornych na prądy pełzające, żywic lanych w zastosowaniu do elektrotechniki, tłoczyw odpornych na wysokie temperatury oraz tłoczyw o małej stratności przy wielkich częstotliwościach.

MGR INŻ. WACŁAW ZIELIŃSKI
Inst. Tworzyw Sztucznych

Elastomery stosowane w przemyśle kablowym

547.914.002.69:621.315.2:621.312

Treść. Przegląd najważniejszych elastomerów syntetyczny szczególnieniem ich zalet i wad w porównaniu z kauczukiem nat szanin polietylenu z poliizobutylem do celów izolacyjnych.

Liczne typy nowych elastomerów syntetycznych znajdują coraz szersze zastosowanie do izolowania kabli i przewodów. Cenne własności elektroizolacyjne syntetycznych elastomerów rozszerzyły znacznie zakres stosowania wyrobów przemysłu kablowego zwłaszcza w tych dziedzinach, w których znane od kilkudziesięciu lat elastomery, oparte na kauczuku naturalnym, nie całkowicie spełniają stawiane im wymagania.

Zagadnienie zastąpienia egzotycznego kauczuku naturalnego produktem syntetycznym od kilkudziesięciu lat zaprzątało umysły licznych badaczy, a liczba zaproponowanych w tym czasie rozwiązań jest duża. Pierwsze próby otrzymania kauczuku syntetycznego podejmowane w drugiej połowie ubiegłego stulecia kończyły się zawsze niepowodzeniem, gdyż pierwsi badacze opierali się na niesłusznym założeniu, że kauczuk syntetyczny musi mieć taki sam skład chemiczny, jak produkt naturalny. Zwrot w dziedzinie syntezy kauczuku nastąpił dopiero na początku bieżącego stulecia, kiedy opracowano podstawy teoretyczne jednego z trudniejszych problemów ówczesnego przemysłu chemicznego, jakim była synteza kauczuku.

Kauczuk naturalny składa się z makrocząsteczek, w których powtarzającym się elementem budowy jest izopren, węglowodór o wzorze:

$$CH_2 = \underset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}} - CH = CH_2,$$

zawierający dwa sprzężone wiązania podwójne. Już na wiele lat przed pierwszą wojną światową zauważono, że związek ten pod wpływem pewnych czynników natury fizycznej lub chemicznej wykazuje skłonność do polimeryzacji, w wyniku czego powstają elastyczne produkty przypominające swym wyglądem kauczuk naturalny, jednakże nie mające jeszcze wówczas żadnych wartości użytkowych.

Elastomery pochodne butadienu.

Jednym z najbardziej rewelacyjnych osiągnięć z tego okresu było stwierdzenie, że nie tylko izopren polimeryzuje na produkty o własnościach podobnych do kauczuku. Jeżeli w wyżej podanym wzorze izoprenu grupę metylową (CH_3—) podstawimy wodorem, to otrzymamy wzór odpowiadający innemu węglowodorowi, zwanemu butadienem, a wykazującemu również skłonność do polimeryzacji. Butadien jest najprostszą „cegiełką" budowy kauczuków syntetycznych, zastępujących kauczuk naturalny.

Jeżeli natomiast grupę metylową izoprenu podstawimy atomem chloru, to otrzymamy chlorobutadien, który również ulega polimeryzacji dając kauczuk syntetyczny. Dwa ostatnio wymienione typy kauczuków syntetycznych stanowią pierwszą grupę elastomerów stosowanych w elektrotechnice, a wytwarzanych od przeszło dwudziestu lat w skali fabrycznej. Charakterystyczną cechą wspólną dla obydwóch typów wymienionej grupy kauczuków jest podobna budowa makrocząsteczki, składającej się z powtarzających się cząsteczek butadienu (ker, SK-B, SK-A, buny liczbowe) lub z cząsteczek chlorobutadienu (sowpren, neopren, GR-N).

Kopolimery butadienu.

Następną grupą elastomerów wywodzących się z butadienu są jego kopolimery. W miarę postępu prac nad syntezą kauczuków okazało się, że cząsteczki butadienu nie tylko mogą

polimeryzować indywidualnie między sobą, lecz w pewnych warunkach zdolne są wiązać się chemicznie z innymi substancjami organicznymi, jak styren lub akrylonitryl, w których charakterystycznym elementem budowy jest chemicznie czynna grupa winylowa (—CH=CH_2), biorąca udział w reakcji polimeryzacji z butadienem.

Kopolimery butadienu ze styrenem są elastomerami nadającymi się najlepiej jako produkty zastępcze kauczuku naturalnego i z tego względu w światowej produkcji kauczuków zajmują obecnie drugie miejsce po produkcie naturalnym. Oto ich nazwy handlowe: SK-S, buna S, buna S 3, buna S 4, buna SS, GR-S, hycar TT, butaprene S i inne.

Drugim typem kopolimerów tej grupy są kauczuki otrzymywane z butadienu i akrylonitrylu różniące się między sobą wzajemnym stosunkiem produktów wyjściowych wprowadzanych do reakcji. Kauczuki syntetyczne tego typu znane są pod nazwami: butakryl, SK-N26, SK-N40, perbunan, perbunan extra, hycar OR, GR-A i inne.

Wady izolacji z kauczuku

Wymienione wyżej typy kauczuków syntetycznych stosuje się obecnie na szeroką skalę w przemyśle kablowym, choć żaden z nich nie spełnia wszystkich wymagań stawianych „idealnym" materiałom izolacyjnym. Liczne z wymienionych typów mają na ogół gorsze własności od kauczuku naturalnego, inne pod wieloma względami przewyższają go. Do najbardziej niepożądanych wad kauczuku naturalnego, ograniczających zastosowanie wytwarzanych z niego wyrobów gumowych, należą:

1) mała odporność w stosunku do olejów i paliw płynnych, albowiem te materiały spęczniają kauczuk naturalny i jego wulkanizaty, wskutek czego odporność wyrobów na działanie różnych czynników mechanicznych oraz odporność na działanie ozonu znacznie się obniża;

2) kauczuk naturalny ma ograniczoną odporność na działanie ciepła; już w temp. ok. 90° pogarszają się znacznie własności mechaniczne jego wulkanizatów, a w temperaturach jeszcze wyższych ulega on szybkiemu rozkładowi;

3) wulkanizaty kauczuku naturalnego mają dużą skłonność do starzenia nawet wtedy, kiedy są wykonane z największą starannością przy doborze najlepszych surowców wchodzących w skład gumy.

Po opracowaniu podstaw teoretycznych syntezy kauczuku, większość prac nowszych z tego zakresu przeprowadzono z myślą otrzymania nowego materiału, nie wykazującego wymienionych wad kauczuku naturalnego.

Dotychczasowe osiągnięcia na tym polu są wielkie, gdyż opracowano elastomery o cennych własnościach nie spotykanych wśród produktów pochodzenia naturalnego, niemniej jednak nowe materiały syntetyczne wykazują jeszcze liczne wady; nad usunięciem ich pracują obecnie liczne zespoły badaczy we wszystkich krajach o wysoko rozwiniętym przemyśle chemicznym. Problematyka jest bardzo obszerna.

Omówimy tu pokrótce problemy do rozwiązania, które powstały w związku z produkcją i przerobem kauczuku butadienostyrenowego. Jest to typ kauczuku, którego produkcja w pewnych okresach ostatniego dziesięciolecia przekraczała 800 000 t rocznie. Kauczuk ten został uznany jako najlepszy materiał zastępczy kauczuku naturalnego, choć nie spełnia on wszystkich wymagań stawianych produktowi naturalnemu.

Do największych wad kauczuku syntetycznego tego typu należy zaliczyć brak naturalnej kleistości i trudności, jakie występują przy przetwarzaniu kauczuku na gumę.

Próby polepszenia jakości elastomerów syntetycznych.

Inną wadą omawianego typu kauczuków syntetycznych interesującą specjalnie elektryków jest mała oporność właściwa izolacji kablowej wykonanej z tego materiału (tabl. I).

Tablica I

Materiał	Oporność właściwa (Ω cm)
Kauczuk naturalny	$10^{15} \div 10^{16}$
Buna SS	$5 \cdot 10^{14}$
Buna S	$8 \cdot 10^{13}$

Wykazane różnice w opornościach były trudne do wytłumaczenia, bo przecież wszystkie trzy wymienione typy kauczuków są węglowodorami i powinny mieć własności elektryczne podobne. Dokładniejsze badania wykazały, że przyczyną niskiej oporności właściwej kauczuków syntetycznych butadienostyrenowych są śladowe zanieczyszczenia, występujące w produkcie po procesie polimeryzacji. Składają się one głównie z inicjatora dającego w roztworze jony oraz ze śladów jonowego emulgatora. Staranne przemywanie kauczuków wodą niewiele tu pomaga. Istnieją wzmianki w literaturze, że dopiero staranne przemycie kauczuku trójetanoloaminą zmniejsza w dużym stopniu przewodność omawianych tu kauczuków. Jednakże to niewątpliwie ważne dla elektrotechniki spostrzeżenie nie było wykorzystane przy produkcji w skali przemysłowej.

Głównym problemem, który zaprzątał umysły licznych badaczy na przestrzeni ostatnich lat kilkunastu, było otrzymanie produktu o lepszych własnościach przerobowych. Trudności, które istniały przy przerobie buny S starano się ominąć przez zastosowanie specjalnej obróbki termicznej połączonej z degradacją makrocząsteczek, a więc z obniżeniem własności mechanicznych buny S. Istniejące trudności przypisywano słusznie rozgałęzionej budowie cząsteczek tego kauczuku. Badania prowadzone w kierunku otrzymania polimerów o makrocząsteczkach mniej rozgałęzionych, podobnie jak w kauczuku naturalnym, zostały uwieńczone wielkimi sukcesami, gdyż opracowano w końcu nowe typy elastomerów zwane kauczukami „niskotemperaturowymi". Kauczuki te polimeryzowane w temperaturach znacznie niższych, niż to praktykowano dotychczas, posiadają makrocząsteczki dłuższe i o bardziej uporządkowanej strukturze, dzięki czemu nowe ulepszone produkty wykazują lepsze własności elektryczne i wolniej się starzeją.

W USA [1] 65% produkowanego obecnie kauczuku butadienostyrenowego są to kauczuki niskotemperaturowe polimeryzowane w temperaturze —5°.

Opisany postęp stał się możliwy do zrealizowania dopiero po wynalezieniu i opracowaniu metody polimeryzacji w układzie redoksy, polegającym na wprowadzaniu do reagującej mieszaniny pewnej kombinacji związków utleniających i redukujących, która aktywuje produkty wyjściowe w takim stopniu, że polimeryzacja w niskich temperaturach jest możliwa i zachodzi ze znaczną szybkością.

Przemysł kablowy przerabia dostarczane mu elastomery na dwa rodzaje mieszanek, a mianowicie mieszanki na właściwą izolację i na opony, których zadaniem jest zabezpieczenie przewodu i izolacji przed działaniem niszczących czynników natury mechanicznej i chemicznej. W porównaniu z kauczukiem naturalnym mieszanki te wykazują większą odporność na zniekształcenie powłoki w stanie poprzedzającym wulkanizację, większą odporność na starzenie i wyższą odporność na działanie tzw. trucizn kauczuku.

Wadą tych kauczuków jest mała odporność izolacji na działanie czynników mechanicznych zwłaszcza w tych przypadkach, kiedy dodawanie sadzy aktywnej do mieszanek nie jest wskazane. Sadzę aktywną dodaje się natomiast z reguły do mieszanek na opony.

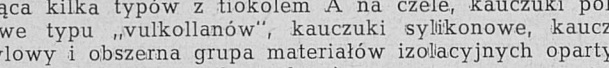
Ta sama uwaga dotyczy kauczuków butadienoakrylonitrylowych typu perbunanu. Ze względu na jego złe własności elektryczne znajduje on zastosowanie tylko na opony kablowe. Jego odporność na oleje i paliwa płynne jest — jak wyżej wspomniano — bardzo dobra.

Podobne własności wykazują polimery chlorobutadienu (sowpren, neopren) stosowane w wielu krajach jako materiał na doskonałe opony. Kauczuki chloroprenowe nie są trudne do otrzymania, gdyż chloropren polimeryzuje łatwo. Ich odporność na działanie ozonu jest ogólnie znana i pod tym względem przewyższają one wszystkie wymienione wyżej kauczuki, pochodne butadienu. Stosuje się je wszędzie tam, gdzie istnieją możliwości występowania zjawiska „korony", jak np. w przewodach zapłonowych. Kauczuki chloroprenowe odznaczają się również doskonałą odpornością na działanie czynników atmosferycznych. Cenną ich zaletą jest niepalność, dzięki czemu chętnie są stosowane do izolowania kabli kopalnianych, okrętowych itp.

Inne elastomery syntetyczne.

Do izolowania przewodów i na opony kablowe stosuje się jeszcze inne typy elastomerów, nie zawierających już butadienu ani jego pochodnych. Należy tu grupa tioplastów obejmująca kilka typów z tiokolem A na czele, kauczuki poliestrowe typu „vulkollanów", kauczuki sylikonowe, kauczuk butylowy i obszerna grupa materiałów izolacyjnych opartych na izobutylenie (oppanole, troleny).

Tioplasty są znane i wprowadzone w przemyśle kablowym od dość dawna. Czołowy przedstawiciel tego typu elastomerów — tiokol A — jest czterosiarczkiem polietylenowym o wzorze



Produkty tego typu są lub były produkowane w wielu krajach pod różnymi nazwami, jak wymieniony już tiokol A, thiokol B, perdureny, vulcaplas, nowoplas, ethanite, thiogutt, GR-P, thionite i inne.

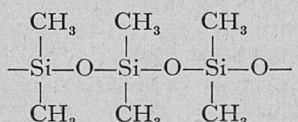
Tiokol A odznacza się wyjątkowo dużą odpornością na działanie rozpuszczalników, ozonu i małą przepuszczalnością dla gazów; ponieważ słabo nasiąka wodą, ma bardzo dobre własności elektroizolacyjne. Spośród wszystkich poznanych tioplastów, tiokol A — nawet w stanie zwulkanizowanym — odznacza się największą plastycznością. Jeżeli dwuchloroetan, będący jednym z produktów wyjściowych przy otrzymywaniu tiokolu A, zastąpimy dwuchloroeterami (np. eterem dwuchloroetylowym), to końcowy produkt będzie bardziej elastyczny, a więc bardziej zbliżony własnościami do kauczuku.

Tioplasty ze względu na wymienione wyżej cenne własności, jak odporność na chemikalia, rozpuszczalniki, ozon i wodę, znalazły zastosowanie na opony kablowe zamiast ołowiu. Wadą ich jest niska wytrzymałość na rozciąganie, ograniczony zakres temperatur, w których mogą być stosowane, przykry zapach, łzawiące własności przy przerobie, palność i brak odporności na alkalia.

Innym typem elastomerów, które mogą znaleźć szerokie zastosowanie do izolowania przewodów są tzw. kauczuki poliestrowe [2], znane pod nazwą I-gummi, vulkollan i inne.

Wytwarza się je w reakcji poliaddycji poliestrów z dwuizocyjanianami (np. dwuizocyjanian sześciometylenowy). Są to elastyczne produkty, odznaczające się dużą odpornością na oleje, na rozpuszczalniki, na ozon, są przy tym odporne na starzenie. Mają wielokrotnie wyższą wytrzymałość na rozciąganie niż mieszanki izolacyjne z kauczuku naturalnego, wykazują dużą odporność na ścieranie i znaczne wydłużenie. Na szerszą skalę nie były jeszcze stosowane w przemyśle kablowym prawdopodobnie ze względów ekonomicznych (wysoka cena).

Kauczuki sylikonowe są to wielkocząsteczkowe związki krzemoorganiczne o budowie liniowej, w których elementami budowy głównego łańcucha są atomy krzemu i tlenu powiązane na przemian między sobą. Wolne wartościowości atomów krzemu są podstawione organicznymi grupami metylowymi według następującej konfiguracji:



Energia wiązania między atomami krzemu i tlenu jest znacznie większa niż dla atomów węgla, które tworzą łańcuch w makrocząsteczce elastomerów, wywodzących się od butadienu, dzięki czemu kauczuki sylikonowe odznaczają się wyjątkowo dużą odpornością na działanie ciepła w wysokich temperaturach, nie spotykaną u wszystkich wymienionych wyżej kauczuków syntetycznych i kauczuku naturalnego [3]. Znany na rynkach zagranicznych kauczuk tego typu pod nazwą „silastic" może być stosowany w granicach temperatur od —58° do +260° zachowując swoją elastyczność.

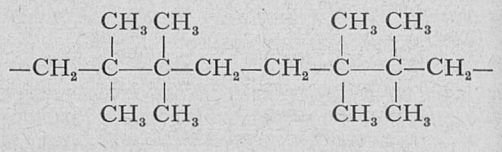
Kauczuk sylikonowy ma doskonałe własności elektroizolacyjne w szerokim zakresie temperatur, jest odporny na kwasy i zasady i wyróżnia się spośród innych elastomerów całkowitą odpornością na działanie wody. Ta ostatnia cecha ma doniosłe znaczenie dla elektrotechniki. Woda jest czynnikiem najbardziej niszczącym własności elektryczne wszystkich tworzyw. Wpływa ona również na pogorszenie własności mechanicznych i innych fizycznych nawet w normalnej temperaturze. W temperaturach podwyższonych działanie to znacznie się potęguje.

Odporność gumy sylikonowej na oleje jest mierna. Wytrzymałość na rozciąganie kauczuków sylikonowych nie jest duża.

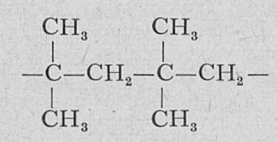
Jedyną przeszkodą na drodze do szerokiego rozpowszechnienia kauczuków wymienionego typu w elektrotechnice jest ich wysoka cena.

Polimery izobutylenu.

Odrębną grupę materiałów izolacyjnych stanowią wielkocząsteczkowe węglowodory syntetyczne o prostym łańcuchu węglowym, wywodzące się od izobutylenu. Jak widać z przytoczonego wzoru poliizobutylenu



lub



jest to związek nasycony, a więc nie ulegający wulkanizacji.

Znanymi przedstawicielami poliizobutylenów są oppanol B 100, oppanol B 200, isolene, vistanex 6, vistanex M, bezbarwne elastomery przypominające wyglądem parafinę, lecz bardziej od niej przejrzyste. Materiały te odznaczają się, jak parafina, dużą odpornością na działanie czynników chemicznych i wyjątkowo dobrymi własnościami elektrycznymi, dzięki czemu nadają się do izolowania przewodów szczególnie w technice prądów szybkozmiennych. Własności te tylko nieznacznie pogarszają się pod wpływem wody (nasiąkliwość w wodzie po upływie 24 godz. moczenia nie przekracza 0,05%). Wadą poliizobutylenu jest brak odporności na rozpuszczalniki, zwłaszcza niepolarne, które go spęczniają albo całkowicie rozpuszczają. Jako materiał izolacyjny nie nadaje się do izolowania ciężkich przewodów, gdyż podlega typowemu dla termoplastycznych polimerów zjawisku „płynięcia na zimno". Zjawisko to jest bez znaczenia przy żyłach lekkich, zwłaszcza jeżeli do poliizobutylenu doda się napełniacza usztywniającego. Tam, gdzie płynięcie na zimno jest specjalnie niepożądane, dodaje się do poliizobutylenu pewne ilości kauczuku naturalnego. Takie mieszanki mają tę zaletę, że ich odporność na wodę i własności elektryczne są znacznie lepsze niż mieszanek z samego kauczuku naturalnego.

Troleny.

Zjawisko płynięcia na zimno izolacji wykonywanych z elastomeru omawianego typu występuje w znacznie mniejszym stopniu, jeżeli poliizobutylen zmieszać z pewną zawartością polietylenu.

Polietylen — powszechnie znany pod nazwą alkathene, polithene, lupolen — jest węglowodorem nasyconym o łańcuchu prostym i konsystencji rogu. Jest to doskonały dielektryk o wskaźnikach lepszych niż wszystkie wymienione dotychczas materiały izolacyjne. Do niedawna nie udawało się zmodyfikować polietylenu na tworzywo elastyczne o własnościach typowych dla elastomerów.

Obecnie znajdują się na rynkach zagranicznych materiały izolacyjne pod nazwą troleny będące mieszaninami poliizobutylenu z polietylenem. Zależnie od stosunku zmieszanych produktów wyjściowych, własności elastoplastyczne trolenów można zmieniać w dość szerokim zakresie zależnie od potrzeby.

Według danych zaczerpniętych z literatury obcej [4] troleny zalicza się do najlepszych materiałów izolacyjnych, które elektrotechnika ma obecnie do dyspozycji. Troleny, w których udział poliizobutylenu nie przekracza 25%, praktycznie nie wykazują już płynięcia na zimno. Przy większej zawartości polietylenu w mieszaninie zwiększa się odkształcenie trwałe po deformacji, ponieważ przy rozciąganiu zachodzi orientacja cząsteczek polietylenu.

Niektóre własności mechaniczne trolenów podano w tabl. II. Według doświadczenia zdobytego za granicą [4] górna temperatura użytkowania trolenów nie może przekraczać 70°, gdyż własności mechaniczne powyżej tej temperatury szybko

Tablica II

Własności	Poliizobutylen o niskim c. cz.	Stosunek poliizobutylen / polietylen w trolenie			Polietylen
		75/25	50/50	25/75	
Twardość (°Sh)	28	65	74	90	95
Wytrzymałość (kg/cm²)	10	40	50	60	110
Wydłużenie (%)	1000	600	500	300	250

się pogarszają wskutek zmian zachodzących w polietylenie pod wpływem tlenu powietrza.

Pod wpływem silnego naświetlania, np. w krajach tropikalnych, utlenianie i wzrost kruchości materiału jest już widoczny w temperaturach znacznie niższych, wskutek czego izolacja przewodów i inne wyroby z polietylenu i jego mieszanin z poliizobutylenem muszą być zabezpieczone przed niszczącym działaniem wymienionych czynników za pomocą specjalnych powłok ochronnych. Domieszka czarnych pigmentów

Tablica III

Własności elektryczne	Stosunek poliizobutylen / polietylen			Polietylen
	75/25	50/50	25/75	
Wytrzymałość dielektryczna (kV/mm w 20°C)	30	40	40	40
Wytrzymałość dielektryczna (kV/mm w 40°C)	30	40	40	40
Wytrzymałość dielektryczna (kV/mm w 80°C)	15	40	40	40
Oporność właściwa przy 20—80°C (Ω · cm)	—	$9 \cdot 10^{15}$	—	$9 \cdot 10^{15}$
Przenikalność dielektryczna przy 20—80°C i 10^6 Hz	—	2,3	—	2,3
tg $\delta \cdot 10^4$ przy 50—10^6 Hz	—	2—8	—	2—9

do materiału izolacyjnego znacznie przedłuża czas użytkowania przewodów. Własności elektryczne trolenów są podane w tabl. III.

Kauczuk butylowy.

Dużym osiągnięciem chemii wysokich polimerów było opracowanie elastomeru o własnościach elektrycznych, zbliżonych do poliizobutylenu, ale o lepszych własnościach mechanicznych i większej odporności na działanie rozpuszczalników. Jest to tzw. kauczuk butylowy (GR — J lub GR — J 15) [5]. Otrzymuje się go w procesie polimeryzacji mieszanej izobutylenu z 2,5% izoprenu lub butadienu. Ta nieznaczna ilość związku dwuolefinowego w cząsteczce polimeru wystarcza, aby on ulegał procesowi wulkanizacji, dając w ostatecznym wyniku materiał elastyczny o własnościach kauczuku, posiadający przy tym wszystkie zalety polimeru parafinowego. Kauczuk butylowy wulkanizuje się siarką w 140—170°C. Ponieważ stopień nienasycenia kauczuku butylowego jest b. mały, wykazuje on wyjątkowo dużą odporność na starzenie nawet w obecności znanych trucizn kauczuku, jak miedź i mangan.

Wymienione własności wynikające z budowy kauczuku butylowego sprawiają, że ma on doskonałe własności elektroizolacyjne obok bardzo dobrej odporności na działanie ciepła, światła, tlenu i ozonu, kwasów, zasad, olejów, tłuszczów, a nawet rozpuszczalników. Okazało się, że ten nowy materiał ma jeszcze jedną cenną zaletę, której nie oczekiwali wynalazcy, a mianowicie, wyróżnia się spośród innych materiałów podobnego typu doskonałą nieprzenikliwością dla gazów, dzięki czemu znajduje coraz częstsze zastosowanie do wyrobu dętek samochodowych. Własność ta nie jest, oczywiście, bez znaczenia i dla przemysłu kablowego.

Polichlorek winylu.

Ważną grupą elastomerów stosowanych w przemyśle kabli i przewodów są polimery i kopolimery chlorku winylu [6, 7, 8]. Czysty polichlorek winylu nie nadaje się do izolowania przewodów ruchomych, gdyż jego własności elastoplastyczne w temperaturach zwykłych znacznie odbiegają od wymagań stawianych typowym elastomerom. Własności te zmieniają się gruntownie pod wpływem pewnych plastyfikatorów. Zależnie od ilości i jakości dodawanych plastyfikatorów własności fizyczne izolacji z polichlorku winylu można zmieniać w szerokim zakresie i w ten sposób dostosowywać je do stawianych wymagań. Zaleta ta sprawia, że zakres zastosowania polichlorku stale się rozszerza [9]. Ostatnio [10] opracowano nowe typy polichlorku winylu, nadające się do izolowania przewodów o dużym przekroju na napięcia do 10 kV.

Przemysł elektryczny ma obecnie do dyspozycji szereg innych doskonałych materiałów izolacyjnych, jak teflon, żywice epoksy i liczne odmiany żywic poliestrowych, które jednak nie będą tu omawiane, ponieważ ich własności elastoplastyczne odbiegają znacznie od własności typowych dla elastomerów.

Wnioski.

Nasz przemysł elektrotechniczny opiera swą produkcję na dielektrykach zdobywanych głównie z importu (kauczuki, polichlorek winylu, polistyren, polietylen, pewne gatunki olejów schnących, papier, bawełna i inne). Od jakości i właściwego stosowania tych materiałów zależy w dużej mierze czas użytkowania i sprawność produkowanych maszyn i urządzeń elektrycznych.

Sytuacja taka nie jest korzystna i niewątpliwie źle wpływa na postęp techniczny oraz na normalny rozwój wielu gałęzi przemysłu elektrotechnicznego.

Stworzenie krajowych źródeł surowcowych dla materiałów izolacyjnych stosowanych w elektrotechnice jest obowiązkiem naszego przemysłu chemicznego. Przemysł elektrotechniczny, najbardziej wymagający odbiorca materiałów izolacyjnych, interesuje się żywo wszystkimi osiągnięciami chemików w omawianej tu dziedzinie, jest przy tym — po przemyśle gumowym — największym odbiorcą elastomerów.

Produkcja najważniejszych elastomerów opiera się na bardzo ograniczonej liczbie prostych związków chemicznych zwanych monomerami. Otrzymanie ich nie nastręcza w zasadzie żadnych trudności. Istnieją jednak szczególne okoliczności sprawiające, że produkcja monomerów jest problemem znacznie trudniejszym niż się na pierwszy rzut oka wydaje. Przede wszystkim jest to produkcja, w której operuje się tysiącami lub nawet setkami tysięcy ton. Poza tym monomery stosowane w przemyśle kauczuków syntetycznych muszą być bardzo czyste, co wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych. Polska ma duże możliwości uruchomienia produkcji kauczuków syntetycznych opartej na produktach węglopochodnych. Placówki badawcze mają już poważny dorobek w dziedzinie opracowania metod wytwarzania nowych kauczuków syntetycznych. Pewne ich prace zostały już zrealizowane w skali półtechnicznej. Zadania, które na nas czekają są jeszcze olbrzymie. Trudności, które mamy do pokonania dla uruchomienia własnej produkcji kauczuków syntetycznych są dokładnie znane czynnikom decydującym w dziale chemii. Mimo to odbiera się wrażenie, że brak jest koordynacji prac, które należałoby wykonać, aby problem kauczuków syntetycznych ostatecznie rozwiązać. Nie ma konkretnego planu podziału zadań między zainteresowane instytuty w związku z koniecznością prowadzenia prac naukowo-badawczych nad otrzymywaniem i ulepszaniem nowoczesnych kauczuków syntetycznych. Brak jest konkretnej decyzji co do metod otrzymywania podstawowych monomerów. Zmieniały się już koncepcje co do rozmieszczenia przyszłych zakładów itd.

Ponieważ stworzenie krajowych źródeł surowcowych dla przemysłu gumowego, elektrycznego, komunikacyjnego i innych ma olbrzymie znaczenie nie tylko gospodarcze, należałoby już teraz opracować szczegółowy plan współdziałania zainteresowanych resortów i znaleźć środki, aby problem kauczuków syntetycznych został rozwiązany do końca.

Postęp w elektrotechnice, obserwowany w ciągu ostatnich kilkunastu lat, był możliwy m. in. dzięki wprowadzaniu nowych dielektryków o własnościach znacznie lepszych niż spotykane w materiałach izolacyjnych stosowanych dawniej. Zdarza się jednak nierzadko, że pewne prawidłowo zapro-

jektowane i wykonane maszyny czy kable nie wytrzymują przepisowych prób w warunkach użytkowania wskutek uszkodzenia lub pogorszenia się własności izolacji.

Najważniejszą przyczyną tych uszkodzeń są zanieczyszczenia, występujące w materiałach izolacyjnych w ilościach śladowych. Są to substancje różnego pochodzenia. Jedne z nich to zanieczyszczenia pochodzące z surowców wyjściowych; inne to pewne związki chemiczne o określonym charakterze celowo dodawane w trakcie polimeryzacji dla otrzymania produktu o pożądanych własnościach mechanicznych. Zanieczyszczenia te, nie wywierające żadnego wpływu na jakość zwykłych przedmiotów użytkowych, mogą mieć decydujący wpływ na własności elektryczne materiałów. Dokładne precyzowanie wymagań, stawianych dostawcom przy zawieraniu umów, jest więc najlepszą gwarancją uzyskiwania materiałów nie zawierających szkodliwych zanieczyszczeń.

LITERATURA

[1] Schrader W. Plaste u. Kautschuk, 1, 228 (1954)
[2] Houwink R. Elastomery i plastomery, PWT (1953)
[3] Rochow E. G. Einführung in die Chemie der Silicone, Wiesbaden (1952)
[4] Saechtling H. Dechema Monographien, 18, nr 216—225, Troisdorf
[5] Barron H. Nowoczesne kauczuki syntetyczne, PWT (1952)
[6] Hetman M. J. Polichlorek winylu jako materiał izolacyjny elektrotechniczny i jego znaczenie gospodarcze (Prz. Elektr., 1953, z. 10, str. 414)
[7] Jankowski S. Nowe asortymenty kabli i przewodów w polichlorku winylu i tiokolu oraz zakres ich zastosowania (Prz. Elektr., 1953, z. 10, str. 421)
[8] Przegląd Telekomunikacyjny 26, 293 (1953)
[9] Plaste u. Kautschuk, 1, 178 (1954)
[10] Kunststoffe 45, 86, (1955)

DR INŻ. I. BURSZTYN
Instytut Tworzyw Sztucznych

Aminoplasty

679.56:338.455"1955—1960"(438)

Treść. Brak w kraju surowców dla przemysłu mas plastycznych pomimo istnienia poważnego przemysłu karbidowego i azotowego. Niedostateczna znajomość aminoplastów w przemyśle elektrotechnicznym, który powinien przygotować się do przyjęcia stosunkowo dużej ilości tych materiałów w latach 1955—1960. Własności podstawowych wyrobów z żywic i tłoczyw mocznikowych i melaminowych oraz przykłady technologii ich prasowania.

Pomimo istnienia w Polsce wielkiego przemysłu węglowego, pod względem zarówno wydobycia jak i przetwórstwa (koks), do chwili obecnej dominuje w przemyśle chemicznym raczej azot. Dobrą ilustracją takiego stanu rzeczy są dwa fakty: największym osiągnięciem chemii polskiej w latach międzywojennych było wybudowanie zakładów azotowych „Mościce"; najważniejszym — sztandarowym — osiągnięciem przemysłu chemicznego Polski Ludowej jest wybudowanie Zakładów Azotowych w Kędzierzynie. Oczywiście, dziesięć lat wielkiego rozwoju przemysłu w Polsce Ludowej zmieniło od gruntu stan rzeczy także w przemyśle chemicznym, nie tylko bowiem nastąpiły zmiany ilościowe — czterokrotny prawie wzrost produkcji przemysłu chemicznego w stosunku do lat przedwojennych, ale również powstały zupełnie nowe, nieznane u nas przed wojną działy wytwórczości; wprowadzono nowe procesy technologiczne i wdrożono nowe metody pracy. Niemniej jednak wciąż jeszcze wybija się na pierwsze miejsce raczej chemia azotu niż chemia węglopochodnych. Analiza przyczyn tego zjawiska wykracza poza ramy niniejszego artykułu. Wystarczy jednak stwierdzenie, że Polska ma obecnie w dziedzinie przetwórstwa azotu stosunkowo znacznie więcej fachowców, projektantów, technologów, jak i zdobytego doświadczenia niż w jakiejkolwiek innej dziedzinie przemysłu chemicznego; niestety, ten szczególny kierunek rozwojowy naszego przemysłu chemicznego nie znajduje jeszcze w chwili obecnej odbicia w rozbudowie źródeł surowcowych dla przemysłu mas plastycznych.

Produkujemy wiele dziesiątków tysięcy ton azotniaku, nawozu zresztą niezbyt chętnie widzianego przez nasze rolnictwo. Mamy więc zainstalowaną znaczną moc produkcyjną podstawowego surowca do produkcji melaminy, jednego z najszlachetniejszych surowców wyjściowych do produkcji tworzywa elektroizolacyjnego. Z tych możliwości nie zrobiliśmy jednak dotychczas użytku i perspektywy rozwoju tego szlachetnego materiału są wciąż jeszcze niejasne. W pismach fachowych poruszono już swego czasu [1] zagadnienie uruchomienia rezerw istniejących w naszym stosunkowo szeroko rozbudowanym przemyśle karbidu (surowiec do produkcji azotniaku) dla przyspieszenia produkcji pochodnych winylu — podstawowych tworzyw elektroizolacyjnych, z tym większą mocą należy przeto podkreślić konieczność wyzwolenia ukrytej zdolności produkcyjnej melaminy z azotniaku.

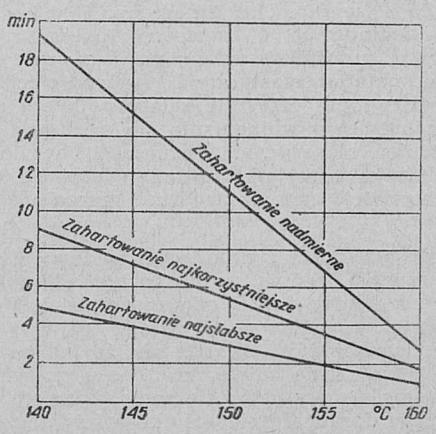
Opóźnienie w rozpoczęciu produkcji mocznika hamowało do tej pory rozwój następnego surowca potrzebnego w produkcji aminoplastów, mianowicie żywic i tłoczyw mocznikowych. Kompletny brak produkcji żywic anilinowych zamyka w zasadzie krąg surowców potrzebnych do rozbudowy aminoplastów, nieodzownych do dalszego szybkiego rozwoju przemysłu elektrotechnicznego.

Pomimo nienadążania surowców za potrzebami przetwórczymi mamy przecież pewne osiągnięcia w dziedzinie aminoplastów; gdyby te osiągnięcia były otoczone właściwą opieką, mogłyby stać się punktem wyjścia dla niezwykle szybkiego rozwoju przemysłu aminoplastów w naszym kraju. Z mocznika importowanego wytwarzamy już obecnie kilkaset ton tłoczyw mocznikowych rocznie. Z wyprodukowanej na skalę półtechniczną w naszym kraju melaminy wytwarzamy już teraz pewne ilości tłoczyw melaminowych, które zużywa przemysł elektrotechniczny. Zbieramy dane eksploatacyjne o wyrobach zarówno mocznikowych, jak i melaminowych. Prawdopodobnie jeszcze w tym roku będziemy w stanie ustalić nomenklaturę wyrobów, które dotychczas wymagały innych surowców niż aminoplasty.

Zarówno w przemyśle elektrotechnicznym, jak i w innych przemysłach przetwórczych, obserwuje się stanowisko raczej biernego oczekiwania na to „co nam chemia da". Dotychczas nie stawiano jasno sprecyzowanych żądań i zadań w stosunku do tego, co przemysł chemiczny powinien zrobić w dziedzinie aminoplastów.

Przemysł elektrotechniczny, jeden z przemysłów stosujących bardzo szeroko zdobycze nowoczesnej nauki i techniki, nie dość śmiało wykonywał próby z aminoplastami i w niedostatecznym stopniu próbował stwarzać rynek dla tych tworzyw. Wpływało to z kolei na zajęcie wyczekującego stanowiska w przemyśle chemicznym. Dopiero w 1954 r. zaczęto dyskutować w przemyśle elektrotechnicznym nad zagadnieniem aminoplastów i stworzono w roku 1955 — w bardzo zresztą nielicznych zakładach — ośrodki doświadczalne dla przetwórstwa aminoplastów. Należy więc wyraźnie stwierdzić, że w pięciolecie 1956—1960 r. wkraczamy bez zapewnionego w dostatecznym stopniu źródła surowców i bez dostatecznego doświadczenia w przetwórstwie i eksploatacji aminoplastów.

Wstępne opracowania najbliższego planu pięcioletniego przewidują produkcję kilku tysięcy ton tłoczyw aminowych, w tym kilkaset ton melaminowych. Da to w okresie najbliższych 5 lat dziesięciokrotny wzrost w stosunku do tego, co



Rys. 1. Zależność czasu prasowania wyprasek o grubości 1 mm od temperatury

Tablica I. Warunki prasowania niektórych przedmiotów z tłoczyw mocznikowych

Nazwa przedmiotu	Powierzchnia otworu formy (cm^2)	Głębokość tłoczenia (cm)	Grubość ścianki przedmiotu (mm)	Nacisk (kg/cm^2)	Temperatura formy (°C)	Czas prasowania (min)	Liczba cykli na godz.
Taca	181,0	7,6	0,89	200,0	149°	3	15
Klosz do lampy	252,0	12,7	1,14	270,0	—	3	—
Klosz do lampy	607,0	7,6	1,27	300,0	—	3	12
Obudowa wagi	414,0	20,3	3,18	660,0	146°	6	7
Skrzynka aparatu	615,0	17,8	3,96	515,0	—	5	5
Kubek	45,2	9,5	1,27	400,0	149°	4	10
Drobny spręt elektrotechniczny	9,7	1,97	1,76	280,0	158°	0,8	40

produkujemy w dziedzinie aminoplastów obecnie. Wzrost taki będzie w dziedzinie aminoplastów bez precedensu w skali światowej.

Przemysł elektrotechniczny nie jest na razie przygotowany do przyjęcia takich ilości tłoczyw; jednym z głównych zadań prasowni w przemyśle elektrotechnicznym na najbliższe lata powinno być przygotowanie kadr i zaopatrzenie się w urządzenia do przerobu tej stosunkowo dużej ilości aminoplastów. Zadania w zakresie przetwórstwa są poważne, gdyż technika prasowania aminoplastów, a w szczególności tłoczyw mocznikowych, odbiega od warunków prasowania fenoplastów. Trzeba poważnego wkładu pracy, żeby na urządzeniach (prasach) dotychczas używanych do prasowania tłoczyw fenolowych móc prasować tłoczywa aminowe, w szczególności mocznikowe, albowiem gdy tłoczywa fenolowe dają się — w zależności od czasu obróbki — prasować w dość szerokim zakresie temperatur, to tłoczywa mocznikowe są bardzo wrażliwe na temperaturę prasowania.

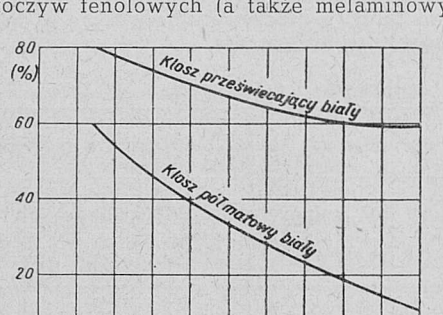
Tablica II. Zestawienie własności tłoczyw fenolowych i aminowych

Własności	Tłoczywa fenolowe, typ normalny			Tłoczywa mocznikowe			Tłoczywa melaminowe		
	wg GOST	wg DIN	polskie przeciętnie	wg GOST	wg DIN	polskie przeciętnie	wg DIN	wg polskich norm techn.	polskie przeciętnie
1. Własności mechaniczne									
Ciężar właściwy (G/cm^3)	1,4	1,4	1,30—1,36	1,4—1,5	1,5	1,4—1,5	1,55	—	—
Zginanie (kG/cm^2)	500	700	650—750	600—800	600	600—1000	800	700—900	850—1050
Udarność ($kG \cdot cm/cm^2$)	4	6	5—6	5,0—6,0	5	6,5—10	7	5,5—7,0	6,0—8,0
Udarność z karbem ($kG \cdot cm/cm^2$)	—	1,5	—	—	1,2	—	1,7	—	—
Ściskanie (kG/cm^2)	1400	2000	1800—2000	1000—5000	1800	—	2200	—	—
Skurcz prasowania (%)	0,6—1,0	—	—	0,8	—	0,6—0,7	—	1,0	0,6—0,7
2. Martens (°C)	110	125	135—150	100	100	100—120	135	120—140	170—180
Trwała odporność na ciepło (°C)	—	100	—	—	65	—	130	—	—
3. Własności elektryczne									
Oporność właściwa skrośna ($\Omega \cdot cm$)	—	$2 \cdot 10^{10}$	duże rozbieżności	—	10^{10}	—	$5 \cdot 10^9$	—	—
po 4 dniach w 80% wilg. ($\Omega \cdot cm$)	—	$2 \cdot 10^9$	10^7	—	10^9	—	10^9	—	—
po 24 g. w 100% wilg. ($\Omega \cdot cm$)	10^9	—	10^{10}	10^{11}	—	10^{12}		10^{11}	$3—30 \cdot 10^{11}$
po 48 g. w 65% wilg. ($\Omega \cdot cm$)	—	—				10^{12}			
Oporność właściwa powierzchniowa		$2 \cdot 10^{10}$			10^{10}	—	10^{10}	—	—
po 24 g. w wodzie (Ω)		10^8	duże rozbieżności		10^9	—	$5 \cdot 10^8$	—	—
po 24 g. w 100% wilg. (Ω)	10^9		$10^7—10^9$	$10^{11}—10^{13}$	—	10^{12}	—	$5 \cdot 10^{10}$	$1—20 \cdot 10^{12}$
po 48 g. w 65% wilg. (Ω)	—	—	—	—	—	$5 \cdot 10^{11}$	—	—	—
Stała dielektryczna 800 Hz		9	—	—	7	—	6	—	—
10^6 Hz		6,2	—	—	6,6	—	6	—	—
Kąt stratności 800 Hz		0,1	—	0,2	0,03	0,03	0,1	—	—
10^6 Hz		0,05	—	—	0,02	—	0,07	—	—
Wytrzymałość na przebicie (kV/mm)		15—20	—	14—16	17	19	10	12	17—20
4. Pochłanianie wody: po 7 dniach ($mG/100\ cm^2$)	—	250	—	—	400	—	250	—	—
po 24 g. (%)	0,3	—	0,15—0,19	0,45—0,67	—	—	—	0,5	0,10—0,15

Wakeman [2] podaje zależność między temperaturą i czasem prasowania wyprasek o grubości 1 mm w granicach od 140 do 160°C (rys. 1). Nasze własne doświadczenia wskazują jednak, że zakres właściwych temperatur jest jeszcze węższy, zawiera się bowiem raczej w granicach 140 — 150°C. Zagadnienie zakresu temperatur jest według naszych doświadczeń uzależnione w bardzo poważnym stopniu od wstępnego przygotowania proszku do prasowania. Mając do dyspozycji pastylkarkę i urządzenie do wstępnego podgrzewania można granice temperatur rozszerzyć do obszaru podanego przez Wakemana, przez co skraca się, oczywiście, bardzo znacznie czas prasowania. Mając jednak do dyspozycji jedynie proszek musimy prasować ze znacznie większą ostrożnością. W każdym razie prasy do aminoplastów muszą być zaopatrzone w urządzenia regulujące temperaturę.

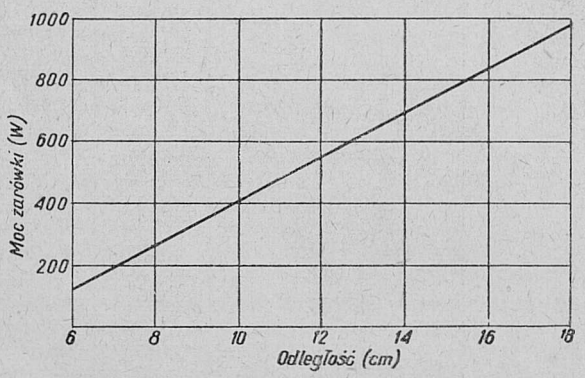
Wakeman podaje warunki prasowania szeregu przedmiotów. Z braku własnego doświadczenia przytaczamy je w tabl. I. Jak widać z tej tablicy utrzymanie stałej temperatury prasowania jest nieodzownym warunkiem. Szereg niepowodzeń u nas w ostatnim czasie przy prasowaniu tłoczyw mocznikowych tłumaczy się przede wszystkim brakiem urządzeń regulujących temperaturę.

Dalszym nieodzownym warunkiem jest kwasoodporność form prasowniczych. Tłoczywa mocznikowe — w przeciwieństwie do tłoczyw fenolowych (a także melaminowych) — zawierają przyspieszacz o charakterze silnie kwaśnym. W związku z tym konieczne jest chromowanie form używanych przy prasowaniu tych tłoczyw. Oczywiście, chromowanie form jest pożytecznym zabiegiem przygotowawczym dla wszelkiego rodzaju tłoczyw, jednak dla produkcji wyprasek mocznikowych zabieg ten jest wręcz konieczny.



Rys. 2. Przepuszczalność światła przez klosz z żywicy mocznikowej

Wymienione najważniejsze trudności napotykane przez przetwórcę przy użyciu tworzyw aminowych są kompensowane własnościami tych tworzyw, górującymi pod wieloma względami nad własnościami tłoczyw fenolowych. Tabl. II daje zestawienie najważniejszych własności tłoczyw aminowych (mocznikowych i melaminowych) w porównaniu z tłoczywami fenolowymi. Dane polskie reprezentują wartości przeciętne z kilkuset partii wykonanych w Zakładach Tworzyw Sztucznych w Pustkowie w roku 1954.



Rys. 3. Odległość klosza z żywicy mocznikowej od włókna w zależności od mocy żarówki

Jedną z najważniejszych zalet tłoczyw aminowych w porównaniu z tłoczywami fenolowymi jest możliwość nadawania im estetycznych kolorów pastelowych w dowolnych odcieniach. Ta zaleta często decyduje o wyborze tłoczywa, szczególnie do wyrobu takich przedmiotów, jak pudełka, futerały, ozdobne obudowy różnych aparatów, tarcze zegarowe, barwne rękojeści, gałki i uchwyty, płyty oraz inne przedmioty podobnego rodzaju.

W literaturze nie znajdujemy usystematyzowanej nomenklatury wyrobów z aminoplastów. Ustalił się pogląd, że aminoplastów używa się przeważnie tam, gdzie chodzi o efekt dekoracyjny, a przede wszystkim w wyrobach codziennego użytku. Niemniej jednak znajdujemy w literaturze szereg przykładów szerszego zastosowania wyprasek technicznych szczególnie w przemyśle elektrotechnicznym. Tak na przykład Blakey [3] podaje, że „żywice mocznikowe są odpowiednie do użytku w temperaturze do 100°C i używa się ich do takich przedmiotów, jak gniazdka wtyczkowe (dawniej z porcelany), wyłączniki, wtyczki, oprawki, liczniki, kadłuby cewek, tablice bezpiecznikowe, sprzęt oświetleniowy (włącznie z kloszami), skrzynki rozdzielcze, gniazda rozgałęźne sufitowe, części radiowe itd."

Jachnin i Łamba [4] stwierdzają, że „aminoplasty mają właściwość wydzielania azotu i wodoru pod wpływem działania łuku elektrycznego; gazy te gaszą łuk. Ta własność pozwala stosować aminoplasty jako trwałe, wydzielające gazy materiały w suchych wyłącznikach wysokiego napięcia". Burmeister [5] pisze: „pod względem własności elektrycznych typ B1 (tłoczywa mocznikowe) przewyższa tłoczywa fenolowe i krezolowe w odporności na prądy pełzające". Inni autorzy ([6], [7], [8]) potwierdzają te dane. Burmeister przyznaje, że odporność na prądy pełzające tłoczyw mocznikowych nie może być w pełni wykorzystana do wyrobu części aparatury wysokonapięciowej, ponieważ własności termiczne i stosunkowo niewielka odporność na działanie wilgoci nie dają dostatecznej gwarancji. Jednakże próby wykonane w końcu 1954 r. w Zakładzie Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki we Wrocławiu oraz próby eksploatacyjne w kopalni [9] wykazały, że tłoczywa melaminowe, jak i tłoczywa melaminowo-dwucyjandwuamidowe, są doskonałym tworzywem odpornym na działanie prądów pełzających nawet w bardzo trudnych warunkach eksploatacyjnych.

Tłoczywo melaminowe prasuje się znacznie prościej niż tłoczywo mocznikowe. We wszystkich swoich własnościach przewyższa ono tłoczywa fenolowe, a wspomniana wyżej możliwość nadawania wyrobom melaminowym kolorów pastelowych wysuwa je na czoło wszystkich tworzyw termoutwardzalnych.

Tłoczywo mocznikowe, które jest tańsze, a więc bardziej dostępne niż tłoczywo melaminowe, można używać zamiast tłoczyw fenolowych we wszystkich urządzeniach, które nie pracują w warunkach dużej wilgotności. Wakeman [2] wskazuje na możliwość używania żywic mocznikowych w oprawach oświetleniowych i podaje wykresy ilustrujące przepuszczalność światła (rys. 2) oraz określające zależność odległości klosza wykonanego z żywicy mocznikowej od włókna żarówki danej mocy przy oświetleniu półbezpośrednim (rys. 3).

Wnioski

Można dziś powiedzieć, że co najmniej 40% wyprasek dotychczas wykonanych z tłoczyw fenolowych można z korzyścią zastąpić wypraskami z żywic mocznikowych. Właściwe przygotowanie produkcji i właściwe wyposażenie w odpowiednie przyrządy prasowni w przemyśle elektrotechnicznym w ciągu najbliższych dwóch lat stworzy warunki umożliwiające przyjęcie i zużycie przez przemysł elektrotechniczny produktów, pochodzących z przewidywanej rozbudowy fabryki chemicznej, przystosowanej do wytwarzania tłoczyw z aminoplastów. Należyte wykorzystanie tych tłoczyw w przemyśle elektrotechnicznym nie tylko pokryje potrzeby własne, ale stworzy także warunki do eksportu szlachetnych wyprasek z aminoplastów.

LITERATURA

[1] Bursztyn I. Rola tworzyw sztucznych w technice budowlanej (Przem. Chem., 1954, 7, str. 336)
[2] The Chemistry of Commercial Plastics, 1947, str. 178
[3] Electrical Review, styczeń 21, 1938
[4] Płasticzeskije masy i ich primienienje na żeleznodorożnom transportie, 1954, str. 39
[5] Nichtmetallische Werkstoffe, str. 120
[6] Brandenburger Kunststoff-Ratgeber
[7] Simonds, Handbook of plastics, 1943, str. 808
[8] Sasso, Brown, Plastics in Practice (str. 40)
[9] Sulima T., Superat R. Badania odporności na prądy pełzające materiałów izolacyjnych (Przegl. Elektr., 1955, z. 10/11, str. 647).

MGR INŻ. WIESŁAW SMYK
Instytut Elektrot.
Zakł. Materiałozn. Elektr.

Lakiery elektroizolacyjne

621.315.617.3.001.2:621.312

Treść. Przegląd lakierów produkowanych w kraju i ich ocena jakościowa. Konieczność nowych opracowań lakierów olejowo-żywicznych i żywicznych opartych na żywicach syntetycznych. Są one szczególnie potrzebne przy produkcji maszyn elektrycznych, które pracują w ciężkich warunkach (maszyny morskie i kopalniane, maszyny w wykonaniu tropikalnym). Niedociągnięcia w dziedzinie normalizacji i technologii. Stosowanie lakierów izolacyjnych. Problemy o charakterze naukowo-badawczym, które powinny być tematem pracy odpowiednich instytutów.

1. Ogólne wymagania co do jakości lakierów izolacyjnych i błon, które one tworzą.

Lakiery elektroizolacyjne są to roztwory substancji błonotwórczych, dające w wyniku procesu schnięcia błonę o dużej wytrzymałości dielektrycznej, oporności skrośnej i — jeśli to jest wymagane — odporności na łuk elektryczny. Błona powinna być elastyczna, twarda, gładka, sucha, bez pęknięć, zmarszczeń i wtrąceń w postaci baniek powietrza. Własności te powinny w jak najmniejszym stopniu zmieniać się pod działaniem podwyższonej temperatury i dużej wilgotności atmosfery. Błona lakierowa powinna mieć dobrą przyczepność do podłoża, dobrą przewodność cieplną, dużą odporność na starzenie się.

Lakier elektroizolacyjny powinien być jednorodny, mieć odpowiednią koncentrację substancji błonotwórczych, nie może zawierać substancji korodujących pokrywaną powierzchnię i stykające się z nią elementy, ani też niszczyć materiału przesyconego sobą. Lakiery elektroizolacyjne muszą mieć zdolność szybkiego schnięcia fizycznego i chemicznego, zarówno powierzchniowego jak i wgłębnego. Te ogólne wymagania często nie są spełniane przez lakiery produkowane w kraju.

2. Podział lakierów izolacyjnych na grupy w zależności od zastosowania. Charakterystyka poszczególnych asortymentów lakierów.

Lakiery izolacyjne nasycające. Z punktu widzenia zastosowania i roli, którą w układzie izolacyjnym odgrywają lakiery, dzielimy je na kilka grup. Pierwszą grupą będą lakiery elektroizolacyjne nasycające. Lakiery nasycające służą do nasycania izolacji włóknistej (oprzęd, tkaniny, papiery, preszpany) oraz uzwojeń z drutów emaliowanych maszyn i aparatów elektrycznych.

Nasycanie materiałów porowatych i włóknistych podwyższa ich wytrzymałość dielektryczną i przewodność cieplną, zmniejsza zaś wydatnie nasiąkliwość wilgocią, organiczną zaś izolację włóknistą zabezpiecza w znacznym stopniu przed utleniającym działaniem powietrza. Jednocześnie błona lakierowa spaja uzwojenie i wzmacnia jego własności mechaniczne.

W kraju wytwarzane są następujące odmiany lakierów nasycających, z których większość odpowiada lakierom radzieckim o tych samych symbolach liczbowych.

a) Lakier olejowo-asfaltowy nr 447. Jest to lakier piecowy o dość długim czasie utwardzania, wynoszącym co najmniej 18 godzin dla maszyn małych wymiarów. Błona tego lakieru jest odporna na działanie wilgoci, a wytrzymałość dielektryczna jest rzędu 60 kV/mm. Wykazuje on dość dobrą odporność na starzenie termiczne, co gwarantuje, że w wypadku przeciążenia maszyny zachowa swoje własności jako czynnik izolacyjny i wzmacniający mechanicznie.

Produkcja tego lakieru jest całkowicie opanowana, a częste jeszcze wahania w jakości poszczególnych partii wynikają przeważnie ze zmiany surowców lub nieodpowiedniej ich jakości. Ponieważ lakier ten jest najczęściej stosowany, powinien być produkowany ze szczególną pieczołowitością.

b) Lakier olejowo-asfaltowy nr 458. Jako lakier piecowy o krótkim czasie utwardzania jest on szeroko stosowany do nasycania uzwojeń maszyn elektrycznych. Używany jest również do nasycania uzwojeń z drutu emaliowanego. Jakość tego lakieru jest taka sama, jak i lakieru 447. Przemysł farb i lakierów mógłby — przez zmianę technologii wytwarzania lakieru 447 i stosowanie odpowiednich surowców — dać typ lakieru, który zlikwidowałby jako zbędne dwa gatunki podobnych lakierów.

c) Lakier nr 26 olejowo-asfaltowy schnący na powietrzu, o wysokiej wytrzymałości dielektrycznej — rzędu 70 kV/mm, używany również do powlekania powierzchni; jakość średnia.

d) Lakier nr 51 olejowo-żywiczny służy do nasycania i podklejenia taśmy ochronnej azbestowej na częściach czołowych uzwojeń prądnic, jest to też lakier piecowy szybko schnący; błona odporna na olej mineralny o dobrych własnościach dielektrycznych; ma własności klejące; jakość średnia, zastosowanie rzadkie.

e) Lakier nr 1154 jest to lakier olejowo-gliftalowy b. często stosowany do nasycania uzwojeń maszyn i aparatów elektrycznych. Znajduje również — ze względu na pewną odporność na działanie podwyższonej temperatury — zastosowanie do nasycania drutów w oprzędzie z włókna szklanego. Błona tego lakieru o średniej wytrzymałości dielektrycznej jest odporna na działanie oleju. Ma on jednak zasadniczą wadę jakościową — złą przesychalność wgłębną. Powoduje to konieczność długiego czasu utwardzania, co ze względów produkcyjnych jest bardzo niekorzystne. Zła przesychalność wgłębna wynika ze złej jakości żywicy gliftalowej stosowanej — obok oleju lnianego — do jego produkcji.

f) Lakier krezolowo-olejowy nr 9-627 jest lakierem olejowo-żywicznym, w którym żywicą jest żywica krezolowo-formaldehydowa. Jakość produkowanego lakieru na ogół nie budzi zastrzeżeń.

g) Lakier olejowy o krótkim czasie utwardzania (2 godz.). Produkcja tego lakieru jest nie opanowana. Cechuje go zła przesychalność wgłębna, niska wytrzymałość dielektryczna i zła odporność na olej.

Ogólną cechą wytwarzanych w kraju lakierów nasycających — oprócz ciągłych jeszcze wahań jakości poszczególnych partii — jest to, że własności tych lakierów wyrażają się wartościami będącymi na granicy lub tylko nieco powyżej wymagań warunków technicznych, własności technologiczne nie mają więc rezerw, które powinny cechować dobre tworzywo. Do grupy lakierów nasycających należą również lakiery do sporządzania ceratek. Są to z reguły lakiery olejowe, które produkowane przez przemysł krajowy przeważnie spełniają wymagania W. T. Natomiast wykonywane ceratki pozostawiają jeszcze wiele do życzenia.

Lakiery izolacyjne powlekające. Drugą grupę lakierów elektroizolacyjnych stanowią lakiery powlekające. Służą one do utworzenia powłoki elektroizolacyjnej, odpornej mechanicznie, twardej, gładkiej, odpornej na działanie wody. Własności te mają zapewnić odpowiednią izolację elektryczną oraz izolację od wpływów zewnętrznych pokrytego elementu (ochrona przed wilgocią, pyłem, działaniem agresywnym par związków chemicznych). Pewne gatunki tych lakierów pigmentowane jako tzw. emalie służą do pokrywania nasyconych uzwojeń maszyn, inne jako emalie do drutów nawojowych, na których tworzą błonę elektroizolacyjną.

W kraju są produkowane następujące gatunki lakierów powlekających:

a) Lakier kreodurowy do blach prądnicowych.

b) Lakier olejowo-żywiczny nr 202 do powlekania blach prądnicowych.

c) Lakier olejowo-żywiczny nr 302 odpowiadający radzieckiemu 302 do powlekania blach prądnicowych.

Z trzech wymienionych lakierów materiałem dobrym, produkowanym właściwie, jest lakier nr 202. Spełnia on wymagania co do własności dielektrycznych, jest odporny na ciepło, oleje mineralne i wodę, utwardza się szybko w wysokich temperaturach (powyżej 200°C), a własności błony z tego lakieru ulegają szczególnie poprawie, jeżeli blachy żelaza czynnego powleka się przy pomocy maszyn lakierniczych połączonych z piecem; najwłaściwsza temperatura utwardzania jest zawarta w granicach od 400 do 450°C przy czasie utwardzania 1 do 1,5 minuty.

d) Emalia szara SWD schnąca na powietrzu. Daje błonę błyszczącą, twardą, odporną na wodę, z czasem polepszającą swoje początkowo średnie własności dielektryczne. Wadą jej jest stosunkowo krótki okres możliwego przechowywania na składzie (około 3 miesięcy), po którym szybko starzeje się i z reguły nie nadaje się do stosowania. Drugą jej wadą jest to, że źle przetarta zawiera pigment utrudniający schnięcie i otrzymanie wymaganej gładności błony.

e) Emalia szara piecowa SPD. Dotyczą jej uwagi z poprzedniego punktu.

f) Emalia czerwona przeciwiskrowa schnąca na powietrzu KWD. Wadą jej jest bliska granicy wymagań (4 sek) odporność na łuk elektryczny.

g) Emalia do drutów KWL. Jest to emalia olejowa; jej największą wadą jest zupełna nieodporność na działanie typowych lakierów nasycających i ich rozcieńczalników.

Lakiery izolacyjne klejące. Służą one jako lepiszcza dla różnych materiałów elektroizolacyjnych (jak np. wyroby mikowe). Obok wysokich właściwości elektroizolacyjnych lakierom tym stawia się wymagania specjalne co do zdolności wiążącej. W kraju wytwarza się lakiery olejowe 401 i 418, lakier 441 olejowo-asfaltowy oraz jeszcze nienormowane chude lakiery bakelitowe. Te ostatnie wytwarza przemysł tworzyw sztucznych od przypadku do przypadku, złej jakości.

Lakiery izolacyjne specjalne. Należą tu lakiery do izolacji tropikalnej, do maszyn morskich, chemicznie odporne, półprzewodzące. Ta dziedzina produkcji jest przez przemysł krajowy właściwie zupełnie nie opanowana, stawiamy dopiero pierwsze kroki na drodze do produkcji (laboratoryjnie otrzymywane lakiery sylikonowe, „epoxy", emalie do drutów aluminiowych na osnowie z żywicy poliamidowej).

3. Obecny stan produkcji lakierów izolacyjnych na tle produkcji innych krajów i potrzeb naszego przemysłu.

Przedstawiony wyżej asortyment różnych typów lakierów jest chwilowo wystarczający w grupie lakierów nasycających i powlekających, natomiast stanowczo za szczupły w grupie lakierów klejących. W grupie lakierów specjalnych sytuacja jest zupełnie niezadowalająca. Lakiery tego typu są dopiero w opracowaniu laboratoryjnym względnie czekają na opracowanie.

Jakość wytwarzanych lakierów można ogólnie określić jako średnią. Własności ich są blisko dolnej granicy wymagań W. T. pomimo znacznej poprawy produkcji; ze względu na braki surowcowe, niski poziom techniczny wyposażenia wytwórni lakierów oraz niedotrzymywanie przepisów technologicznych procesu produkcyjnego — czasami produkowane są i dostarczane do przemysłu elektrotechnicznego partie lakierów niejednolite, bądź też psujące się po okresie stosunkowo krótkiego przetrzymania na składzie (2—3 tygodnie), co naraża użytkownika na poważne trudności produkcyjne.

Na podstawie zbadanych próbek lakierów importowanych różnych typów oraz danych, zebranych z katalogów i literatury, należy stwierdzić, że zarówno co do jakości jak i rodzajów lakierów, krajowy przemysł farb i lakierów pozostaje w tyle za osiągnięciami w tej dziedzinie Związku Radzieckiego, Czechosłowacji, Niemieckiej Republiki Demokratycznej oraz krajów zachodnich. Światowy przemysł lakierów opiera swoją produkcję przede wszystkim na żywicach syntetycznych. Lakiery te cechują doskonałe własności dielektryczne tzn. duża wytrzymałość dielektryczna oraz oporność skrośna i powierzchniowa, np. przeciętna wytrzymałość dielektryczna lakierów olejowo-żywicznych nasycających — angielskich, holenderskich i austriackich — wynosi 80 kV/mm. Lakiery te z reguły są odporne na wilgoć oraz odznaczają się odpornością na działanie podwyższonych temperatur. Spadek ich własności dielektrycznych przy temperaturze 120°C nie przekracza 25% wartości, w normalnych warunkach. Na uwagę zasługuje również zróżnicowanie produkowanych lakierów dla różnych klas izolacji i różnego typu drutów nawojowych (miedzianych, aluminiowych). Główną bazą surowcową światowego przemysłu lakierowego są różne rodzaje żywic lakierniczych — poliamidowych, alkidalowych, sylikonowych, „epoxy", poliwinylowych i fenolowo-aldehydowych. Wytwarzane są zarówno lakiery chude, jak i lakiery olejowo-żywiczne. Do tych ostatnich używane są oleje schnące odpowiednio rafinowane, częściowo oksydowane i zbogacone w glicerydy kwasów nienasyconych oraz izomeryzowane.

4. Wnioski.

Surowce i półfabrykaty. Należy właściwie postawić zagadnienie surowców i półfabrykatów do produkcji asortymentów lakierów izolacyjnych, które przemysł chemiczny już dostarcza i których technologię produkcji w zasadzie ma już opanowaną. Dwa zasadnicze surowce olej lniany i asfalty lakiernicze przemysł otrzymuje od przypadku do przypadku i to w jakości miernej lub nawet złej.

Oleju lnianego mamy za mało. Pewne jego ilości muszą być importowane wraz z innymi olejami schnącymi (np. tungowym). Przedsiębiorstwa handlu zagranicznego powinny zwracać uwagę, że surowiec ten winien spełniać wymagania techniczne określone przez przemysł farb i lakierów. Nie powinno sprowadzać się partii oleju lnianego o liczbie kwasowej 12 zamiast wymaganej przez normy 2. Jednocześnie przemysł farb i lakierów powinien być wyposażony w urządzenia umożliwiające wstępną obróbkę chemiczną surowego oleju lnianego, która ma na celu ogólną poprawę jego własności (głęboka rafinacja, wstępna polimeryzacja, wzbogacenie w glicerydy kwasów nienasyconych).

Asfalty lakiernicze mogą i powinny być dostarczane przez przemysł rafinerii nafty. Spełnienie wymagań przemysłu farb i lakierów jest stosunkowo nietrudne. Przemysł rafinerii nafty mógłby wydzielić jedną z rafinerii, która na podstawie opracowanego procesu technologicznego produkowałaby jeden asortyment przemysłowego asfaltu lakierniczego. Asfalt ten powinien spełniać wymagania podane w GOST 3508-47 (propozycja do dyskusji).

Używane do wytwarzania lakierów izolacyjnych żywice gliftalowe, baltole, fenolowo-aldehydowe są jakości miernej i o własnościach zupełnie przypadkowych. Producenci nie dotrzymują warunków technologicznych, wskutek czego dostarczane żywice nie pozwalają na otrzymanie dobrych lakierów. Zdarzają się takie wypadki, że np. jedna z żywic gliftalowych zawiera kilkanaście procentów gliceryny nie przereagowanej. Stan ten jest niedopuszczalny i powinien ulec zasadniczej zmianie.

Normalizacja. Większość produkowanych u nas lakierów jest odbierana przez przemysł maszyn i aparatów elektrycznych na podstawie norm radzieckich. Jednocześnie poszczególne zakłady zupełnie dowolnie wymagają, aby dany lakier spełniał wymagania GOST-ów, bądź też wymagania radzieckich norm resortowych, a nawet zakładowych. Stan taki jest niewłaściwy. Prace normalizacyjne CBKMEI powinny być przyspieszone i doprowadzone w krótkim czasie do wydania ogólnie obowiązujących norm naszego przemysłu maszynowego na wszystkie asortymenty wytwarzanych lakierów izolacyjnych.

Lakiery izolacyjne specjalne. Jak wspomniano, stan produkcji lakierów izolacyjnych do wykonań normalnych może być w krótkim czasie poprawiony przez zapewnienie dostawy jednolitych i dobrych surowców, natomiast zagadnienie lakierów do specjalnych maszyn elektrycznych i aparatów jest zupełnie niezadowalające.

W związku z dużymi możliwościami eksportowymi przemysłu maszynowego do krajów podzwrotnikowych, z rozwojem naszego przemysłu okrętowego, mechanizacją kopalń, rozwojem przemysłu chemicznego i hutnictwa oraz ogólną tendencją postępową przejścia w produkcji maszyn elektrycznych na wyższe klasy izolacji — powinny być w kraju opracowane i wytwarzane lakiery do maszyn specjalnych (tropikalnych, morskich i innych).

Do izolacji wyższej klasy potrzebne są lakiery odporne na działanie wysokich temperatur. Najwłaściwsze wydają się tutaj lakiery oparte na żywicach lakierniczych krzemowo-organicznych, których otrzymywanie na skalę laboratoryjną zostało opracowane przez Instytut Tworzyw Sztucznych. Ponieważ surowce do produkcji tych żywic — ferro-krzem i chlorek metylu oraz żywice wolnoutwardzalne do plastyfikacji i czynniki modyfikujące — można otrzymać w kraju, należy przyspieszyć przejście z opracowania laboratoryjnego na skalę co najmniej półtechniczną w ciągu 1955 i 1956 r., po czym przejść na skalę techniczną dającą co najmniej 15 ton żywicy rocznie.

Należy jednocześnie zwrócić baczną uwagę na koszty produkcji lakierów sylikonowych. Lakiery sylikonowe zapewniłyby przemysłowi właściwe wyzyskanie włókna szklanego do izolacji maszyn. Konieczne tutaj byłyby następujące typy lakierów: nasycający, powlekający piecowy oraz ceratkowy do ceratek szklanych.

Być może lakiery te spełniłyby wymagania stawiane izolacji maszyn przeznaczenia specjalnego, mianowicie do maszyn w wykonaniu tropikalnym oraz maszyn morskich, które pracują w warunkach zbliżonych w pewnym sensie do tropikalnych. Lakiery do tego rodzaju maszyn nie są wytwarzane w kraju, a opracowanie odpowiednich lakierów jest dopiero w stadium organizacji. Lakiery powyższe wymagają żywic syntetycznych, które bądź same (w lakierach chudych), bądź z olejami schnącymi (lakiery tłuste) dawałyby błonę o doskonałych własnościach mechanicznych, termicznych i dielektrycznych. Własności błony powinny tylko w bar-

dzo małym stopniu zmieniać się pod wpływem długotrwałego działania wilgoci przy jednocześnie wysokiej temperaturze otoczenia i jej wahaniach w ciągu doby. Błona musi być także całkowicie odporna na pleśń. Dla lakierów do maszyn morskich wymagana jest dodatkowo odporność na działanie słabych kwasów i zasad. Rodzaj żywicy czy też żywic, które będą podstawową substancją błonotwórczą dla tego rodzaju lakieru, jest trudny do ustalenia. Kierunek, w którym pójdą prace mające na celu opanowanie potrzebnych asortymentów lakierów specjalnych, wyniknie dopiero z dokładnej analizy warunków eksploatacji lakierów oraz możliwości surowcowych. Wydaje się, że w wypadku braku surowców krajowych należy importować je w takiej ilości, która umożliwiłaby produkcję na właściwym poziomie i w dostatecznej ilości. Należy tutaj stwierdzić jeszcze, że wytwarzane obecnie żywice lakiernicze nie nadają się jako substancje błonotwórcze do lakierów wysokiej jakości.

Obok lakierów odpornych na działanie podwyższonych temperatur i do izolacji maszyn specjalnych przemysł maszyn elektrycznych powinien rozporządzać również lakierami odpornymi na agresywnie działające związki chemiczne, przede wszystkim na kwasy, ługi i pary typowych rozpuszczalników oraz na oleje mineralne (do nasycania uzwojeń przekładników i transformatorów). Żywicami, które mogłyby stać się właściwą substancją błonotwórczą dla tego typu lakieru, są żywice epoksylinowe, alkidale modyfikowane melaminą, żywice alkilofenolowe (superbekacyt) i poliamidowe. Lakiery na tego rodzaju żywicach zostały opracowane w kraju przez poszczególne ośrodki badawcze. Należy zakończyć badania własności opracowanych lakierów pod kątem widzenia zastosowania ich przez przemysł maszynowy oraz rozpocząć produkcję tych żywic na skalę techniczną.

Obok pilnej potrzeby opanowania produkcji i samej produkcji lakierów izolacyjnych nasycających, powlekających oraz klejących niemniej ważnym problemem jest produkcja drutów nawojowych miedzianych i aluminiowych emaliowanych. Jak już wspomniano wyżej, obecnie rozporządzamy właściwie nic nie wartą emalią olejowożywiczną KWL, której stosowanie do emaliowania drutów miedzianych można wytłumaczyć tylko tym, że innej nie mamy. Emalia do drutów nawojowych aluminiowych została opracowana w kraju na skalę laboratoryjną. Jest to emalia z żywicy polikaprolaktamowej. Wybór tej żywicy, produkowanej na wielką skalę w kraju, pozwala żywić nadzieje, że z chwilą ukończenia badań własności drutów w emalii poliamidowej, zostanie zrobione wszystko, aby produkcja tego rodzaju drutów biegła bez przeszkód. Opracowania wymaga emalia do drutów miedzianych. Perspektywy rozwojowe przemysłu mas plastycznych pozwalają już teraz na wstępne prace przy opanowaniu produkcji emalii typu „formex" oraz technologii emaliowania.

Technologia stosowania lakierów nasycających. Własności błony lakierowej są uwarunkowane zarówno jakością surowców i półfabrykatów użytych do produkcji danego lakieru, jak i technologią utwardzania lakieru użytego jako syciwa w układzie izolacyjnym maszyny. Poza potrzebą stosowania w pewnych przypadkach w procesie nasycania lakierów urządzeń próżniowo-ciśnieniowych, których zakłady nasze nie mają, należy zwrócić uwagę na konieczność natychmiastowego wyposażenia zakładów produkcyjnych w piece do wypalania czy też inaczej mówiąc utwardzania błony lakierowej. Zakłady nasze w większości nie dysponują piecami, w których proces utwardzania lakieru mógłby przebiegać w rozbiciu na dwie fazy odparowania rozpuszczalnika i utwardzania lakieru jak również nie jest kontrolowany proces utwardzania. Nie przestrzegane są parametry odparowania, utwardzania, temperatura i czas. Temperatura jest zazwyczaj za niska, a czas zbyt krótki, co w rezultcie poważnie zakłóca proces błonotwórczy. Stosowanie wyższych temperatur w czasie procesów błonotwórczych ma na celu nie tylko usunięcie składników lotnych, ale i zapoczątkowanie i przeprowadzenie reakcji chemicznych, których rezultatem jest błona o wymaganej jakości. Dobre lakiery piecowe z reguły wymagają temperatur utwardzania w zakresie od 120° do 200°C oraz czasu odpowiedniego dla danych wymiarów maszyny.

Piece do utwardzania lakierów powinny być odpowiedniej mocy i wyposażone w urządzenia wentylacyjne oraz kontrolujące temperaturę przebiegu procesu.

Skutki niewłaściwie przeprowadzonego procesu utwardzania lakieru nasycającego są ogólnie znane i dlatego też wyposażenie fabryk w nasycalnie i w piece do utwardzania lakierów powinno być połączone z wysiłkami, które dadzą naszemu przemysłowi nowe asortymenty żywic lakierniczych i lakierów.

5. Tematy prac badawczych.

Oprócz problemów natury technologiczno-produkcyjnej nasuwają się następujące zagadnienia o charakterze naukowym:

1) zbadanie starzenia się błon lakierowych wskutek działania takich czynników, jak ciepło, pole elektryczne, tlen z powietrza i różne stopnie wilgotności otaczającej błonę atmosfery;

2) określenie parametrów właściwego przebiegu procesu błonotwórczego;

3) zbadanie odporności błony lakierowej na czynniki biologiczne (pleśń, bakterie), ustalenie metody badań i kryteriów oceny otrzymanych wyników;

4) zbadanie wpływu procesów chemicznych takich, jak wstępna polimeryzacja i polikondensacja substancji błonotwórczych, wzbogacenie olejów schnących w nienasycone glicerydy kwasów tłuszczowych na własności dielektryczne otrzymanych błon;

5) ustalenie takich metod laboratoryjnego badania błon lakierów izolacyjnych, w wyniku których otrzymane wartości własności tych błon charakteryzowałyby dostatecznie błonę w czasie eksploatacji. Z zagadnieniem tym związana jest sprawa normalizacji metod badań własności lakierów.

6. Zakończenie.

Właściwe rozwiązanie problemów naukowych i technicznych, związanych z surowcami do produkcji i produkcją lakierów izolacyjnych, wymaga dużego wysiłku ze strony zainteresowanych instytutów oraz opieki nad pracami prowadzonymi w dziedzinie substancji błonotwórczych ze strony Ministerstwa Przemysłu Maszynowego i Ministerstwa Przemysłu Chemicznego. Opieka ta winna zapewnić instytutom, laboratoriom i innym instytucjom prowadzącym badania naukowe i techniczne konieczne wyposażenie laboratoryjne i półtechniczne, odpowiednią ilość etatów pracowników samodzielnych i pomocniczych oraz możliwość praktyk zagranicznych.

MGR INŻ. ZOFIA HERTZ
Inst. Tworzyw Sztucznych
INŻ. ANDRZEJ JERZYKIEWICZ
Zakł. Wytw. Apar. Wysok. Nap. A-1

Żywice epoksydowe w elektrotechnice

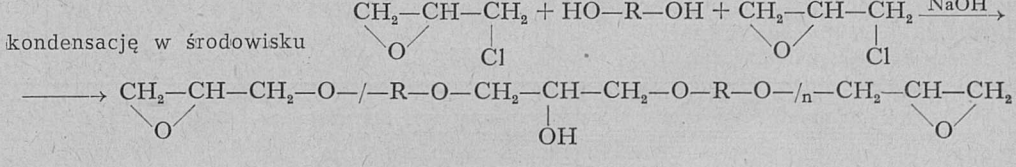
679.56.002.6:621.3

Treść. Ogólna charakterystyka żywic epoksydowych wyjaśniająca sposób ich otrzymywania. Zasadnicze typy tworzyw, które mogą być z nich produkowane. Dotychczasowe wyniki prac własnych ITS oraz wnioski co do dalszego postępowania przy rozwiązywaniu problemu produkcji i zastosowania żywic epoksydowych.

Żywice epoksydowe produkowane są dopiero od 1948 r., choć związki tego typu były znane znacznie wcześniej, nie potrafiono początkowo otrzymywać z nich tworzyw o dobrych własnościach. Żywice epoksydowe rozpowszechniły się szybko dzięki wielu cennym własnościom, wyróżniającym je wśród innych tworzyw.

Żywice te otrzymuje się przez kondensację w środowisku alkalicznym fenoli wielowodorotlenkowych z dwuchlorohydryną lub epichlorohydryną glicerynową. Najczęściej stosowany jest fenol dwuwodorotlenowy — dwuhydroksydwufenylopropan, tzw. „dian". Epichlorohydrynę otrzymuje się przez chlorowodorowanie gliceryny, a dian przez kondensację fenolu z acetonem.

Przebieg reakcji otrzymywania żywicy jest następujący:



Tablica I

Temperatura utwardzania (°C)	Czas utwardzania (godz.)	Wytrzymałość na ścinanie średnia (kg/cm²)
150	3	348
180	2	389
pokojowa	48	125

Na końcach łańcuchów znajdują się charakterystyczne grupy epoksydowe, odznaczające się znaczną reaktywnością. Długość łańcucha żywicy zależy od stosunku ilościowego składników mieszaniny reakcyjnej oraz od warunków prowadzenia procesu. Zwiększenie ilości dianu w stosunku do epichlorohydryny powoduje otrzymanie żywicy o dłuższych łańcuchach i wyższej temperaturze mięknienia. Można otrzymać szereg typów żywic — od ciekłych do twardych i kruchych — w temperaturze pokojowej. Zakres temperatur mięknienia wynosi od ~ 20 do 100°C. Żywice te są termoplastyczne, rozpuszczalne w dioksanie, acetonie i innych. Na skutek utwardzenia za pomocą odpowiednich substancji otrzymuje się z nich tworzywo nietopliwe, twarde, o dużej wytrzymałości i odporności chemicznej.

Utwardzanie polega na usieciowaniu — utworzeniu wiązań poprzecznych między łańcuchowymi cząsteczkami żywicy na skutek przyłączenia pewnych związków, jak np. kwasy i ich bezwodniki — ftalowy lub maleinowy (20—40%), aminy — np. fenylenodwuamina, sześciometylenodwuamina, piperydyna, trójetanoloamina i inne (5—10%). Utwardzanie bezwodnikami odbywa się w temperaturze powyżej 100°C i trwa około 24 godzin, natomiast za pomocą amin można utwardzać żywicę nawet w temperaturze pokojowej. Przy utwardzaniu nie wydzielają się substancje lotne, a skurcz jest bardzo mały — wynosi 0,5÷2% zależnie od temperatury utwardzania.

Utwardzona żywica wykazuje znaczną trwałość oraz stałość wymiarów w czasie oraz dobre własności mechaniczne i elektryczne w szerokim zakresie temperatur.

Zastosowania żywic epoksydowych mogą być różnorodne w zależności od typu żywicy i użytej substancji hartującej.

Żywice twarde, o temperaturze mięknienia około 100°C, stosuje się przede wszystkim do otrzymywania lakierów. Mogą one być barwione lub pigmentowane. Stosuje się je jako lakiery antykorozyjne, elektroizolacyjne i inne. Rozróżniamy wśród nich dwie zasadnicze grupy: lakiery schnące w temperaturze pokojowej w ciągu około 24 godzin oraz lakiery piecowe utwardzane w temperaturze około 180°C w ciągu 1 godziny. Lakiery obu typów opracowane w Instytucie Tworzyw Sztucznych wykazały po zbadaniu bardzo dobrą przyczepność, dużą twardość, elastyczność i odporność chemiczną.

Kleje otrzymuje się z żywic o temperaturze mięknienia niższej od stosowanych do lakierów. Kleje te posiadają własności, które powinny charakteryzować dobre lepiszcza, a mianowicie: mają dużą przyczepność do wielu materiałów, jak metale, szkło, porcelana; w czasie utwardzania nie wydzielają substancji lotnych, które mogłyby powodować powstawanie pęcherzy; wytrzymałość złącza jest znaczna, a klej nie działa na materiały łączone. Po utwardzeniu klej jest odporny na starzenie, działanie wody i rozpuszczalników, kwasów i alkalii. Przy sklejaniu nie jest potrzebne działanie ciśnienia, wystarczy lekki docisk zapewniający dokładne usunięcie zamkniętych pęcherzyków powietrza i przyleganie łączonych elementów.

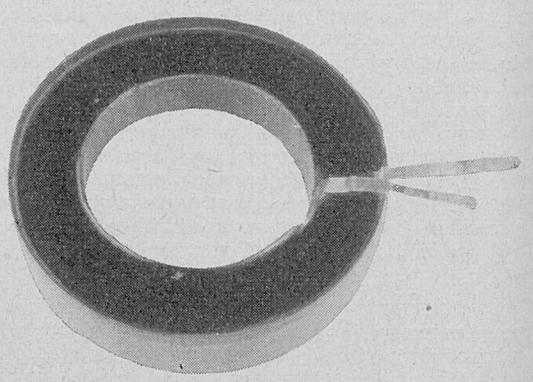
Kleje dzielą się na dwie grupy — utwardzane na gorąco i utwardzane w temperaturze pokojowej. Kleje utwardzane na gorąco stosuje się przede wszystkim do łączenia części metalowych. Trwałość kleju jest duża. Kleje utwardzane w temperaturze pokojowej składają się z żywicy oraz ciekłej substancji utwardzającej, którą dodaje się bezpośrednio przed użyciem kleju. Czas utwardzania wynosi około 48 godzin. Trwałość gotowego kleju jest niewielka i wynosi około 30 minut. W tabl. I podano wyniki badań wytrzymałości złącza przy zastosowaniu kleju utwardzanego na gorąco oraz na zimno.

W elektrotechnice jednym z najważniejszych zastosowań klejów tego typu jest łączenie porcelany z częściami metalowymi.

Żywice lane otrzymuje się przez kondensację dianu ze znacznym nadmiarem epichlorohydryny.

Temperatura utwardzania zależy od charakteru substancji hartującej. Jeżeli nie jest możliwe zastosowanie wysokiej temperatury, używa się do utwardzania amin, przy których można je przeprowadzić w temperaturze pokojowej. Otrzymane tworzywo ma jednak mniejszą odporność na wysokie temperatury; również własności elektryczne w temperaturze podwyższonej są gorsze (tabl. II). W celu zmodyfikowania własności żywicy można dodawać plastyfikatory, np. ftalan dwubutylu, fosforan trójkrezylu. Powodują one zmniejszenie lepkości żywicy przy odlewaniu, jednak wywierają niekorzystny wpływ na własności elektryczne w temperaturach podwyższonych. Osiągnięto również znaczne zmniejszenie lepkości żywicy przez dodanie pewnego rodzaju rozcieńczalnika, który w czasie utwardzania bierze udział w reakcji. W tabl. II podano własności żywicy utwardzanej bezwodnikiem ftalowym i aminami w różnych temperaturach. Podano również własności żywicy z rozcieńczalnikiem.

Dla otrzymania tworzyw konstrukcyjnych stosuje się napełniacze: mączkę porcelanową, kwarcową itp. Szczególnie



Rys. 1. Cewka o uzwojeniu nasyconym żywicą laną

dobre własności mechaniczne tworzywa otrzymano przez nasycanie żywicą włókien szklanych.

Odporność na działanie prądów pełzających dla próbek w tabl. II jest dobra i próba przeprowadzona według projektu PN/E-04062 nie doprowadza do zwarcia.

Tablica II. Własności mechaniczne i elektryczne utwardzonej żywicy lanej

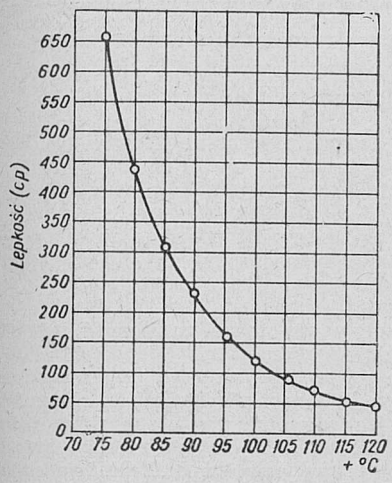
Substancja hartująca	m-fenylenodwuamina			Trojetanolomina	Bezwodnik ftalowy			
Inne składniki							mączka porcel.	rozpuszcz.
Temperatura utwardzania (°C)	50	65	80	80	100	120	120	120
Wytrzym. na rozciąganie (kg/cm²)			363	267	270		311	
„ „ zginanie „	1103	994	726	1225	787	735	810	796
Udarność (kg·cm/cm²)		17,2		19,6		20,7		21,4
Wytrzym. cieplna wg Martensa (°C)	81	86	112	75	100,5	106,5	112,5	86
Twardość wg Brinella	20,6	21,2	20,5		20,6	18,9	31,8	19,4
Współczynnik strat	0,0047	0,0054	0,0063	0,0026	0,0022	0,0027	0,0138	0,0054
Wytrz. dielektryczna (kV/mm)				19,6	13,3	14,2	17,3	
Przenikalność dielektryczna	4,75	4,7	5,3		3.99	3,98	5,05	4,3

Czas utwardzania 24 godz.

Z powodu braku odpowiedniej aparatury pomiarowej nie udało się określić oporności właściwej tworzywa, stwierdzono jedynie, że oporność właściwa powierzchniowa wszystkich próbek wynosi powyżej $1{,}6\times10^{14}$ Ω.cm/cm, a oporność właściwa skrośna powyżej $2{,}7\times10^{14}$ Ω.cm (wg danych z literatury jest ona rzędu 10^{16} Ω.cm).

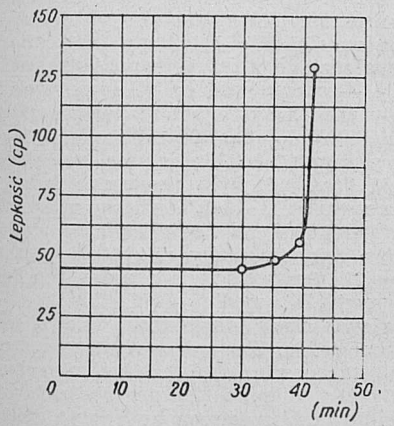
Żywice lane można podzielić — z punktu widzenia możliwości zastosowania w elektrotechnice — na dwie grupy: a) syciwa, b) tworzywa konstrukcyjne.

Żywice grupy pierwszej stosuje się do nasycania uzwojeń transformatorów specjalnych, przekładników napięciowych, maszyn elektrycznych, kondensatorów itp. Zasadnicze wymagania dla tej grupy — oprócz dobrych własności elektrycznych — są następujące: mała lepkość, znaczna trwałość, mały przyrost lepkości w czasie nasycania, możliwość przeprowadzenia procesu nasycania w próżni. Wymagania w stosunku do własności mechanicznych dla tej grupy tworzyw zwykle nie są wysokie.



Rys. 2. Zależność lepkości żywicy lanej od temperatury

W wyniku dokonanych badań opracowano typ żywicy lanej nadającej się przede wszystkim do nasycania małych uzwojeń (rys. 1); natomiast przy dużych uzwojeniach konieczne jest stosowanie bardziej skomplikowanego procesu technologicznego ze względu na dość znaczną lepkość i stosunkowo krótki czas żelowania żywicy. Rys. 2 przedstawia wykres lepkości żywicy w funkcji temperatury. Na rys. 3 podano wykres zmian lepkości żywicy w początkowym okresie utwardzania w funkcji czasu przy temperaturze 120°C.



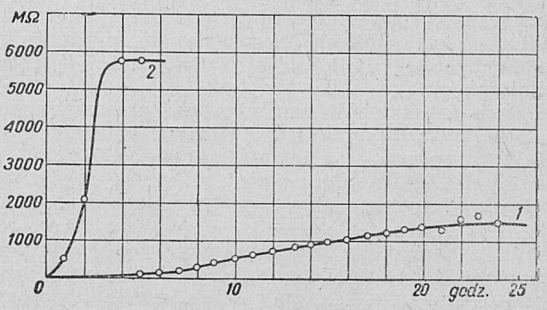
Rys. 3. Lepkość żywicy podczas utwardzania (t = 120°C)

Tworzywa konstrukcyjne mogą znaleźć zastosowanie jako izolacja główna w przekładnikach, wysokonapięciowych transformatorach żarzenia itp. Oprócz dobrych własności elektrycznych ta grupa tworzyw musi mieć dobre własności mechaniczne, natomiast wymagania w stosunku do lepkości i trwałości żywicy są znacznie mniejsze. W tabl. II podano własności tworzywa z żywicy napełnionej mączką porcelanową.

Zarówno nasycanie uzwojeń, jak i formowanie przedmiotów przeprowadza się w formach metalowych otwartych. Ponieważ żywice cechuje doskonała przyczepność do metalu, przeto dla zabezpieczenia przed przyklejaniem ściany formy są polerowane i powlekane warstewką wosku pszczelego lub oleju sylikonowego. Żywicę wprowadza się do formy w temperaturze, przy której lepkość i trwałość mają wartość najkorzystniejszą. Zarówno przy nasycaniu, jak i przy odlewach, stosuje się próżnię w celu usunięcia pęcherzyków powietrza z żywicy. Dla skrócenia czasu nasycania można stosować naprzemian próżnię i ciśnienie. Po zakończeniu nasycania względnie odlewania formy umieszcza się w termostacie; temperatura i czas utwardzania zależą od rodzaju żywicy, środka hartującego oraz wielkości przedmiotów formowanych. Proces utwardzania jest egzotermiczny i przy większych ilościach żywicy wydzielające się ciepło nie zostaje dostatecznie szybko odprowadzone, temperatura wzrasta, powodując przyśpieszenie procesu. Może to spowodować występowanie naprężeń wewnętrznych i pękanie odlewów.

Przy ustalaniu temperatury utwardzania opierano się na charakterystykach oporności mierzonych między uzwojeniem i formą a ekranem w funkcji czasu; przyjęto, że zmiany oporności w czasie są miarą szybkości procesu utwardzania. Na rys. 4 krzywa *1* przedstawia charakterystykę oporności w czasie utwardzania cewki przekładnika napięciowego na 6 kV przy prawidłowo przebiegającym procesie; krzywa 2 — charakterystykę oporności w czasie utwardzania cewki przekładnika napięciowego na 30 kV; proces przebiegał tu zbyt szybko i po wyjęciu z formy stwierdzono obecność pęknięć i nierównomierne nasycenie uzwojenia. Temperatura utwardzania w obu przypadkach wynosiła 90°C, natomiast ilość żywicy w cewce 30-kilowoltowej była blisko trzykrotnie większa.

Jak wynika z badania własności tworzyw w Instytucie Tworzyw Sztucznych, w Instytucie Elektrotechniki we Wrocławiu oraz w Zakładach im. Dymitrowa oraz z prób eksploatacyjnych z jednym z wyrobów produkowanych przez Zakłady A-1, własności elektryczne i mechaniczne żywic epoksydowych oraz prosta technologia formowania pozwolą na szerokie zastosowanie ich w elektrotechnice. Jedynie wysoka cena żywicy oraz deficytowość surowców ograniczą niewątpliwie stosowanie żywic epoksydowych do tych przypadków, w których dzięki zastosowaniu tych żywic uda się uzyskać znacznie lepsze rozwiązania konstrukcyjne oraz podnieść jakość i bezpieczeństwo urządzeń elektrycznych. Duża odporność chemiczna, odporność na działanie wilgoci, odporność na działanie prądów pełzających, możliwość uzyskania jednorodnej izolacji, nie zawierającej pęcherzyków powietrza, pozwalają sądzić, że żywice epoksydowe znajdą zastosowanie przede wszystkim jako izolacja wysokiego napięcia, szczególnie w urządzeniach pracujących w warunkach specjalnych (górnictwo, żegluga).



Rys. 4. Zmiany oporności cewki podczas utwardzania
1 — przebieg prawidłowy
2 — szybkość utwardzania zbyt duża

Synteza żywicy lanej została opracowana w skali laboratoryjnej oraz ćwierćtechnicznej przez Instytut Tworzyw Sztucznych. W bieżącym roku będzie uruchomiona półtechnika doświadczalna żywic lanych, natomiast w obecnej chwili nie ma jeszcze żadnych danych co do miejsca ich produkcji. Również sprawa zabezpieczenia surowców nie jest obecnie dostatecznie jasna. Dian produkuje się w kraju, natomiast otrzymywanie epichlorohydryny nastręcza pewne trudności co do miejsca produkcji, która wymaga dużych ilości taniego chlorowodoru.

Wnioski. Prace nad żywicami epoksydowymi powinny pójść w kierunku dalszego polepszenia własności mechanicznych. Należałoby również zająć się otrzymaniem innych typów żywicy lanej o zmniejszonej lepkości. Opracowanie metody utwardzania w niższych od stosowanych obecnie temperaturach ma duże znaczenie w przypadku urządzeń, które uległyby zniszczeniu przy ogrzewaniu. Należy przeprowadzić również próby starzenia na próbkach oraz gotowych wyrobach.

LITERATURA

Preiswerk E., Plastverarbeiter, t. 5, nr 2, s. 43 (1954)
Frey K., Chimia, t. 8, nr 1 (1954)
Imhof A. Rev. Gén. Electr. t. 61, nr 3, s. 128 (1951)
Preiswerk E., Plastics, s. 43 (1954)

MGR INŻ. ALEKSANDER DOBRACZYŃSKI
Instytut Tworzyw Sztucznych

Analiza krytyczna technologii prasowania tłoczyw termoutwardzalnych w świetle zdobytego doświadczenia

621.983.4+621.984.001.4/5

Treść. Podstawowe warunki, którym powinna odpowiadać racjonalnie planowana technologia przetwórstwa tworzyw termoutwardzalnych. Przykłady niewłaściwego postępowania oraz wskazówki, jak można błąd ominąć lub naprawić. Bez spełnienia wyszczególnionych warunków nie można oczekiwać ani poprawienia jakości wyprasek z tłoczyw termoutwardzalnych, ani gospodarności samego procesu przetwórstwa.

1. Wstęp.

Historia rozwoju techniki prasowania tłoczyw termoutwardzalnych jest krótka, nie przekracza bowiem 35 lat. Rozwój tej techniki był bardzo szybki, osiągnięcia przemysłowe bardzo duże, ale analiza naukowa samego procesu technologicznego do tej pory właściwie nie była dokonana.

Obecnie tłoczywa termoutwardzalne zajęły zdecydowane miejsce jako pełnowartościowy materiał konstrukcyjny odgrywający ważną rolę szczególnie w przemyśle elektrotechnicznym. Rozwijający się szybko przemysł ten stosuje wprawdzie szereg nowych tworzyw sztucznych o wyjątkowo cennych właściwościach, jednak tłoczywa termoutwardzalne pozostaną jeszcze na długie lata materiałem tanim, dobrym, w niektórych przypadkach niezastąpionym, a przede wszystkim nadającym się do masowej wytwórczości sprzętu elektrotechnicznego.

W Polsce zapotrzebowanie wyrobów prasowanych z tłoczyw termoutwardzalnych stale wzrasta. Interesuje się nim już nie tylko przemysł elektrotechniczny, który był pionierem w tej dziedzinie, ale również przemysł maszynowy, samochodowy, lotniczy, okrętowy, włókienniczy, galanteryjny itd.

Ogólnie wiadomo, że proces otrzymywania wyrobów gotowych omawianego typu z surowców chemicznych jest długi i dosyć złożony. Dzieli się on na dwa zasadnicze etapy: proces wytwarzania półproduktów czyli samych tłoczyw i proces przetwórczy — prasowanie gotowych wyrobów.

Od prawidłowości przebiegu obu tych etapów procesu zależy jakość wyrobu gotowego. Produkcja zła, nieekonomiczna jest podwójnym szkodnictwem — ze względu na dostarczanie złych produktów oraz z racji marnotrawstwa cennego surowca.

Dalszymi wymaganiami są: niskie koszty i trwałość produktów, specjalne własności elektryczne lub mechaniczne wychodzące poza przeciętne żądania, zwiększenie wydajności urządzeń, automatyzacja procesów produkcyjnych itd.

Oba procesy — wytwórczy i przetwórczy — składają się z szeregu czynników bardzo ściśle powiązanych ze sobą lub niezależnych, które łącznie decydują o jakości produktu.

Niżej będą omówione jedynie zagadnienia związane z technologią przetwórstwa (z pominięciem wytwórstwa) tłoczyw termoutwardzalnych na podstawie doświadczenia naszego przemysłu.

2. Elementy procesu przetwórstwa.

Technologia prasowania tłoczyw termoutwardzalnych nasuwa następujące zagadnienia do rozwiązania dla otrzymania dobrego wyniku produkcji przedmiotów prasowanych: a) dobór tłoczyw, ich przechowywanie i kontrola; b) kształtowanie wymiarowe wyprasek; c) przebieg prasowania; d) formy i ich konstrukcja mechaniczna; e) grzanie i regulacja temperatury; f) gospodarność procesu prasowania; g) kontrola procesów technologicznych i wyrobów gotowych.

Tłoczywa. Stosowane w naszym kraju tłoczywa są następującego pochodzenia:

1) produkcji własnej, odpowiadające pod względem jakości i oznaczenia normie PN/C-02002 Tłoczywa — podział na typy;

2) produkcji własnej, odpowiadające pod względem jakości i oznaczenia warunkom technicznym radzieckim (tzw. TU) i normie państwowej radzieckiej GOST-5689-51;

3) produkcji własnej, odpowiadające tylko warunkom zakładu produkcyjnego;

4) importowane, odpowiadające warunkom uzgodnionym każdorazowo z dostawcą.

Niezależnie od pochodzenia rozróżnia się dużo typów tłoczyw, różniących się jakością żywicy, sposobem jej kondensacji i rodzajem napełniacza. Różne tłoczywa dają rozmaite właściwości przedmiotom z nich prasowanym i wymagają różnego przebiegu samego procesu prasowania, tzn. czasu utwardzania, temperatury, ciśnienia, niekiedy także rodzaju formy.

Przy podejmowaniu decyzji o wyborze tłoczyw na określone wyroby powinno się brać pod uwagę sposoby oznaczania tłoczyw i cechy poszczególnych gatunków w zależności od pochodzenia tłoczywa, jak również powinno się mieć pewność, że własności te są rzeczywiście osiągalne dla posiadanego w danej chwili surowca. Do tego celu służy atest danej partii tłoczywa, który wytwórca bezwzględnie powinien dołączyć do każdej partii wysyłanego towaru. Na dobór tłoczywa niemniejszy wpływ ma także znajomość warunków, w których wyprasowany przedmiot ma pracować, inne bowiem tłoczywa stosuje się np. do produkcji części narażonych na przebicie elektryczne, a inne na koła zębate. Nieumiejętne dobranie materiału może wywołać niesłuszne rozczarowanie. Trzeba pamiętać, że obliczenia wytrzymałościowe przedmiotów prasowanych, oparte na współczynnikach podawanych w tablicach typów, byłyby niewłaściwe, gdyż dane te są związane ze ściśle określoną próbką laboratoryjną *).

Wybierając tłoczywo należy poza tym pamiętać, że stan, w którym materiał dostarcza się do prasowania, ma istotny wpływ na jakość wyrobów. Czystość i suchość prasowanego tłoczywa jest jednym z koniecznych warunków otrzymania pozytywnych wyników.

Pod tym względem w przemyśle naszym istnieje wiele kłopotów. Do niedawna niektóre prasownie nie rozróżniały typów tłoczyw, prasując co się dało i jak się dało. Nie wymagano atestów i nie wiedziano z czym je porównywać. Dopiero liczne reklamacje — szczególnie co do sprzętu elektrotechnicznego — dawały znać, że coś jest nie w porządku.

Dużo kłopotów sprawiało niejednolite oznaczanie tłoczyw, np. tłoczywo o żywicy fenoloformaldehydowej-nowolakowej z wypełniaczem mączki drzewnej było oznaczane jednocześnie jako „bakelit", tłoczywo D, K-18-2, karbolit, mieszanka S lub 240. Każdy z tych symbolów ma swoje logiczne wytłumaczenie, ale trudno było wymagać, aby wszystkie prasownie orientowały się, że chodzi tutaj właściwie o jeden typ tłoczywa odpowiadający typowi „D", według PNC-02002.

Również różnie i niewłaściwie obchodzono się z samym surowcem przy magazynowaniu. Stwierdzono w szeregu przypadków nieodpowiednie magazynowanie, które nie chroniło dostatecznie tłoczywa przed wilgocią. W przypadkach prasowania tłoczyw karbamidowych często powodowano zniszczenie mieszanek na skutek przeterminowania. Wynikało to tylko z braku podstawowych wiadomości o tego rodzaju tłoczywach.

Stan ten częściowo poprawił się dzięki zacieśnieniu stosunków prasowni z producentem i z instytutami badawczymi, jednakże do dziś pozostawia jeszcze wiele do życzenia.

Kształtowanie wymiarowe. Przedmioty prasowane z tłoczyw muszą — poza wykazaniem odpowiedniej wytrzymałości i trwałości — dać się dobrze wyprasować. Pierwszy warunek właściwości wynika z drugiego, ale bywa i tak, że przedmiot może być wytrzymały i trwały, lecz wyprasowanie jego sprawiłoby niezmiernie dużo trudności i okazałoby się bardzo kosztowne. Tymczasem gdyby na przykład kształt przedmiotu trochę zmienić, otrzymałoby się te same wyniki bez porównania niższym kosztem. Cechę tę, określającą kształt jako łatwy lub trudny do prasowania, nazywa się prasowalnością — dobrą lub złą. O prasowalności danego przedmiotu decydują przede wszystkim jego kształty i wymiary.

Zdarza się często, że konstruktor nadaje takie kształty jakiejś części wyprasowanej z tłoczywa, jak gdyby miała być ona wykonana z metalu. Okazuje się przy tym, że albo przedmiot w ogóle nie udaje się wówczas wyprasować, albo jest

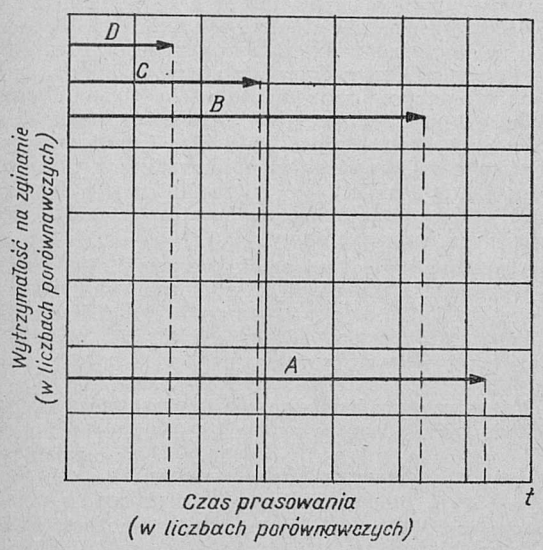
*) Ob. artykuł autora „Metody badań tworzyw sztucznych" (Technika Motoryzacyjna, 1954, nr 11).

on bardzo słaby, wyprasowany z wadami i nie nadaje się w ogóle do przewidzianego zastosowania. Zraża to niesłusznie konstruktora do stosowania tłoczyw.

Aby przedmiot był dobry po wyprasowaniu i dał się dobrze wyprasować, musi być uprzednio przeanalizowany pod względem ukształtowania wymiarowego. Znane są tutaj najrozmaitsze wymagania dotyczące grubości, zaokrągleń, zbieżności, linii podziałowej, tolerancji, położenia w formie, podcięć, występów itd. Reguły te można znaleźć w literaturze fachowej, która omawia te zagadnienia już od blisko dwudziestu lat.

Z kształtowaniem wymiarowym połączona jest również sprawa estetyki produktu. Aby ją osiągnąć nie wystarcza często rysunek projektowanego przedmiotu. Najlepszą metodą jest wykonanie wzoru z podobnego materiału — z zachowaniem wszystkich szczegółów i koloru projektowanego przedmiotu. Konieczna jest tutaj współpraca konstruktora z technologiem i z artystą plastykiem. Dopiero po właściwej ocenie i przyjęciu takiego modelu można przystąpić do projektowania prototypowej, a po sprawdzeniu — do pełnej produkcji przemysłowej. Postępowanie takie nie jest przesadą jeżeli zważy się, że pewne artykuły produkowane mogą być w milionach sztuk. Na tym odcinku zrobiło się dotychczas niestety bardzo mało wobec wielu innych napotykanych trudności. Prasowalność poprawia się, bo czynnik ten w ogóle decyduje o możliwościach wyprasowania, natomiast w dziedzinie estetyki produkcji nie uczyniono prawie nic, nie angażując zupełnie do tej pracy artystów plastyków.

Przebieg prasowania. Wiadomo, że nawet najlepsze tłoczywo — prasowane w doskonałych formach, ale w nieodpowiedni sposób — zostanie zmarnowane. Na proces



Rys. 1a

prasowania ma wpływ szereg czynników na ogół znanych, jak temperatura, ciśnienie i czas. Temperatura musi być odpowiednia i stała, ciśnienie odpowiednio wysokie, a czas nie krótszy niż konieczne minimum zależne od rodzaju tłoczywa i jego ilości, od grubości oraz kształtu prasowanego przedmiotu. Warunki te podaje literatura; również prasownie mają dosyć bogate pod tym względem doświadczenie.

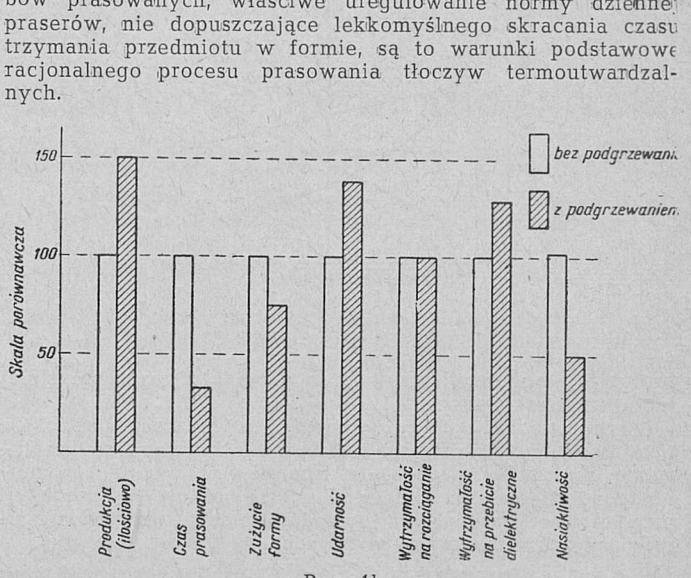
Oddzielnym zagadnieniem są sprawy suszenia tłoczywa przed prasowaniem, jego tabletkowania i podgrzewania, które wybitnie wpływają na polepszenie jakości wyrobów, jak również na zwiększenie wydajności sprzętu (rys. 1a i 1b). Należy również wspomnieć w tym miejscu o prasowaniu przetłocznym, które — w przypadku produkcji dużych elementów o grubych przekrojach lub skomplikowanych kształtach z wieloma zapraskami — daje w połączeniu z podgrzewaniem pojemnościowym bardzo dobre wyniki. Technologia ta jest właściwie u nas zupełnie nie znana i nie stosowana, a wprowadzenie jej wymaga znacznego doświadczenia i skrupulatnych badań.

Przy krytycznej ocenie doświadczenia naszego przemysłu rzucają się w oczy następujące spostrzeżenia:

a) w szeregu zakładów stosuje się premię w zależności od ilości wyprasowanych przez robotników przedmiotów bez analizy, jaką drogą pracownik doszedł do wykazanej wydajności; stwierdzono, że wydajność taka zostaje często osiągnięta przez skrócenie czasu trzymania materiału w formie, co w skrajnych przypadkach nie daje się wykryć bez dokładnych badań laboratoryjnych; na sprawę czasu prasowania tłoczyw należy patrzeć jak na rozkład jazdy pociągów: skrócenie czasu przejazdu przez maszynistę w stosunku do rozkładu prowadzi do wypadku; niestety stwierdzono, że nie we wszystkich prasowniach kierownicy ich zdają sobie z tego sprawę i nieświadomie szkodzą bardzo produkcji;

b) często słyszy się o niechętnym przyjmowaniu przez pracowników wszelkich rad dotyczących suszenia tłoczyw, ich podgrzewania przed prasowaniem i dopilnowywania dokładnego czasu prasowania; w roku 1953 zrobiono na terenie jednej z prasowni eksperyment polegający na tym, że grupa pracowników dwóch współpracujących instytutów naukowych pracowała przez kilka tygodni na prasach i formach produkcyjnych z zachowaniem wszystkich nowoczesnych wymagań racjonalnego prasowania; po wyjeździe tej grupy zespół stałych robotników prasowni, odnoszący się początkowo dosyć nieufnie do nowych metod, przejął je i osiągnął wybitne polepszenie jakości swojej produkcji.

Umiejętność prawidłowego używania posiadanego surowca właściwe ustawianie cykli prasowniczych rozmaitych wyrobów prasowanych, właściwe uregulowanie normy dziennej praserów, nie dopuszczające lekkomyślnego skracania czasu trzymania przedmiotu w formie, są to warunki podstawowe racjonalnego procesu prasowania tłoczyw termoutwardzalnych.



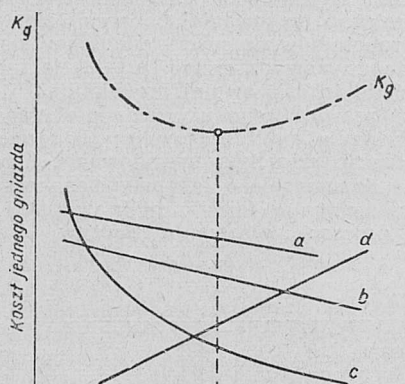
Rys. 1b

Formy i ich konstrukcja mechaniczna. Zagadnienie to jest bardzo obszerne i na tym miejscu musi być z konieczności potraktowane tylko ogólnikowo.

Konstrukcja form jest dosyć wyodrębnioną specjalnością przemysłu metalowego. Konstruktor form powinien znać i rozumieć dokładnie proces utwardzania tłoczyw oraz same tłoczywa. Powinien mieć pewne doświadczenie, pozwalające mu na wprowadzenie odpowiedniej systematyki przy wyborze typu formy i przy jej rozwiązaniu szczegółowym. W tej dziedzinie właściwie nie ma reguł sztywnych. Forma, poza warunkiem prawidłowej pracy, powinna być możliwie tania (ale tylko w sensie amortyzacji w zakładzie przewidzianej produkcji). Pomocą byłaby tu normalizacja form lub raczej normalizacja elementów obudowy formy. Normalizacja taka dotyczy przede wszystkim gabarytów o wymiarach powtarzalnych, które zezwalają na „budowanie" form z gotowych elementów. Również ważną, a tak często niedocenianą sprawą, jest właściwy dobór stali na formy i ich obróbki cieplnej oraz powierzchniowej na podstawie zaplanowanej produkcji. Pod tym względem naszym zakładom nie brak doświadczenia; szwankuje natomiast współpraca międzyzakładowa. Prasownie wyrobiły sobie indywidualne szablony, które właściwie w żadnym przypadku nie są wolne od usterek. Gdyby jednak wysiłki poszczególnych konstruktorów można byłoby scalić, to — przy należytym wyposażeniu warsztatów produkujących formy w obrabiarki — można by osiągnąć zupełnie niezłe wyniki.

Grzanie i regulacja temperatury form. Z konstrukcją form związane jest ściśle ich grzanie do wymaganej temperatury i utrzymywanie jej w ściśle okre-

ślonych granicach. Znane są zasadniczo cztery metody grzania form: parą, gorącą wodą pod ciśnieniem, grzejnikami gazowymi i elektrycznymi. Wszystkie te metody są dobre, ale wymagają odpowiedniego rozwiązania konstrukcyjnego. U nas najbardziej rozpowszechnione jest grzanie oporowe prądem elektrycznym: przeszło 85% wszystkich prasowni stosuje tę metodę. Jednakże wymaga ona zachowania całego szeregu warunków zapewniających jej powodzenie. Ze względu na bezpieczeństwo personelu obsługującego pożądane jest stosowanie do grzejników obniżonego napięcia. Formy powinny być ogrzewane równomiernie, a powierzchnie ich powinny być izolowane zewnątrz dla uniknięcia dużych strat energii cieplnej; powinno być umożliwione stałe odczytywanie temperatury i jej regulacja na stałej wysokości. Niestety w tej dziedzinie zakłady nasze napotykają bardzo duże trudności, które powoli zaczyna się opanowywać przy pomocy instytutów naukowych opracowujących odpowiednie instrukcje pracy,



Rys. 2

prototypy termoregulatorów oraz przez utrzymywanie stałej łączności z zakładami.

Przybliżone obliczania wykazały, że właściwa konstrukcja grzejników, izolacja form i zastosowanie regulacji temperatury da około 45% oszczędności energii elektrycznej i wydatnie podniesie jakość produkcji. 30% braków w produkcji przedmiotów prasowanych powoduje przede wszystkim nierównomierna temperatura w formach.

Gospodarność procesu prasowania. Jak już wspomniano dobre rezultaty prasowania połączone są ściśle ze stroną gospodarczą procesu. Do tej pory zagadnienie to właściwie nigdzie nie było dokładnie analizowane. Określenie kosztów własnych produkcji w poszczególnych prasowniach rozwiązywano przeważnie globalnie bez wnikania w wydajność poszczególnych maszyn i narzędzi. Rzadko zastanawiano się nad tym, czy prasa lub forma jest wykorzystana w sposób racjonalny.

Miernikiem wykorzystania pras można nazwać liczbę wyrażającą iloraz z iloczynu maksymalnego nacisku prasy przy prasowaniu i czasu prasowania przez ciężar wyprodukowanych wyprasek. Możemy wyrazić to wzorem:

$$Q = \frac{P \cdot t}{G},$$

gdzie Q — zapotrzebowanie tonogodzin na kilogram wypraski,
P — maksymalny nacisk prasy w tonach,
t — czas w godzinach, w którym wyprasowuje się G kG gotowych produktów,
G — ciężar w kG wyprasek wykonanych w czasie t godz.

Zapotrzebowanie tonogodzin Q jest wielkością teoretyczną w odróżnieniu od zapotrzebowania rzeczywistego Q_{rz}, przy którym zamiast P maksymalnego nacisku prasy uwzględnia się wielkość stosowanego dla danego wyrobu nacisku.

Badania przeprowadzone przez Instytut Elektrotechniki w szeregu zakładów prasowniczych wykazały, że zapotrzebowanie teoretyczne w tonogodzinach waha się w poszczególnych przypadkach od 10 t.h/kG do 90 t.h/kG dla tłoczyw proszkowych. Biorąc pod uwagę, że rozpiętość stosowanych ciśnień nie przekracza stosunku 1 do 3 i że czas prasowania jest funkcją tylko jednego wymiaru (grubości) przedmiotu, oraz uwzględniwszy wahania czasów prasowania w zależności od rodzaju żywicy (typu rezolowego lub nowolakowego), stwierdzamy, że stosunek tej rozpiętości wydaje się stanowczo za wysoki. Przyczyną tego może być niepełne wykorzystanie dysponowanego nacisku prasy, jak również szereg błędów popełnianych w samej technologii prasowania. Wydaje się, że wielkością Q, którą można byłoby uznać za dobrą, jest 20 do 30 t.h/kG wyprasowanych wyrobów.

Drugim momentem w rozważaniach ekonomicznych będzie zagadnienie wykorzystania samej formy. Składają się na nią trzy grupy kosztów zasadniczych:

1) koszt roboczogodziny prasowania R (zł/godz.),

2) koszty maszynogodziny M (zł/godz.) zależny od sprzętu, którym rozporządza prasownia (koszt energii elektrycznej, grzanie, amortyzacja maszyny, konserwacja, smary itp.),

3) koszt oprzyrządowania, na który składają się: *a*) koszt materiału na formę, *b*) koszt przyrządów pomocniczych potrzebnych do wykonania formy (koszty wstępne), *c*) koszt obróbki części prasujących i obudowy, *d*) koszt obróbki, koszt składania i prasowania specjalnych urządzeń w formie.

Jeżeli forma ma n gniazd formujących, to sumaryczny koszt jednego gniazda wyniesie

$$K_g = \frac{a + b + c + d}{n} \text{ (zł/gniazdo).}$$

Kształtowanie się składowych trzeciej grupy kosztów zasadniczych jest różne w zależności od rodzaju formy i od możliwości warsztatowych zakładu wykonującego.

Koszty te można ogólnie scharakteryzować w odniesieniu do jednego gniazda w następujący sposób: koszt pozycji a maleje przy wzroście liczby gniazd n ze względu na większe możliwości oszczędzania drogich gatunków stali przy dużych formach wielogniazdowych; koszt pozycji b również obniża się ze wzrostem liczby gniazd n ze względu na możliwość stosowania jednego przyrządu do wielu gniazd; koszt pozycji c też maleje ze wzrostem n; natomiast koszt d wzrasta przy wzroście liczby gniazd. Na rys. 2 pokazano przebieg kształtowania się wymienionych kosztów w zależności od liczby gniazd w formie.

Znając poszczególne składowe kosztów trzeciej grupy można znaleźć minimum ich sumy.

Koszt prasowania jednej sztuki wypraski P (w zł) w formie o n gniazdach dla partii N sztuk zamówionych wyprasek wyniesie:

$$P = \frac{M \cdot t}{60n} + \frac{R \cdot t}{60n} + \frac{K_g \cdot n}{N},$$

gdzie t jest czasem jednego cyklu prasowniczego w minutach. Stąd

$$P = \frac{t}{60}(M + R)\frac{1}{n} + \frac{K_g}{N} n.$$

Oznaczając n jako zmienną niezależną możemy napisać:

$$P = A \cdot n^{-1} + B \cdot n.$$

Ponieważ A i B są stałymi dla danych warunków technologicznych, możemy znaleźć minimum wartości n:

$$\frac{dP}{dn} = \frac{d(An^{-1} + Bn)}{dn} = -A \cdot n^{-2} + B = 0,$$

skąd

$$n = \sqrt{\frac{A}{B}},$$

co oznacza, że przy tej liczbie gniazd otrzyma się najbardziej ekonomiczną eksploatację formy.

Następnie należy wprowadzić poprawkę znajdując K_g dla znalezionego n i obliczyć nowe n.

Rozumowanie to powtórzymy na przykładzie. Mając zamówienie na 100 000 sztuk wyprasek, przy cyklu prasowniczym $t = 4$ min, koszcie maszynogodziny 20 zł/godz., koszcie robocizny 6 zł/godz. i koszcie jednego gniazda (przy założonych czterech gniazdach) $K_g = 3000$ zł, otrzymamy:

$$A = \frac{4}{60}(20 + 6) \cong 1{,}73; \qquad B = \frac{3000}{100\,000} = 0{,}03;$$

$$n = \sqrt{\frac{A}{B}} = \sqrt{57{,}7} \cong 7{,}6.$$

Wynik ten należy zaokrąglić do $n = 7$ lub $n = 8$ w zależności od zmiany wartości K_g przy założeniu ilości gniazd $n = 7$ lub 8.

W celu przeprowadzenia właściwej analizy zakłady prasujące tłoczywa termoutwardzalne powinny prowadzić wnikliwą statystykę kosztów, co pozwoli im na właściwe wyzyskanie maszyn i narzędzi. Z przykrością trzeba stwierdzić, że analiz tych jeszcze się u nas nie prowadzi.

Kontrola procesów technologicznych i wyrobów gotowych. Obok kontroli surowca, przeprowadzanej przez zakłady wytwarzające tłoczywa, odróżnia się jeszcze dwie dalsze grupy badań do przeprowadzania w prasowniach: 1) kontrola procesu technologicznego, polegająca na sprawdzeniu stopnia utwardzenia przedmiotu i oznaczeniu tzw. „plastyczności prasowniczej tłoczywa", dokonywanej na znormalizowanej formie; 2) kontrola wyrobów gotowych będąca warunkiem koniecznym nowoczesnej produkcji. Brak tej kontroli sprzyja brakoróbstwu i wszelkiego rodzaju nadużyciom na rzecz zwiększenia pozornej wydajności prasowni.

Ponieważ wszelkie badania wyrobów gotowych są badaniami niszczącymi, przeto należy stosować statystyczną kontrolę jakości. Metoda ta pozwala orzekać o tym, czy cała partia jest dobra lub niedobra na podstawie zbadania określonej liczby próbek. Próbki takie pobiera się drogą losowania według zasad podanych przez Polski Komitet Normalizacyjny.

W praktyce nasuwa się trudność polegająca na tym, że nie wiadomo zwykle, co wziąć za wynik dobry, a co za zły. Szczególnie trudno ocenić jest jakość wyrobów, z których nie można wyciąć małych próbek do badań na aparacie „dynstat", bardzo pomocnym przy tego rodzaju badaniach. W tych przypadkach trzeba oznaczyć jakąś, odpowiednio dobraną cechę wytrzymałościową przedmiotu dokładnie wypróbowanego; następnie należy złamać, zgnieść lub rozerwać kilka takich sprawdzonych co do jakości przedmiotów i przyjąć jako próbną wartość krytyczną dolną granicę tak wykonanych pomiarów. Badając następnie próbki pobrane drogą losowania, należy stosować alternatywną metodę oceny zgodnie z przepisami Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

Niestety, i na tym polu spostrzeżono w zakładach braki i niezrozumienie. Kontrola wyrobów gotowych ogranicza się dotychczas zwykle tylko do pobieżnego sprawdzania wyglądu zewnętrznego i kontroli wymiarowej.

3. Zakończenie.

Należy wyrazić nadzieję, że drogą częstszej wymiany doświadczeń, publicystyki, narad technicznych i odczytów osiągnie się większe zrozumienie wszystkich elementów technologii prasowania tłoczyw termoutwardzalnych, co jest warunkiem koniecznym do osiągnięcia dobrej i ekonomicznej produkcji.

MGR INŻ. T. SULIMA, INŻ. R. SUPERAT
Instytut Elektrotechniki
Zakł. Mater. Elektr.

Badania odporności materiałów izolacyjnych na prądy pełzające

621.315.6:621.3.014.6.001.2

Treść. Krótkie zestawienie metod. Wyniki badań własnych, które wykonano przy użyciu roztworu salmiaku 0,1%. Wpływ parametrów prasowania tłoczyw fenolowo-formaldehydowych na odporność na prądy pełzające. Materiał odporny na prądy pełzające — tłoczywo melaminowe.

1. Wstęp.

W urządzeniach nisko- i wysokonapięciowych odległości, stosowane pomiędzy częściami znajdującymi się pod napięciem, bywają większe niż wynikałoby to z wartości napięcia probierczego. Jedną z przyczyn tego są prądy pełzające po powierzchni zastosowanego materiału izolacyjnego.

Stosunkowo spora liczba zakłóceń w pracy aparatów i urządzeń elektrycznych, po których stwierdzono uszkodzenie powierzchni materiału izolacyjnego doprowadzające do zwarcia, ma często swoją przyczynę w prądach pełzających. Ze zjawiskiem tym można spotkać się zwłaszcza tam, gdzie urządzenia pracują w ciężkich warunkach, jak nadmierna wilgoć, pył (np. węglowy w kopalniach) itp. Na powierzchni zawilżonego i zanieczyszczonego materiału izolacyjnego pojawiają się niewielkie początkowo prądy, doprowadzające często do zwarcia.

Zagadnienia związane z prądami pełzającymi nie są jeszcze całkowicie wyjaśnione. Nad zagadnieniem tym pracują od szeregu lat różne instytucje naukowe zagraniczne. Metody badawcze stosowane dotychczas są niewystarczające. Materiały, określone przy takich badaniach jako całkowicie odporne na prądy pełzające, w praktyce zawiodły. Reklamacje z przemysłu są bodźcem do opracowywania coraz nowszych metod badawczych, lecz jak dotąd niewystarczających.

2. Przegląd metod badawczych stosowanych w innych krajach.

a) Metoda Micafilu (Zurych). Próbkę materiału izolacyjnego, umieszczoną poziomo na dwóch elektrodach nożowych, do których doprowadza się napięcie zmienne 10 kV o częstotliwości 50 Hz, pokrywa się od dołu wodą w postaci mgły. Miarą odporności na prądy pełzające jest czas potrzebny na wytworzenie — na dolnej powierzchni próbki — ścieżki przewodzącej aż do zwarcia w ten sposób elektrod.

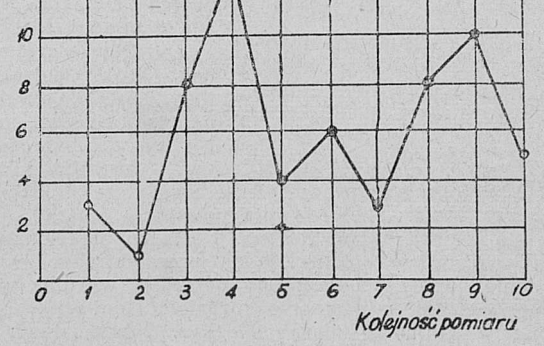
Metoda ta ma wiele wad. Pierwszą wadą jest silny wpływ temperatury, szczególnie przy badaniu tłoczyw termoplastycznych. Drugą wadą jest duży rozrzut wyników. Wyniki kilku wykonanych przy pomocy tej metody prób z tłoczywem K-18-2 podaje rys. 1. Trzecią wadą metody jest trudność dostosowania jej do badania wyrobów gotowych.

b) Metoda niemiecka. Na powierzchnię próbki, umieszczonej między dwiema elektrodami, do których doprowadza się napięcie 220 V przy 50 Hz, spadają w określonych odstępach czasu krople roztworu wodnego soli kuchennej (4,5%) i nekalu BX (0,5%)*). Miarą odporności materiału na prądy pełzające jest liczba kropli, które spadły do chwili zwarcia.

Inne urządzenie, pozwalające na badanie wyrobów gotowych, ma wygląd następujący: na 8 podstawach, rozmieszczonych symetrycznie, obracających się na prostopadłej osi, umocowane są próbki połączone równolegle. Pod osią obrotu znajduje się wanna z wyżej podanym roztworem. Czas pełnego obrotu wynosi 2 minuty. Napięcie włącza się automatycznie w kilka sekund po wynurzeniu, wyłącza przed zanurzeniem. Z chwilą przepływu prądu 3,5 A (na skutek pogorszenia się izolacji powierzchniowej) urządzenie zatrzymuje się.

c) Metoda szwedzka. Różni się od metody niemieckiej („kropelkowej") tym, że zamiast nekalu stosuje się roztwory innych substancji: „national novonacco" (zmodyfikowany sodowo-alkylowy naftaleno-sulfonat, roztwór 1,05%) oraz proszek NSAE (izopropyl naftaleno-sulfonatowy, roztwór 0,4%); każdy z tych roztworów ma oporność 360 Ωcm.

d) Metoda szwajcarska. Jako cieczy zwilżającej użyto roztworu salmiaku (0,1%). Stosowano elektrody nożowe o szerokości 5 mm i odstępie 4 mm. Na rys. 2 podano wyniki badań przy różnych napięciach i różnej koncentracji roztworu salmiaku. Najbardziej odpowiednią okazała się koncentracja 0,1%. Rys. 3 podaje wyniki dla tłoczywa fenolowo-

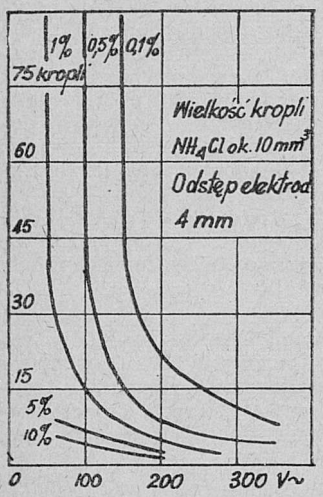


Rys. 1. Czas zwarcia dla poszczególnych miejsc (oznaczonych kolejnymi liczbami) tłoczywa K-18-2

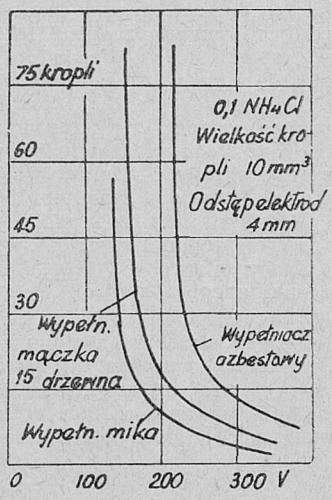
*) Nekal BX jest to kwas dwuizopropylo-naftaleno-sulfonowy.

formaldehydowego i trzech rodzajów wypełniacza — mączki drzewnej, miki i azbestu — przy użyciu roztworu salmiaku o koncentracji 0,1%.

Wykonano również badania wpływu wielkości kropli na odporność materiału przy różnych napięciach. Jak podaje



Rys. 2. Napięcie pełzania w zależności od koncentracji elektrolitu dla tłoczywa fenolowo - formaldehydowego (wg CEE/032/NL 142/50)

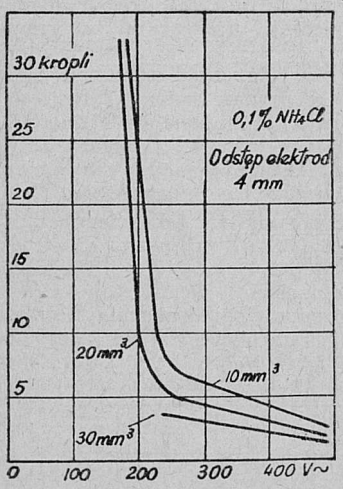


Rys. 3. Napięcie pełzania dla tłoczywa fenolowo-formaldehydowego z podanymi wypełniaczami (wg CEE/032/NL 142/50)

rys. 4, najlepsze wyniki otrzymuje się przy użyciu kropli o objętości 10—20 mm³. W wyniku badań wpływu odstępu elektrod ustalono 4 mm jako odstęp najkorzystniejszy dla użytego roztworu salmiaku (0,1%).

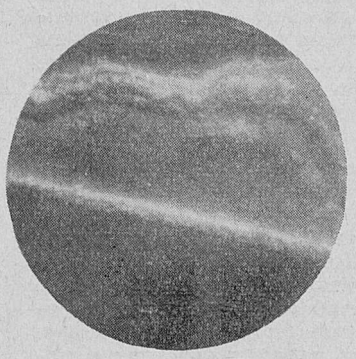
3. Badania krajowe.

a) Badania według metody Micafilu. Jak już zaznaczono wyżej, metoda ta daje duży rozrzut wyników (rys. 1). Zbadano tłoczywo fenolowo-formaldehydowe (K-18-2) oraz płyty z papieru bakelizowanego (getinaks). Badania miały raczej na celu zbadanie powierzchni uszkodzonej.



Rys. 4. Napięcie pełzania w zależności od wielkości kropli dla tłoczywa fenolowo-formaldehydowego (wg CEE/032/NL 142/50)

Wykonano szereg zdjęć w powiększeniu 50-krotnym. Można stwierdzić zasadniczą różnicę w wyglądzie powierzchni dwu wymienionych materiałów. W przypadku tłoczywa wytwarza się wyraźnie jedna zasadnicza ścieżka przewodząca, w przypadku zaś papieru bakelizowanego tworzy się szereg ścieżek przewodzących, niszczona powierzchnia jest duża, wytrzymałość materiału jest większa. Rys. 5 przedstawia typowe zniszczenie tłoczywa typu K-18-2. Przyczyną osłabienia tłoczywa K-18-2 z rys. 6 była trocina znajdująca się tuż pod powierzchnią. Poza tym należy zwrócić uwagę, że kierunek drogi pełzania jest równoległy do widocznych na zdjęciu rys materiału. Na rys. 7, przedstawiającym również tłoczywo K-18-2, widoczne są prócz ścieżki zasadniczej ścieżki boczne. Obecność trociny spowodowała powstanie ścieżki choć tworzyła się ścieżka druga. Na rys. 8 ścieżka przewodząca przebiega początkowo wzdłuż szwu prasowniczego wykazując osłabienie odporności na prądy pełzające wskutek uszkodzenia powierzchni, a następnie rozdziela się i główna ścieżka biegnie w kierunku bocznym. Rys. 9 przedstawia ścieżkę przewodzącą bakelitu o specjalnie gładkiej i dobrej powierzchni. Rys. 10 przedstawia zniszczoną powierzchnię płyty z papieru bakelizowanego; prądy pełzają tu we wszystkich możliwych kierunkach, nie widać wyraźnej ścieżki przewodzącej. Ze względu na dużą ilość ścieżek równoległych wytrzymałość materiału jest większa, ponieważ wydzielanie ciepła na każdej z nich jest mniejsze. Rys. 11 przedstawia powierzchnię papieru bakelizowanego po bardzo silnym zwarciu. Rys. 12 pokazuje zniszczoną powierzchnię zagranicznego papieru bakelizowanego.



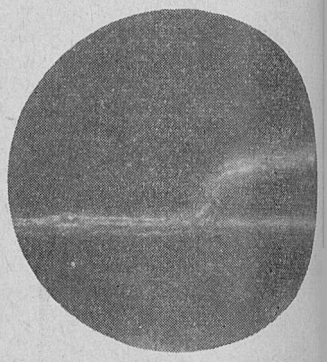
Rys. 5. Tłoczywo K-18-2



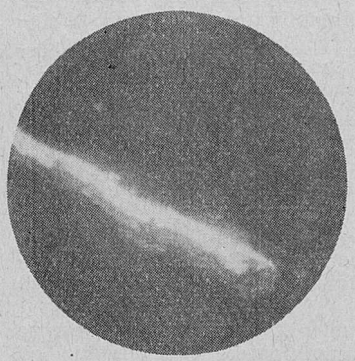
Rys. 6. Tłoczywo K-18-2



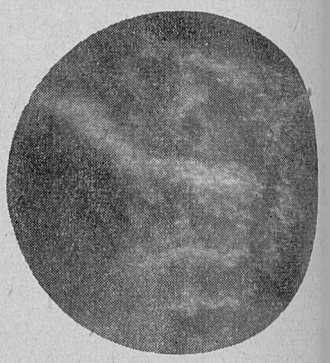
Rys. 7. Tłoczywo K-18-2



Rys. 8. Tłoczywo K-18-2



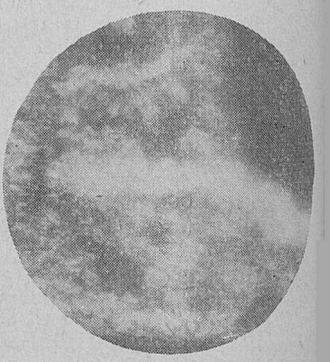
Rys. 9. Tłoczywo K-18-2



Rys. 10. Papier bakelizowany



Rys. 11. Papier bakelizowany po bardzo silnym zwarciu

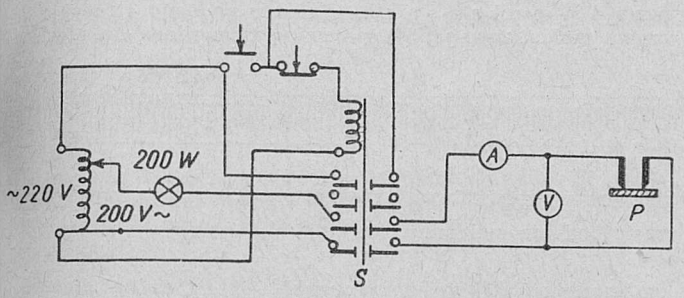


Rys. 12. Zagraniczny papier bakelizowany

Duży wpływ na odporność na prądy pełzające ma stan powierzchni. Powierzchnia powinna być dobrze zahartowana, gładka, bez żadnych rys. Wszelkie zanieczyszczenia w prosz-

ku prasowniczym (np. trociny zamiast mączki drzewnej) osłabiają materiał i są przyczyną powstawania ścieżki przewodzącej.

b) Badania przy użyciu roztworu salmiaku. Badania wykonano w układzie podanym na

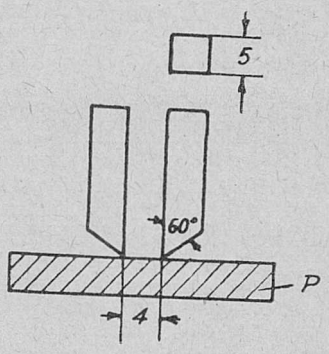


Rys. 13. Schemat układu pomiarowego do badania odporności na prądy pełzające

S — stycznik
A — amperomierz o zakresie 1A
V — woltomierz
P — próbka

rys. 13 przy napięciu zmiennym 200 V i odstępie między elektrodami 4 mm. Kształt i rozstawienie elektrod stalowych podaje rys. 14. Urządzenie zaprojektowano i wykonano z myślą o możliwości przejścia na dowolny roztwór zwilżający dostosowany do warunków pracy badanej próbki (np. do badania wyrobu pracującego w górnictwie na badaną powierzchnię będzie automatycznie natryskiwana mgiełka z zawiesiny grafitu koloidalnego). Do badania użyto amperomierza samopiszącego, notującego prąd pełzający po powierzchni badanej próbki. Częstość padania kropli roztworu NH_4Cl (0,1%) o wielkości ok. 16 mm³ wynosiła ok. 40 sekund.

Badania rozpoczęto od ustalenia wpływu warunków prasowania na odporność na prądy pełzające tłoczywa fenolowo-



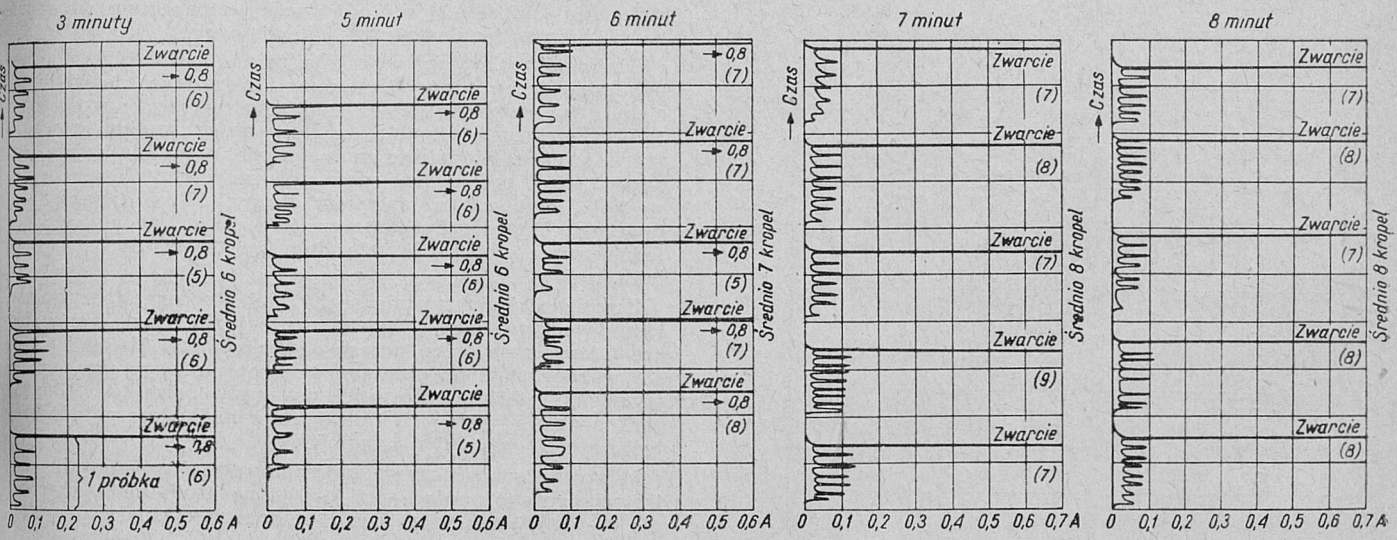
Rys. 14. Kształt i rozstawienie elektrod
P — próbka

-formaldehydowego K-18-2. Wyprasowano następujące płytki do badania własności elektrycznych:

(1) przy stałym ciśnieniu p = 300 kG/cm², stałej temperaturze 155°C i zmiennym czasie prasowania 3, 5, 6, 7 i 8 minut,

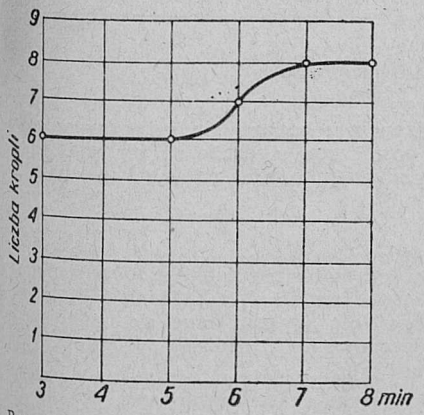
(2) przy stałym ciśnieniu p = 300 kG/cm², stałym czasie prasowania 6 min i zmiennej temperaturze prasowania 155, 160, 165, 170 i 175°C,

(3) przy stałej temperaturze 155°C, stałym czasie prasowania 6 min i zmiennym ciśnieniu 150, 200, 250, 300 i 350 kG/cm².

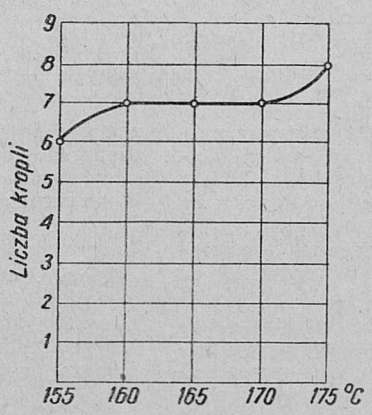


Rys. 15. Zależność odporności tłoczywa K-18-2 na prądy pełzające od czasu prasowania (p = 300 kG/cm² = const; t = 155°C = const)

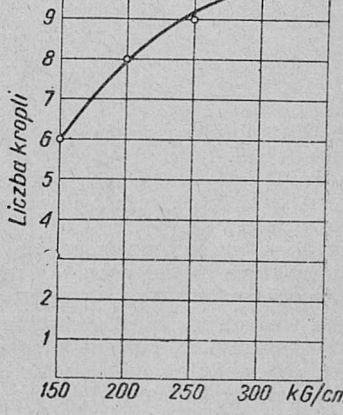
W nawiasach podana jest liczba kropli do momentu zwarcia



Rys. 16. Odporność na prądy pełzające w funkcji czasu prasowania



Rys. 17. Odporność na prądy pełzające w funkcji temperatury prasowania

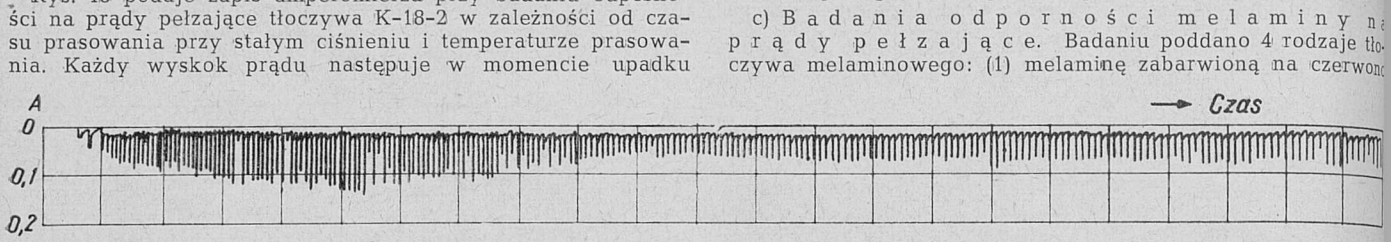


Rys. 18. Odporność na prądy pełzające w funkcji ciśnienia prasowania

W czasie badania szczególną uwagę należy zwracać na czystość elektrod. Po jednorazowym badaniu należy elektrody starannie oczyścić z powstałego osadu, w przeciwnym bowiem przypadku otrzymany wynik nie będzie miarodajny.

Rys. 15 podaje zapis amperomierza przy badaniu odporności na prądy pełzające tłoczywa K-18-2 w zależności od czasu prasowania przy stałym ciśnieniu i temperaturze prasowania. Każdy wyskok prądu następuje w momencie upadku dobranych parametrach prasowania. Jest to właśnie granica do której należałoby zaliczyć materiały klasy I — mało odporne na prądy pełzające. Należy więc dążyć do zwiększenia odporności wyrobu na prądy pełzające nie drogą procesów technologicznych, lecz przez odpowiedni dobór materiału.

c) Badania odporności melaminy na prądy pełzające. Badaniu poddano 4 rodzaje tłoczywa melaminowego: (1) melaminę zabarwioną na czerwono



Rys. 19. Wykres natężenia prądu w czasie badania melaminy zwykłej

kropli. Miarą odporności na prądy pełzające jest liczba kropli do chwili zwarcia.

Wyniki badań przedstawiono na rys. 16, 17 i 18.

Wpływ czasu prasowania jest niewielki. Jest to zrozumiałe, ponieważ powierzchnia materiału ma najwyższą temperaturę i żywica na powierzchni jest w stanie dobrze skondensować się nawet w bardzo krótkim czasie; w granicach od 3 do 5 min nie ma żadnej różnicy. Niewielkie podwyższe-

(galanteryjną), (2) melaminę zwykłą, (3) melaminę „ites" (żywica melaminowo-dwucjandwuamidowa, wypełniacz celuloza), (4) melaminę „difem" (żywica fenolowo-dwucjandwuamidowo-melaminowa, wypełniacz mączka drzewna).

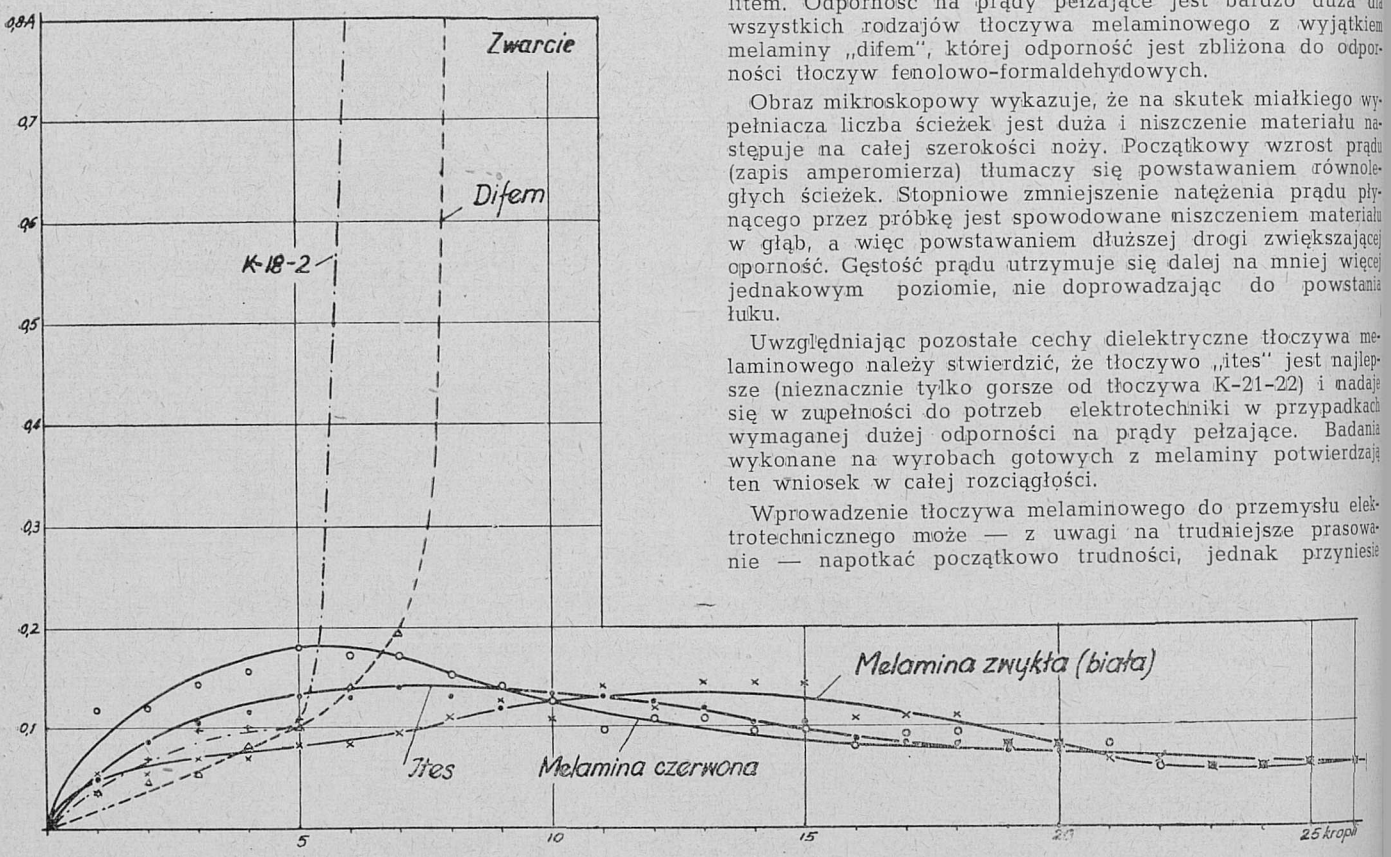
Rys. 19 przedstawia wykres amperomierza w czasie badania odporności melaminy zwykłej na prądy pełzające.

Rys. 20 podaje odporność wymienionych rodzajów melaminy na prądy pełzające w porównaniu z przeciętnym bakelitem. Odporność na prądy pełzające jest bardzo duża dla wszystkich rodzajów tłoczywa melaminowego z wyjątkiem melaminy „difem", której odporność jest zbliżona do odporności tłoczyw fenolowo-formaldehydowych.

Obraz mikroskopowy wykazuje, że na skutek miałkiego wypełniacza liczba ścieżek jest duża i niszczenie materiału następuje na całej szerokości noży. Początkowy wzrost prądu (zapis amperomierza) tłumaczy się powstawaniem równoległych ścieżek. Stopniowe zmniejszenie natężenia prądu płynącego przez próbkę jest spowodowane niszczeniem materiału w głąb, a więc powstawaniem dłuższej drogi zwiększającej oporność. Gęstość prądu utrzymuje się dalej na mniej więcej jednakowym poziomie, nie doprowadzając do powstania łuku.

Uwzględniając pozostałe cechy dielektryczne tłoczywa melaminowego należy stwierdzić, że tłoczywo „ites" jest najlepsze (nieznacznie tylko gorsze od tłoczywa K-21-22) i nadaje się w zupełności do potrzeb elektrotechniki w przypadkach wymaganej dużej odporności na prądy pełzające. Badania wykonane na wyrobach gotowych z melaminy potwierdzają ten wniosek w całej rozciągłości.

Wprowadzenie tłoczywa melaminowego do przemysłu elektrotechnicznego może — z uwagi na trudniejsze prasowanie — napotkać początkowo trudności, jednak przyniesie



Rys. 20. Odporność na prądy pełzające różnych tłoczyw termoutwardzalnych

nie odporności na prądy pełzające przy dłuższym czasie prasowania jest również w pełni uzasadnione, gdyż stopień kondensacji jest uzależniony od czasu kondensowania. Dalsze przedłużanie czasu nie wpływa na zwiększenie odporności na prądy pełzające.

Wpływ temperatury zaznacza się w przedziałach temperatur niższych i wyższych. Uzależnione to jest również od wpływu temperatury na przebieg kondensacji.

Ze wzrostem ciśnienia odporność materiału wzrasta — początkowo szybko, później w sposób łagodny. Zwiększone ciśnienie powoduje powiększenie stopnia nasycenia wypełniacza, a wskutek tego zwiększa się odporność na prądy pełzające.

Jak wykazały badania, odporność na prądy pełzające tłoczywa K-18-2 nie przekracza 10 kropli nawet przy najlepiej

znaczne korzyści, o czym przekonano się już przy wprowadzeniu do przemysłu górniczego styczników, wykonanych na podstawach wyprasowanych przez Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu.

4. Zakończenie.

Zagadnienie odporności materiału izolacyjnego na prądy pełzające jest niezmiernie ważne. W Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu wykonywane są nadal próby, których celem jest opracowanie i znormalizowanie najwłaściwszej metody badawczej.

Należy w jak najkrótszym czasie opracować projekt odpowiedniej normy, a badanie odporności na prądy pełzające uznać za obowiązujące dla materiałów izolacyjnych pracujących w ciężkich warunkach (wilgoć, kurz itp.).

V. MATERIAŁY WŁÓKNISTE

STANISŁAW LEŚKOW
Inst. Elektr., Zakt. Materiałozn. Elektr.

Włókna w elektrotechnice

621.315.614/.73.001.5:621.3

Treść. Przegląd własności ważniejszych rodzajów włókien naturalnych, sztucznych i syntetycznych, stosowanych dla elektroizolacji. Możliwości wprowadzenia nowych rodzajów włókien nie stosowanych w krajowym przemyśle elektrotechnicznym.

Włókna są powszechnie stosowane do wyrobu materiałów elektroizolacyjnych, jako przędza do oprzędu drutów nawojowych i oplotu przewodów oraz jako wyroby tkane nasycane w postaci taśm, tkanin i koszulek (plecionek).

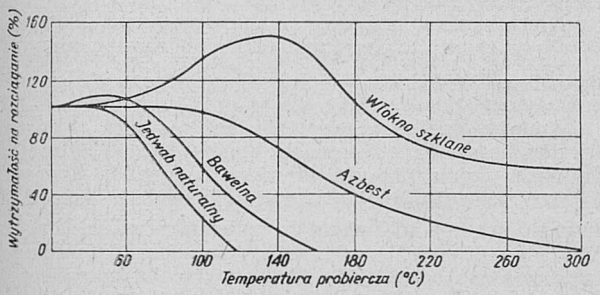
Najważniejszymi surowcami włóknistymi izolacji elektrycznej są: bawełna, jedwab naturalny, jedwab sztuczny i syntetyczny, azbest, włókno szklane *).

1. Bawełna.

Jeden z ważniejszych surowców na świecie otrzymuje się z torebek nasiennych bawełnicy (gossypium), krzewu uprawianego dotychczas tylko w krajach pozaeuropejskich w ciepłym i niezbyt suchym klimacie. Najważniejszymi producentami bawełny są Stany Zjednoczone, Związek Radziecki, Indie, Egipt.

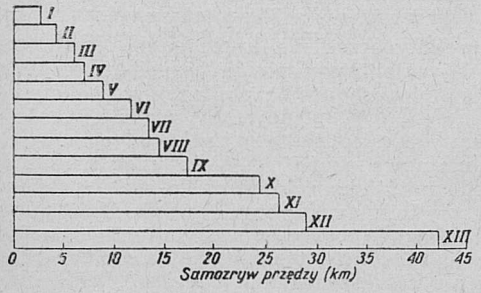
Pomimo braku w Polsce własnego surowca mamy silnie rozwinięty przemysł przerobu bawełny o dawnych tradycjach i dużym doświadczeniu.

Duża wytrzymałość na rozciąganie (rys. 1 i 2), niska cena, możliwość otrzymywania pełnego asortymentu przędzy do



Rys. 1. Zmiany wytrzymałości na rozciąganie różnych włókien po starzeniu przez 768 godz. przy odpowiednich temperaturach (wg Priwieziencewa)

najwyższych numerów (200 m/g) włącznie oraz pełnego asortymentu wyrobów tkanych powodowały, że do ostatnich lat



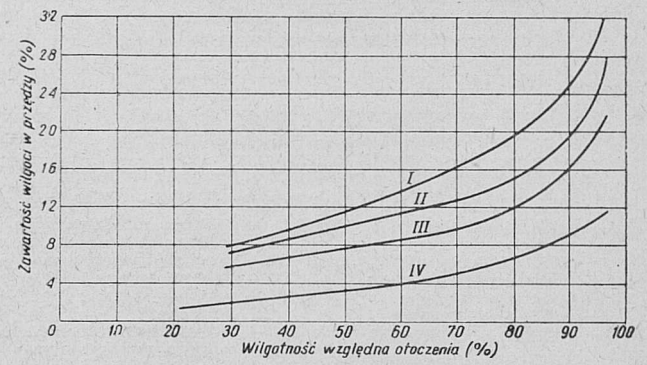
Rys. 2. Zakres wytrzymałości na rozciąganie po moczeniu (wartości względne w stosunku do wytrzymałości w stanie suchym) (wg danych niemieckich z okresu 1939 — 1945)

I — włókno szklane cięte
II — włókno wiskozowe
III — włókno miedziankowe
IV — włókno szklane alkaliczne
V — włókno octanowe
VI — włókno trójoctanowe
VII — jedwab naturalny
VIII — włókno szklane bezalkaliczne
IX — włókno azbestowe + + 20% przędzy bawełnianej
X — wełna
XI — juta
XII — konopie
XIII — włókno lniane skręcone
XIV — włókno lniane nie skręcone
XV — bawełna

przedwojennych bawełna była niezastąpionym surowcem dla wielu materiałów elektroizolacyjnych.

Najpoważniejszą wadą tego surowca jest jego higroskopijność (rys. 3), powodująca przy podwyższonej wilgotności względnej otoczenia silny spadek własności elektroizolacyjnych. Dla zapobieżenia temu stosuje się nasycanie oprzędu i wyrobów tkanych z bawełny lakierami, żywicami, woskami, asfaltami, olejami itp. Drugą poważną wadą bawełny jest ograniczona odporność termiczna, która — szczególnie w maszynach i urządzeniach elektrycznych narażonych na częste przeciążenia — powoduje wybitne skrócenie czasu ich służby.

W okresie międzywojennym ukazał się produkt pod nazwą handlową „kotopa". Jest to przędza bawełniana, której higroskopijność wydatnie obniżono przez acetylowanie; wyglądem zewnętrznym przypomina przędzę bawełnianą, z któ-



Rys. 3. Zawartość wilgoci w różnych rodzajach włókien w zależności od wilgotności względnej otoczenia przy 20°C (wg Priwieziencewa)

I — włókno wiskozowe III — bawełna
II — jedwab naturalny IV — włókno octanowe

rej została wytworzona. „Kotopa", bawełna acetylowana, jest bardziej szorstka niż bawełna, lecz zachowuje się tak samo przy przeróbce na maszynach. W porównaniu z bawełną jest znacznie mniej nasiąkliwa; jest również bardziej wytrzymała na wpływy podwyższonej temperatury, a temperatura graniczna, w której może pracować jako materiał elektroizolacyjny jest wyższa niż dla zwykłej bawełny.

Niestety, pod wpływem acetylowania — zwłaszcza nierównomiernego — wytrzymałość właściwa „kotopy" na rozciąganie jest blisko 50% mniejsza od wytrzymałości bawełny wyjściowej. Wpływa na to prócz wspomnianej nierównomierności acetylacji przędzy bawełnianej również zwiększenie jej grubości.

Wymienione względy spowodowały, że bawełnę acetylowaną stosuje się wyłącznie do izolacji sznurów i kabli telefonicznych, gdzie chodzi jedynie o małą nasiąkliwość i dobre własności elektroizolacyjne, własności zaś mechaniczne odgrywają podrzędniejszą rolę.

W kraju podjęte były w Instytucie Włókien Sztucznych prace nad otrzymywaniem bawełny acetylowanej. Równolegle wykonano badania w Instytucie Elektrotechniki nad możliwością zastosowania „kotopy" krajowej do celów elektroizolacyjnych. Wykonane badania i pomiary porównawcze IElu potwierdziły nieprzydatność otrzymanych krajowych próbek bawełny acetylowanej dla przemysłu maszyn elektrycznych.

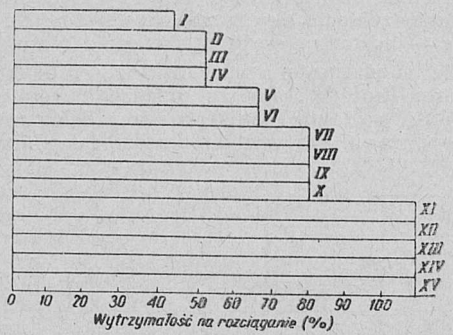
Przemysł kablowy stosuje do oprzędzania drutów nawojowych przędzę z długowłóknistej bawełny, sprowadzanej z Egiptu. Przędze grubsze na izolację przewodów wyrabia się z bawełny radzieckiej.

Włókna wiskozowe, jako surowiec pochodzenia krajowego, mogą współzawodniczyć z bawełną. Daje się zauważyć powolny wzrost ich zastosowania w przemyśle elektrotechnicznym. Przykładowo w przemyśle niemieckim udział wyrobów z bawełny — w tym także i przędzy — w ogólnym zużyciu surowców tekstylnych dla przemysłu elektrotechnicznego spadł z ~ 40% w latach 1938—1939 do 10% w latach 1941—1942.

*) Por. Leśkow S. Włókno szklane (str. 653 niniejszego zeszytu).

2. Jedwab naturalny.

W porównaniu z bawełną, której najlepsze gatunki dają włókna długości ok. 40 mm i grubości 10—25 μ (bawełna egipska), włókna jedwabiu naturalnego mają grubość 6—20 μ przy długości dochodzącej do 800 mm. Również wytrzymałość mechaniczna przędzy z jedwabiu naturalnego jest znacznie większa niż z bawełny (rys. 4). Wszystkie te względy spowodowały, że jedwab naturalny jest pożądanym surowcem dla izolacji elektrycznej, zwłaszcza tam, gdzie wymagane są jak najmniejsze grubości izolacji. Stosuje się go przeważnie w postaci cienkich płócien do wyrobu ceratek izolacyjnych o specjalnie dobrych własnościach mechanicznych i dielektrycznych. W przemyśle kablowym przędza z jedwabiu naturalnego stosowana jest do oprzędu najcieńszych drutów nawojowych.



Rys. 4. Własności mechaniczne różnych włókien (wg danych niemieckich z roku 1939 — 1945)

I — włókno azbestowe
II — włókno azbestowe z dodatkiem bawełny
III — włókno szklane cięte
IV — włókno octanowe
V — włókno wiskozowe
VI — włókno trójoctanowe
VII — włókno miedziankowe
VIII — włókno białkowe
IX — przędza bawełniana
X — włókno lniane
XI — włókno szklane bezalkaliczne
XII — jedwab naturalny
XIII — włókno poliamidowe

Jedwab naturalny jest surowcem deficytowym wobec niewielkiej produkcji krajowej.

W ostatnich latach — wobec znacznego rozwoju chemii polimerów — czynione są próby zastąpienia jedwabiu naturalnego włóknami syntetycznymi, zwłaszcza na podstawie poliamidów (stylon, kapron itd.).

3. Jedwab sztuczny i syntetyczny.

Włókna z celulozy hydrowanej (jedwab wiskozowy) są interesujące z punktu widzenia gospodarczego wobec ich niskiej ceny w porównaniu z cenami bawełny oraz cenami innych włókien sztucznych. Znajdują one obecnie zastosowanie na oprzędy drutów, oploty przewodów, taśmy, koszulki i ceratki izolacyjne.

Włókna te mają jednak szereg wad, jak duża higroskopijność i związane z tym niskie własności elektroizolacyjne oraz mała odporność termiczna. Wady te ograniczają zastosowanie wyrobów z jedwabiu wiskozowego tylko do urządzeń elektrycznych osiągających temperatury nie wyższe od 80°C.

Włókna wiskozowe mogą jednak zastąpić bawełnę w materiałach pomocniczych, jak taśmy nasycane do bandażowania elementów uzwojeń maszyn elektrycznych. Próby w tym kierunku były wykonane w czasie wojny w Niemczech, gdzie wprowadzono taśmy z włókien wiskozowych.

Włókna z estrów celulozy, a zwłaszcza włókna trójoctanowe charakteryzuje higroskopijność niższa niż w innych włóknach pochodzenia naturalnego i sztucznego. Celuloza estryfikowana trójoctanowa ma doskonałe własności elektroizolacyjne. Badania wykonane na próbkach w postaci folii wykazały następujące własności:

	trójoctan celulozy	wiskoza plastyfikowana
wytrzymałość dielektryczna	90—140 kV/mm	15—20 kV/mm
oporność skrośna przy 20°C	10^{14}—10^{15} Ωcm	10^{10} Ωcm
współczynnik strat przy 50 Hz (tg δ)	0,01	0,3

Powyższe zestawienie wykazuje, jak cennymi materiałami są surowce tej grupy, zwłaszcza na izolację drutów nawojowych oraz drutów schematowych, dla których wymagane są wyższe wskaźniki jakości izolacji.

Obok dobrych własności elektroizolacyjnych włókna z estrów celulozy mają szereg wad ze względu na technologię ich użytkowania (szczególnie w przemyśle kablowym), a przede wszystkim małą wytrzymałość na rozciąganie, a mianowicie 16 — 21 kG/mm² w porównaniu z 50 — 60 kG/mm² dla jedwabiu naturalnego i włókien poliamidowych. Oprócz tego włókna te, podobnie jak włókno szklane z małą ilością preparacji (szlichty), stosunkowo łatwo ulegają naelektryzowaniu, które może spowodować rozdzielanie się nici. Zjawisko to w znacznym stopniu utrudnia proces oprzędzania lub oplatania. Przy stosowaniu włókien z estrów celulozy należy znacznie obniżyć szybkości oprzędzania. Szersze zastosowanie tych włókien w przemyśle kablowym może nastąpić po uzyskaniu większej ich wytrzymałości na rozciąganie.

Przyrost izolacji drutu w podwójnym oprzędzie z włókna trójoctanowego Nm 40 waha się w granicach 0,19—0,22 mm; jest to mniej więcej trzy razy tyle, co dla drutu w oprzędzie z jedwabiu naturalnego. Stosując przędzę Nm 90 można dojść do przyrostu rzędu 0,11 mm (dwukrotny oprzęd), dopuszczalnego jeszcze dla drutów i przewodów schematowych.

Oporność izolacji podwójnego oprzędu z włókna trójoctanowego przy 80—100% wilgotności względnej otoczenia jest znacznie większa od wartości uzyskanych dla oprzędu z jedwabiu naturalnego. Według źródeł radzieckich dzięki swym własnościom dielektrycznym włókna z trójoctanu celulozy mogą znaleźć zastosowanie do oplotów przeznaczonych do pracy przy wysokich częstotliwościach.

Częściowe rozpuszczanie się octanów celulozy w rozpuszczalnikach lakierów celulozowych (octan butylu, octan amylu) należy traktować jako zjawisko raczej korzystne; częściowe rozpuszczanie się włóknistego podłoża powoduje szczególnie silne jego związanie z błoną lakierową.

W kraju dotychczas nie uruchomiono produkcji octanów celulozy. W najbliższym planie gospodarczym 1956—1960 r. przewiduje się uruchomienie produkcji trójoctanu celulozy do taśm filmowych. W planowanej produkcji należy przewidzieć asortyment folii dla przemysłu elektrotechnicznego. Folia trójoctanowa grubości 10—50 μ doskonale nadaje się do izolacji drutów nawojowych. Po uruchomieniu masowej produkcji tej folii można będzie wprowadzić ją zamiast bawełny najwyższych numerów metrycznych do izolacji drutów. Oprócz tego folie trójoctanowe znajdą szerokie zastosowanie w połączeniu z preszpanami i papierami, jako wysokowartościowy materiał elektroizolacyjny.

Tablica I. Starzenie termiczne włókien poliamidowych i jedwabiu (wg Priwieziencewa)

Rodzaj badanego włókna	Temperatura starzenia (°C)	Stan dostawy: wytrzym. na rozciąg. K_r (%)	Stan dostawy: wydłużenie względne (%)	Czas trwania starzenia: 2 dni K_r	2 dni $\frac{\Delta l}{l}$	5 dni K_r	5 dni $\frac{\Delta l}{l}$	10 dni K_r	10 dni $\frac{\Delta l}{l}$	16 dni K_r	16 dni $\frac{\Delta l}{l}$	20 dni K_r	20 dni $\frac{\Delta l}{l}$	25 dni K_r	25 dni $\frac{\Delta l}{l}$	30 dni K_r	30 dni $\frac{\Delta l}{l}$	45 dni K_r	45 dni $\frac{\Delta l}{l}$	64 dni K_r	64 dni $\frac{\Delta l}{l}$
Poliamid	100	100	100	—	—	63	73	59	67	58	62	52	58	—	—	—	—	48	48	41	43
Jedwab	100	100	100	—	—	63	31	58	32	52	25	48	25	—	—	—	—	41	6	rozkład	
Poliamid	125	100	100	87	120	61	70	58	58	50	52	40	49	30	34	32	40	—	—	—	—
Jedwab	125	100	100	78	90	53	43	38	20	32	22	24	13	17	10	rozkład włókna					
Poliamid	150	100	100	56	86	45	63	18	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Jedwab	150	100	100	36	14	rozkład włókna															

Włókna poliamidowe. Włókna te odznaczają się bardzo dobrymi własnościami mechanicznymi. Wytrzymałość na rozciąganie osiąga wartości dorównujące wytrzymałości jedwabiu naturalnego. Włókna poliamidowe są również bardzo elastyczne; ich wydłużenie trwałe jest znacznie mniejsze od wydłużenia innych włókien, a higroskopijność jest najniższa. Starzenie termiczne tych włókien wykazuje również ich wyższość nad jedwabiem naturalnym (tabl. I).

Włókna poliamidowe wykazują również dobrą odporność na niskie temperatury: przy temperaturze —50°C ich wytrzymałość na rozciąganie nawet wzrasta. Inne próby wykonane w warunkach laboratoryjnych wykazują ich odporność na działanie bakterii beztlenowych, jak również na działanie zasad, kwasów organicznych, alkoholi, benzyny. Włókna poliamidowe odznaczają się dużą odpornością na ścieranie.

4. Azbest.

Z występujących odmian azbestu — antofilitu, azbestu amfibolowego i serpentynowego — najważniejsze znaczenie dla elektrotechniki ma ostatnia odmiana, z której najbardziej rozpowszechniony jest azbest chryzotylowy (90% azbestu znajdującego się w handlu).

Wartość azbestu określa długość włókna, która dla najlepszego gatunku wynosi 15 — 20 mm. Długowłóknisty azbest wydobywany jest ręcznie i dlatego też cena jego jest prawie dziesięciokrotnie wyższa od gorszych gatunków wydobywanych mechanicznie.

Wśród surowców włóknistych stosowanych w elektrotechnice azbest wykazuje dużą odporność termiczną, ustępującą jedynie odporności włókna szklanego.

Z włókna azbestowego można wytwarzać przędzę, która w dalszej kolejności służy do wyrobu taśm i tkanin. Należy jednak zaznaczyć, że wszelka przeróbka włókna azbestowego (czesanie, przędzenie) obniża jego wytrzymałość na rozciąganie, której wartość jest mniejsza od wytrzymałości innych włókien. W związku z tym — dla poprawy własności mechanicznych — do włókien azbestowych dodaje się przędzy bawełnianej, ułatwiając w ten sposób dalszy przerób otrzymanej przędzy do wyrobów tkanych.

Azbest stosowany jest w elektrotechnice do oprzędu drutów nawojowych większych przekrojów, do wyrobu taśm, tkanin oraz kartonów i papierów.

Po opanowaniu produkcji włókna szklanego azbest nie jest już niezastąpionym surowcem do wyrobu materiałów elektroizolacyjnych przeznaczonych do pracy w wyższych temperaturach. Stosowanie azbestu do izolacji elektrycznej może być jedynie tam uzasadnione, gdzie on jest łatwo dostępny. W naszych warunkach — wobec braku u nas tego surowca — należy jak najszerzej zastępować go surowcem jakościowo znacznie lepszym — włóknem szklanym.

5. Produkcja krajowa.

Z omówionych wyżej najważniejszych surowców włóknistych w kraju produkujemy: przędzę i wyroby bawełniane, przędzę i wyroby z jedwabiu naturalnego, przędzę i wyroby z jedwabiu wiskozowego, przędzę poliamidową (stylon), przędzę i wyroby azbestowe.

Przemysł elektrotechniczny zaopatrywany jest w wyroby z bawełny, z jedwabiu naturalnego i częściowo wiskozowego oraz z azbestu.

Jednym z najpoważniejszych dotychczas braków produkcji wyrobów z bawełny był niedobór przędz wysokich numerów metrycznych spowodowany trudnością otrzymania bawełny egipskiej. Brak jest również odpowiednio sprecyzowanych warunków technicznych na wyroby tkane dla przemysłu elektrotechnicznego. Wobec stosowania wymagań opartych na dokumentacji licencyjnej należy jak najszybciej adaptować radzieckie warunki techniczne i normy na wyroby tkane z bawełny. Podobnie należy postąpić z wyrobami opartymi na jedwabiu naturalnym.

Poważniejszym natomiast zagadnieniem będzie rozważenie możliwości zastępowania bawełny włóknami z jedwabiu sztucznego, a przede wszystkim jedwabiem wiskozowym.

Z ubolewaniem należy stwierdzić słabe zainteresowanie ze strony przemysłu elektrotechnicznego zagadnieniem zastąpienia jedwabiu naturalnego włóknami poliamidowymi, zwłaszcza wobec ich stale wzrastającej produkcji. Przy nie opanowanej jeszcze krajowej produkcji wyrobów tkanych z przędzy poliamidowej należałoby rozpocząć pracę nad wprowadzeniem tego surowca do oprzędu drutów. Niższa cena krajowego włókna poliamidowego (140—300 zł/kg w zależności od numeru) w porównaniu z jedwabiem naturalnym (od 400 zł/kg wzwyż) przy wielkich zaletach tego pierwszego umożliwi po wprowadzeniu go do izolacji na uzyskanie lepszych wskaźników techniczno-ekonomicznych.

Podobnie rzecz się ma z azbestem, lecz tylko w zakresie wyrobów tkanych. Przy założonych wskaźnikach wzrostu spożycia włókna szklanego należy rozważyć możliwość całkowitego wyłączenia azbestu z liczby surowców dla izolacji elektrycznej.

6. Dezyderaty dla przemysłu.

a) Określenie zapotrzebowania wyrobów tkanych z włókna wiskozowego ze względu na niskie graniczne temperatury stosowania izolacji opartej na tym surowcu. Do szerokiego wprowadzenia wiskozy jako materiału do izolacji elektrycznej potrzebne będą dodatkowe prace badawcze.

b) Zbadanie możliwości techniczno-ekonomicznych zastąpienia jedwabiu naturalnego — w wyrobach przemysłu kablowego — przędzą krajową poliamidową.

c) Ustalenie zakresu stosowania przędzy poliamidowej produkcji krajowej do oprzędu i oplotów.

d) Rozpoczęcie prac nad przerobem tkackim włókien poliamidowych (taśmy i tkaniny specjalnie cienkie do wyrobu ceratek oraz jako materiał nośny do wyrobów mikowych).

e) Opracowanie technologii tkania płócien diagonalowych do wyrobu taśm nasycanych bez szwu.

f) Zbadanie możliwości techniczno-ekonomicznych wprowadzenia wyrobów tkanych, opartych na kompozycji bawełny z jedwabiem wiskozowym, w dążeniu do zmniejszenia zużycia bawełny do celów przemysłowych.

7. Tematyka prac badawczych.

a) Ustalenie granicznych temperatur pracy izolacji opartej na włóknie wiskozowym (przez porównanie z izolacją bawełnianą).

b) Zagadnienie folii trójoctanowych do izolacji elektrycznej.

c) Zagadnienie starzenia izolacji z włókien organicznych.

LITERATURA

Priwiezientcew W. A. Obmotocznyje prowoda (Moskwa, 1952).
Słownik towaroznawczy (PWT, Warszawa, 1954).
Dane niemieckie z okresu 1939 — 1945.

STANISŁAW LEŚKOW
Inst. Elektr. Zakł. Meteriałoz. Elektr.

Włókno szklane

621.315.612.6:621.315.614.7:621.315.61

Treść. Przegląd rozwoju produkcji i prac krajowych nad włóknem szklanym oraz wyrobami z niego dla elektroizolacji. Przedstawione są potrzeby przemysłu elektrotechnicznego oraz podane propozycje prac na przyszłość.

1. Wstęp.

Proces technologiczny wyciągania włókien szklanych o różnych grubościach podlegał z biegiem czasu zmianom, które w chwili obecnej doprowadziły do trzech zasadniczych metod produkcji: 1) wyciąganie za pomocą rozprężanego gazu (powietrza) lub pary; 2) wyciąganie przez działanie sił odśrodkowych; 3) wyciąganie za część zestalonego włókna.

Sposób pierwszy i drugi dają włókna cięte o średnicy od 5 do 20 μ i długości 5 do 35 cm; sposobem trzecim otrzymuje się włókno ciągłe o długości teoretycznie nieskończonej (praktycznie rzędu 20 000 m) i średnicy dochodzącej do ułamków mikrona.

Z punktu widzenia użytkowania włókna szklane można podzielić na dwie grupy: a) tekstylne, ciągłe i cięte, przerabiane

na przędzę i wyroby tkane; b) do izolacji cieplnej w postaci waty szklanej i wojłoku, wykonywanych z włókien zarówno ciągłych jak i ciętych.

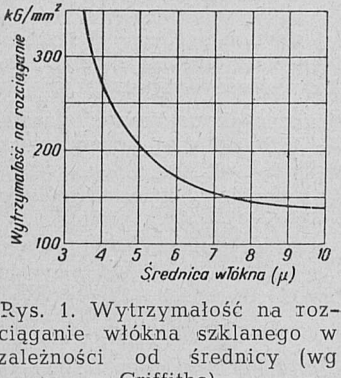
Prace badawcze Aleksandrowa, Żurkowa oraz Griffitha i innych wykazały, że wytrzymałość mechaniczna włókien szklanych bardzo silnie wzrasta ze zmniejszaniem się ich średnicy. Zależność między tymi dwiema wielkościami wyraża się funkcją o przebiegu hiperbolicznym (rys. 1):

$$P = a + \frac{b}{d},$$

gdzie P — wytrzymałość włókna na rozciąganie (kG/mm^2),
d — średnica włókna (mm),
a, b — wielkości stałe.

Zależność powyższa — w połączeniu z zaobserwowanym zjawiskiem wzrostu elastyczności włókna szklanego przy malejącej jego średnicy — wykazała, że możliwości zastosowania włókna szklanego dla elektrotechniki rozpoczynają się od średnicy 7 μ; własności mechaniczne takiego włókna są już wystarczające do jego dalszego przerobu na przędzę do izolowania drutów nawojowych oraz niektórych wyrobów tkanych przeznaczonych do izolacji elektrycznej. Obecnie do tych celów stosuje się włókna szklane o średnicy nie większej niż 5 do 6 μ.

Szkło do wyrobu włókien jest z zasady szkłem bezalkalicznym lub małoalkalicznym. Wybór takiego szkła na włókna jest uzasadniony jego większą wytrzymałością na rozciąganie oraz wyższą odpornością na wpływy atmosferyczne (działanie wilgoci w porównaniu z włóknami ze szkieł alkalicznych. Prace radzieckie wykazały, że włókna szklane ze szkła borowego po dwuletnim składowaniu miały własności wyjściowe, a więc były odporne na starzenie atmosferyczne. Wytrzymałość włókien tego typu nie ulegała również zmianom podczas długotrwałego przebywania w atmosferze o 100-procentowej wilgotności względnej. Analiza chemiczna roztworu, uzyskanego przez wygotowanie włókna, wykazała, że niektóre jego składniki ulegają rozpuszczeniu. Łączna ilość rozpuszczonych składników wyniosła 12,6%, w tym Na_2O — 5,4%, a B_2O_3 — 6,05%. Oczywiście, w warunkach normalnych przy temperaturze 15—25°C proces rozpuszczania się składników szkła przebiega znacznie wolniej.



Rys. 1. Wytrzymałość na rozciąganie włókna szklanego w zależności od średnicy (wg Griffitha)

Zupełnie inaczej przedstawia się odporność włókna ze szkła alkalicznego. Wytrzymałość takich włókien stale zmniejszała się podczas składowania i działania podwyższonej wilgotności powietrza. Włókno alkaliczne po dwuletnim leżeniu na składzie wykazywało tylko 33% wytrzymałości początkowej, a po 11 dniach przebywania tego włókna w atmosferze o 100% wilgotności względnej jego wytrzymałość spadła do 25% wartości początkowej. Po próbie wygotowywania włókna wodą, jak wyżej, analiza wykazała, że do roztworu przechodzi 41% ogólnej ilości Na_2O zawartego w szkle. Tak głębokie przenikanie wody i naruszenie struktury szkła nieuchronnie musi prowadzić do spadku wytrzymałości mechanicznej włókna.

Pod wpływem wilgoci z otoczenia alkalia są wyługowywane z powierzchni, która w stosunku do masy włókna jest bardzo duża. Wyługowane alkalia tworzą związki zjonizowane, które wybitnie obniżają własności izolacyjne włókna.

Temu zjawisku, stwierdzonemu ogólnie dla szkła, a szczególnie silnie dla szkła alkalicznego, próbowano zapobiec przez uszlachetnianie powierzchni szkła. Już w 1937 r. niemieckie urzędy patentowe zarejestrowały sposób, polegający na nakładaniu na szkło w podwyższonych temperaturach warstwy kwasu stearynowego lub palmitynowego. Warstwa taka miała stworzyć na powierzchni szkła powłokę o własnościach hydrofobowych.

Konieczność poddawania włókien szklanych dodatkowym zabiegom wynika przede wszystkim z potrzeby zabezpieczenia się przed zrywaniem przędzy. Tzw. szlichtowanie zapobiega wzajemnemu ślizganiu się po sobie gładkich włókien szklanych i ma na celu łączenie ich w jedną nić. Wytrzymałość na rozciąganie nici sklejonej podwyższa się przeciętnie o 20—30% w porównaniu z nicią bez szlichty.

Włókno szklane tekstylne znalazło od razu szereg możliwości zastosowania w elektrotechnice. Będąc materiałem pochodzenia nieorganicznego odznacza się znacznie większą — w porównaniu z bawełną lub jedwabiem — odpornością na działanie podwyższonych temperatur. Możliwość otrzymywania przędzy z włókna szklanego pozwoliła na zastosowanie jej do oprzędu i oplotu przewodów oraz drutów nawojowych.

Wyroby tkane w postaci płócien, taśm i koszulek (plecionek) — w połączeniu z odpowiednimi lakierami lub żywicami — stworzyły nowe możliwości konstrukcyjne i technologiczne w elektrotechnice. Dwa najgroźniejsze czynniki wpływające na trwałość izolacji elektrycznej — wilgoć i podwyższona temperatura — powoli przestają decydować o nowych rozwiązaniach układów elektroizolacyjnych.

Dotychczas elektrotechnika stosuje następujące wyroby z włókna szklanego:

1) przędzę tekstylną o numerze metrycznym 40—90 m/g do izolacji drutów nawojowych i przewodów;

2) przędzę grubszą, przeważnie z włókien ciętych, do izolacji kabli silnoprądowych;

3) wyroby tkane: płótna o grubości 0,08—0,25 mm do wyrobu ceratek i laminatów, taśmy bez sycenia, koszulki (plecionki), płótna i taśmy specjalnie cienkie do wyrobów mikowych;

4) papier z włókien szklanych „niskomikronowych".

2. Rozwój produkcji krajowej.

Włókno szklane zaczęto wytwarzać dopiero od 1938 r., trudno więc mówić o krajowej produkcji w okresie aż do końca wojny. Po wojnie uruchomiono na terenie Dolnego Śląska w hucie szkła w Zawidowie urządzenia przeznaczone do wyrobu włókna szklanego tekstylnego, a składające się z 10 pieców z łódkami platynowymi oraz aparaturę grzejną. Urządzenia powyższe przejął przemysł mineralny i doświadczalnie je uruchomił. Brak należytej opieki ze strony przemysłu oraz brak odpowiedniej liczby fachowców spowodował przerwanie tych prac.

Dopiero w 1949 r. dzięki inicjatywie Zakładu Materiałoznawstwa Elektrycznego Inst. Elektr. przemysł włókien sztucznych przejął pozostałe części omawianych urządzeń. Mniej więcej od 1951 r. — po skompletowaniu niezbędnych części — uruchomiono jedno stanowisko doświadczalne do snucia włókna szklanego. Prace miały na celu zdobycie doświadczenia technologicznego przy snuciu włókien ciągłych, ażeby móc zaprojektować i wykonać potrzebne urządzenia produkcyjne.

Pod koniec 1952 r. Instytut Włókien Sztucznych podjął pracę nad stworzeniem podstaw do zorganizowania produkcji włókna szklanego tekstylnego na poziomie wymaganym przez przemysł elektrotechniczny, który już wówczas uruchomił produkcję silników elektrycznych o izolacji opartej na włóknie szklanym. Materiał nawojowy początkowo importowano, następnie przemysł kablowy uruchomił produkcję drutów nawojowych w izolacji z przędzy szklanej importowanej.

Równolegle z produkcją przemysłu kablowego IEl rozpoczął prace nad ustaleniem typowych własności izolacji drutów nawojowych i przędzy szklanej importowanej. W ten sposób ustalono na poziomie najbardziej łagodnym, ale możliwym do przyjęcia przez przemysł elektrotechniczny, warunki techniczne niezbędne dla produkcji krajowej. Prace te miały na celu umożliwienie krajowemu przemysłowi najszybszego osiągnięcia wymaganej jakości produkcji.

3. Rozwój krajowej produkcji surowców do wyrobu włókna szklanego.

Podstawowym surowcem do wyrobu włókna szklanego jest szkło bezalkaliczne. Dotychczas brak własnych danych do omawiania tego zagadnienia, ponieważ nie prowadzono odpowiednich prac nad doborem zestawu szkła i jego technologii. Przemysł włókien sztucznych podjął z konieczności samodzielne próby wybrania — z istniejących w kraju zestawów — szkła odpowiadającego wymaganiom technologicznym przerobu na włókna dla izolacji elektrycznej.

Po pokonaniu szeregu trudności, wynikających raczej z braku koordynacji współpracy między zakładami różnych resortów obecnie ustalono już zestaw szkła wytwarzanego w kraju *).

*) Por. Zawadzki A. Stan prac i perspektywy produkcji jedwabiu szklanego w kraju (str. 658 niniejszego zeszytu).

Obok szkła ważnym surowcem pomocniczym przy wyrobie włókna szklanego jest substancja sklejająca, tzw. „szlichta". Również i tu brak jest do tej pory odpowiednich wyników. Doświadczalna produkcja opiera się na recepturze opracowanej w Czechosłowacji. Pomyślną okolicznością jest to, że w przemyśle włókien sztucznych zgromadzony jest stosunkowo duży zasób wiadomości teoretycznych i praktycznych związanych z tym zagadnieniem przy produkcji i opracowaniu nowych włókien syntetycznych. Niewątpliwie sprawa ustalenia materiałów i substancji sklejającej będzie zadaniem stosunkowo łatwym.

Produkcja przędzy z włókna szklanego jest etapem kończącym produkcję włókna szklanego, lecz rozwój produkcji włókna szklanego jest ograniczony, gdyż produkcja ta opiera się na włóknie wytwarzanym w skali doświadczalnej, a ponadto nastawiona jest na wyrób przy stałych w zasadzie parametrach — złożenia przędzy i jej skrętu.

Dzięki pracom prowadzonym w Politechnice Łódzkiej i koordynowanym przez IEl stworzono podstawy uruchomienia w skali przemysłowej produkcji wyrobów tkanych z włókna szklanego krajowego. Produkcji tej jednak nie uruchomiono, a niektóre opracowania tkackie (płótno) należy traktować jako próby kwalifikacyjne włókna tekstylnego.

Włókno szklane jest — mniej więcej w połowie całej zapotrzebowywanej ilości przez elektrotechnikę — przerabiane jako przędza na izolację drutów nawojowych i przewodów. Technologia tego przerobu została w przemyśle kablowym w zasadzie opanowana. Natomiast pozostała ilość włókna szklanego jest potrzebna do wyrobów tkanych, stanowiących podstawę izolacji elektrycznej. Z ogólnej ilości włókna szklanego potrzebnego w 1955 r. przemysłowi maszyn elektrycznych 40% stanowić będzie izolacja drutów nawojowych, a 60% tkane wyroby nasycane.

W kraju dotąd nie produkowano żadnych wyrobów tkanych z włókna szklanego; obecnie IEl bada przydatność prób Politechniki Łódzkiej oraz przemysłu tkanin technicznych i przemysłu jedwabniczego, koordynując pracę i dążąc do wzmożenia przerobu przędzy szklanej na płótno, taśmy i plecionki dla elektrotechniki. Technologia tkania płócien szklanych grubości 0,09 mm oraz 0,11 mm została już przez Politechnikę Łódzką (Zakład Tkactwa) opracowana. Obecnie należy podjąć produkcję z przędzy szklanej importowanej. W toku są jeszcze prace nad technologią produkcji taśm i koszulek (plecionek).

Technologia nasycania wyrobów tkanych z włókna szklanego również nie jest jeszcze opracowana. Próby przeprowadzone w Gliwickich Zakładach Tworzyw Sztucznych przy wyrobie tekstolitów szklanych wykazały, że uruchomienie produkcji tego asortymentu jest możliwe.

4. Współpraca między producentem i instytucjami naukowymi.

Zagadnienie produkcji izolacji opartej na włóknie szklanym jest przykładem zagadnienia dość skomplikowanego, ma się tu bowiem do czynienia z jednej strony z ostatecznym użytkownikiem w skali przemysłowej — przemysłami maszyn oraz aparatów elektrycznych i przemysłem kablowym — który wysuwa zagadnienia do opracowania i rozwiązania w Instytucie Elektrotechniki, z drugiej zaś strony z producentami surowców do tej izolacji (producenci szkła i włókna) oraz przetwórcami włókna szklanego a zarazem wytwórcami półfabrykatów z włókna sztucznego dla przemysłu elektrotechnicznego.

Wobec rozległego zakresu prac badawczych związanych z produkcją doświadczalną współpraca objęła Instytut Elektrotechniki i Instytut Włókien Sztucznych oraz częściowo Politechnikę Łódzką (Zakład Tkactwa), Instytut Szkła i Ceramiki, Instytut Tworzyw Sztucznych, a także centralne zarządy następujących przemysłów: a) maszyn elektrycznych i aparatów elektrycznych (użytkownicy izolacji szklanej), b) kablowego (bezpośredni odbiorca przędzy), c) włókien sztucznych (producent włókna), d) tkanin technicznych, e) jedwabniczego, f) szklarskiego (dostawca surowca na włókna), g) tworzyw sztucznych (producent izolacji szklanej).

Nie było koordynacji pomiędzy pracami wszystkich 13 wymienionych instytucji, istniała natomiast koordynowana przez IEl i CZPME ścisła współpraca pomiędzy IEl, IWS, CZPME, CZPKabl., CZPWł. Szt. i Politechniką Łódzką.

Wskutek braku koordynacji prac instytutów w latach 1953—1954, tj. w okresie ustalania przez IWS technologii, a przez IEl przydatności próbnej produkcji włókna szklanego, zabrakło współpracy Instytutu Szkła i Ceramiki, który powinien był w tym okresie opracować zestawy szkła na włókna i technologię jego produkcji. Podobnie początkowo przedstawiała się współpraca przemysłu włókien sztucznych z przemysłem mineralnym przy lokowaniu próbnych wytopów w krajowych hutach szkła.

Wobec rosnących zadań i potrzeb przemysłu elektrotechnicznego (ostatnio również i przemysłu motoryzacyjnego) IEl wystąpił do władz z projektem podziału i koordynacji prac związanych z uruchomieniem produkcji materiałów izolacyjnych opartym na włóknie szklanym. W perspektywie czasu, który dzieli opracowanie powyższego projektu (październik 1954 r.) do chwili obecnej, wydają się słuszne następujące w nim zmiany: a) nadzór i koordynację zagadnień związanych z uruchomieniem i poprawieniem jakości produkcji powinny objąć organy wyznaczone przez PKPG; b) zagadnieniami prac badawczych, zwłaszcza zakrojonymi na dłuższą metę, powinny zająć się IEl oraz IWSS na zlecenie PANu.

5. Aktualne zagadnienia surowcowe.

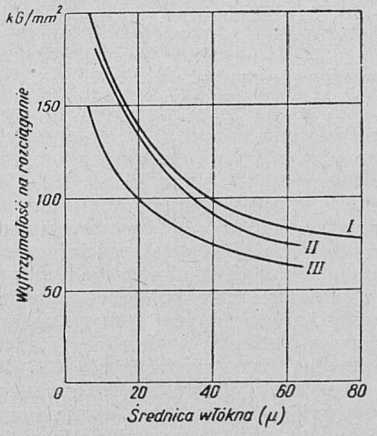
Krajowa produkcja włókna szklanego oparta jest częściowo na dokumentacji otrzymanej z Czechosłowacji i nastawiona jest na wyrób włókna ciągłego.

W ciągu 1954 r. sprowadzono z ČSR stosowane tam do wyrobu włókna szkło o składzie zasadniczo średnio-alkalicznym, zawierające obok Na_2O i K_2O, w łącznej ilości około 10%, również około 5% B_2O_3. Równocześnie importowano również z ČSR przędzę szklaną z tego samego szkła. Brak ciągłości dostaw spowodował zwiększenie wysiłków Instytutu Włókien Sztucznych i przemysłu włókien sztucznych przy pracach nad doborem szkła krajowego. Zatrzymano się na szkle stosowanym do celów optycznych o zawartości ok. 8% B_2O_3 oraz ok. 8% $Na_2O + K_2O$.

Niezależnie od wybranego szkła na włókna dla izolacji elektrycznej należy rozważyć możliwości otrzymywania zestawów szkieł na włókna o jak najlepszych własnościach. W tym celu należałoby uwzględnić szereg czynników.

Parametry technologii snucia. Ważny jest przede wszystkim zakres temperatur snucia oraz zmiany lepkości szkła w tym zakresie. Temperatury snucia wynoszą dla szkieł wysoko- i średnioalkalicznych 1100 do 1300°C, dla szkieł małoalkalicznych i bezalkalicznych 1300—1450°C. Krzywa lepkości szkieł powinna być wydłużona.

Charakterystyka temperaturowa wytopu szkła. Szkło przy wytapianiu nie powinno nadmiernie pienić się, natomiast powinno mieć taki zakres temperatur krytycznych, który umożliwi praktycznie dokładną kontrolę warunków pracy. Masa szklana przeznaczona do snucia nie powinna z zasady zawierać wtrąceń powietrza lub gazów. Badania radzieckie wykazały, że istnieje zupełnie wyraźna zależność wytrzymałości włókna od wielkości wtrąceń powietrza w masie szkła przeznaczonego do snucia. Ze szkła zawierającego drobniutkie pęcherzyki powietrzne wysnuwano włókna, których wytrzymałość mechaniczna na rozciąganie była o ~ 20% mniejsza od wytrzymałości włókien snutych w identycznych warunkach, lecz ze szkła (tego samego) bez wtrąceń. Przy zaobserwowanym spadku wytrzymałości rozrzut pomiarów wzrósł z 17,5% do 23%. To samo źródło podaje wiadomości o praktycznie znikomym wpływie niejednostajności składu chemicznego szkła na wytrzymałość wysnutych włókien (rys. 2). Natomiast wtrącenia krystaliczne (tzw. dewitryfikacja — tworzenie się w masie licznych małych kryształków)



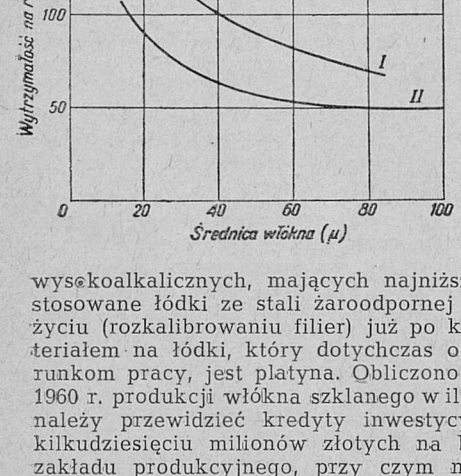
Rys. 2. — Wpływ niejednolitości składu szkła na wytrzymałość włókna (wg Żaka)
I — szkło bezalkaliczne
II — skład szkła mieszany: 50% bezalkalicznego + 50% alkalicznego
III — szkło alkaliczne

bardziej nawet niż wtrącenia powietrza wpływają na własności mechaniczne włókna (rys. 3).

Strona ekonomiczna otrzymywania szkła. W tym miejscu należałoby pogodzić wymagania użytkowników z trudnościami otrzymywania składników zestawu szkieł małoalkalicznych lub bezalkalicznych. Pewną wskazówką w tej mierze może być stosowany w CSR skład szkła „palex", w którym pomimo znacznej zawartości alkalii — rzędu kilkunastu procentów — ujemny wpływ Na_2O skompensowano odpowiednią zawartością K_2O.

Z dalszych zagadnień surowcowych, tym razem nie wchodzących w skład wyrobu, należy nieco uwagi poświęcić platynie, potrzebnej dla aparatury grzejnej.

Jednym z podstawowych elementów urządzenia do snucia włókien szklanych jest tzw. łódka, w której topi się szkło i z której otworów wyciąga się włókna. Jak już podano wyżej, temperatury snucia wynoszą powyżej 1100°C. Doświadczenie krajowe wykazało, że nawet przy snuciu włókien ze szkieł



Rys. 3. Wpływ wtrąceń krystalicznych w masie szkła na wytrzymałość włókna (wg Żaka)
I — bez wtrąceń krystalicznych
II — z wtrąceniami krystalicznymi

wysokoalkalicznych, mających najniższe temperatury snucia, stosowane łódki ze stali żaroodpornej ulegały szybkiemu zużyciu (rozkalibrowaniu filier) już po kilku dniach pracy. Materiałem na łódki, który dotychczas odpowiada trudnym warunkom pracy, jest platyna. Obliczono, że dla planowanej na 1960 r. produkcji włókna szklanego w ilości około 100 t rocznie należy przewidzieć kredyty inwestycyjne w wysokości stu kilkudziesięciu milionów złotych na budowę odpowiedniego zakładu produkcyjnego, przy czym na samą tylko platynę trzeba przeznaczyć kwotę rzędu stu milionów złotych. Tu należy przypomnieć rzuconą w Departamencie Techniki MPM myśl o możliwości zastąpienia platyny spiekami.

6. Aktualne zagadnienia związane z produkcją.

Produkcja włókna i przędzy jest ograniczona w obecnym stanie rzeczy ze względu na surowce i urządzenia produkcyjne. Asortyment przędzy z doświadczalnej produkcji obejmuje dwie numeracje: 90 m/g(180-1/2) oraz 45 m/g(180-1/4). Numeracja ta z jednej strony wynika z technologii snucia, z drugiej zaś strony jest nastawieniem na dostawy przede wszystkim dla przemysłu kablowego, który najczęściej stosuje przędzę szklaną tych numerów. Zagadnieniem bardzo pilnym przy uruchomieniu na większą skalę produkcji przędzy szklanej dla potrzeb przemysłu kablowego jest sprawa doboru odpowiedniej szlichty. Praktyka kablowa w kraju wykazała znaczne różnice pomiędzy przędzą z dostaw francuskich a dostaw czeskich. Niezależnie od różnicy w składzie stosowanego szkła jakość szlichty powodowała, że przy tych samych warunkach przerobu przędza czeska pyliła znacznie silniej od francuskiej.

Równolegle z tym zagadnieniem należałoby zwrócić uwagę na stosowanie najkorzystniejszego skrętu przędzy. Wymagania w tym kierunku powinny biec dwoma torami, dzieląc jednocześnie produkcję na przędzę o jak największym skręcie dla potrzeb przemysłu produkującego wyroby tkane oraz na przędzę o jak najmniejszym skręcie dla potrzeb przemysłu kablowego, przed którym już obecnie stoi zadanie obniżenia przyrostu izolacji drutów nawojowych.

Prawidłowa produkcja włókna szklanego powinna opierać się na kontrolowanym procesie technologicznym. Kontrola procesu snucia sprowadza się — według dotychczasowych wiadomości — do kontroli temperatury łódki, ilości szkła w łódce oraz szybkości wyciągania włókien z filier. Parametry powyższe można kontrolować i regulować stosunkowo prostymi metodami i typowymi urządzeniami pomiarowymi. Szczególnie ważna i konieczna jest stała kontrola temperatury, zwłaszcza przy snuciu włókien ze szkła borowego, którego lepkość zmienia się bardzo silnie z temperaturą. Osobnym przy tym problemem, rozwiązanym częściowo przez Politechnikę Łódzką, jest zagadnienie regulacji temperatury rzędu 1100—1400°C w granicach ± 2,5°C, a więc w granicach około ± 0,2%.

Poza kontrolą procesu technologicznego należy poruszyć sprawę kontroli międzyoperacyjnej i końcowej, która w obecnym etapie produkcji doświadczalnej właściwie nie istnieje. Sprawa ta może być stosunkowo szybko załatwiona na podstawie wykonanej w ciągu 1953 r. pracy Instytutu Włókien Sztucznych, zawierającej obok bogatego materiału porównawczego ustaloną metodykę oznaczeń podstawowych cech włókna szklanego (średnica, elastyczność, wytrzymałość na rozciąganie). Metodyka ta powinna znaleźć jak najszersze zastosowanie przy ocenie własności włókien szklanych produkcji krajowej.

Produkcja wyrobów tkanych. W tej dziedzinie sytuacja przedstawia się znacznie korzystniej w porównaniu z omawianą poprzednio. Krajowy przemysł lekki jest zdolny do podjęcia w najkrótszym czasie produkcji wyrobów tkanych z włókna szklanego. Podstawy do tego stworzyły prace wykonywane w Politechnice Łódzkiej i Instytucie Włókiennictwa oraz próby w Laboratorium Przemysłu Jedwabniczego, koordynowane przez IEl.

Najaktualniejszym zagadnieniem w tej dziedzinie jest możliwie szybkie rozpoczęcie produkcji na podstawie dokumentacji tkania płócien, opracowanej w Zakładzie Tkactwa Politechniki Łódzkiej.

Produkcja wyrobów tkanych nasycanych jest uzależniona od uruchomienia omawianego poprzednio asortymentu płócien i koszulek (plecionek). Technologia produkcji nasycanych wyrobów tkanych z włókna szklanego nie różni się w zasadzie od znanej i obecnie stosowanej technologii produkcji ceratek i koszulek izolacyjnych bawełnianych lub jedwabnych. Pewną trudnością będzie sprawa cięcia ceratek szklanych na taśmy, co należy uwzględnić już przy pierwszych próbach przed rozpoczęciem właściwej produkcji.

Przy produkcji koszulek nasycanych należy zwrócić uwagę na dobór odpowiedniej substancji usztywniającej plecionkę (dla nadania jej odpowiedniego kształtu rurki). Pewnym doświadczeniem rozporządza już w obecnej chwili Laboratorium Przemysłu Jedwabniczego przy tzw. wykańczaniu tkanin szklanych.

7. Zagadnienia technologiczne w przemyśle elektrotechnicznym.

Z poszczególnych działów przemysłu elektrotechnicznego jedynie przemysł kablowy zajmuje się dalszym przerobem włókna szklanego. Pozostałe wyroby, nie należące do zakresu produkcji przemysłu kablowego, jak ceratki, koszulki i laminaty, mogą być obecnie wytwarzane w zakładach przemysłu chemicznego (przemysł tworzyw sztucznych).

W przemyśle kablowym włókno szklane jest stosowane w postaci przędzy. Pomimo trwającej od kilku lat ciągłej produkcji drutów nawojowych o izolacji szklanej jakość wyrobów nie stoi na należytym poziomie. Wskutek niewłaściwej obecnie stosowanej technologii izolowania drutów nawojowych otrzymuje się zbyt duży przyrost grubości izolacji. Literatura zagraniczna podaje następujące sposoby dla osiągnięcia właściwej jakości drutów nawojowych w izolacji szklanej: a) obniżenie liczby skrętów przędzy ze stosowanych obecnie 180—200 skr./m, na 60—80 skr./m, b) stosowanie przędzy z włókien szklanych o średnicy poniżej 5 μ.

Osobnym zagadnieniem do rozważenia jest sprawa doboru oraz technologii użytkowania lakierów izolacyjnych, sprawa ta wybiega jednak poza ramy niniejszego referatu.

W związku z produkowanym asortymentem drutów nawojowych większych wymiarów należy poruszyć problem oprzędzania drutów cienkich o średnicy poniżej 0,7 mm. Należy również opracować technologię izolowania przewodów włóknem szklanym; przykładem może być opracowanie za granicą niepalnej izolacji przewodów do urządzeń grzejnych przez wprowadzenie oprzędu szklanego jako izolacji poszczególnych żył, przędzy szklanej typu „Angora" do wypełnienia przekroju oraz oplotu z przędzy szklanej na zewnątrz przewodu.

Na marginesie zagadnień technologicznych należy jeszcze zwrócić uwagę na nieuniknione dotychczas pylenie przędzy

podczas jej przerobu w przemyśle zarówno kablowym, jak i włókienniczym. Nie znamy jeszcze w naszych zakładach żadnych wypadków schorzeń zawodowych na tym tle. Niektóre publikacje zagraniczne podają, że włókna szklane o średnicy 5 μ i niżej nie działają szkodliwie. Zdjęcia rentgenowskie miały przy tym wykazać brak wszelkich zmian w płucach i drogach oddechowych u ludzi narażonych stale na wdychiwanie pyłu z włókien szklanych. W związku z tym podobno w Szwajcarii nie żąda się już przy pracach tkackich ani wyciągów, ani rękawic ochronnych, zauważono natomiast, że włókna szklane grubości około 20 μ przebijają już naskórek i mogą w ten sposób spowodować chorobliwe zmiany.

8. Zagadnienia normalizacyjne.

Stan obecny. Jak już nadmieniono, opracowane zostały warunki techniczne na przędzę i włókno szklane oraz metody badań włókna szklanego. Powyższe opracowania służą obecnie tylko do oceny produkcji doświadczalnej; ze względu na brak doświadczenia w kraju nie mają one jeszcze formy normy właściwej. Z rozpoczęciem importu przędzy szklanej z Czechosłowacji otrzymano tamtejsze wymagania w postaci normy państwowej ČSN 709270. Wyroby oparte na włóknie szklanym i importowane dla przemysłu elektrotechnicznego przeznaczone były do produkcji wyrobów opartych na dokumentacji licencyjnej, która zawierała kompletne lub częściowe warunki techniczne na materiały, między innymi również oparte na izolacji szklanej. Tabl. I podaje orientacyjnie stan posiadania w kraju dokumentacji normalizacyjnej na włókno szklane i wyroby z niego.

Tablica I. Dokumentacja normalizacyjna na włókno szklane i wyroby z niego

Materiał	Zakres normy	Kto opracował
Włókno szklane	projekt wymagań	IEl
	metody badań	IWSS
	projekt wymagań	CZPWłSzt; WT-53/ /MPCh-WS-8
Przędza szklana	wymagania i metody badań	ZSRR, WT 26-53; CSN 709270
Tkanina szklana	„	ZSRR, WT E 181-47
Koszulki szklane	„	ZSRR, MLP WT-1503-43
Taśma szklana	„	ZSRR, GOST 5937-51
Ceratki szklane	„	ZSRR, WT-57
Izolacja szklana drutów nawojowych	„	ZSRR, GOST 7019-54

Zadania normalizacyjne. Wobec istniejącej produkcji doświadczalnej i dostaw importowych należy:

a) przyjąć normę czeską ČSN 709270 jako warunki techniczne, uzupełniając je sprecyzowaniem wymagań, dotyczących poszczególnych gatunków przędzy, oraz wprowadzić metodykę kontroli własności włókien szklanych według opracowań Instytutu Włókien Sztucznych;

b) przyjąć normy radzieckie na wyroby tkane z włókna szklanego również jako warunki techniczne;

c) przyjąć jako warunki techniczne normę radziecką na izolację szklaną drutów nawojowych;

d) opracować warunki techniczne na wybrany zestaw szkła krajowego dla włókna szklanego.

Metody badań. Poruszane wyżej kilkakrotnie metody dotyczą kontroli fizyko-mechanicznej włókien szklanych i wyczerpują w zasadzie wszystkie interesujące użytkownika cechy: średnicę włókna, jego elastyczność (łamliwość) i wytrzymałość na rozciąganie. Zastosowana ocena statystyczna uzupełnia całkowicie obraz liczbowy wyników pomiarowych.

Dla przędzy z włókna szklanego brak jeszcze wystarczającego podkładu laboratoryjnego. Oprócz badań IEl, związanych z oceną jakości przędzy krajowej i zagranicznej, wykonywano również doraźnie pomiary własności fizyko-mechanicznych w Instytucie Włókien Sztucznych w Politechnice Łódzkiej.

Metody badań przędzy szklanej nie różnią się wiele od odpowiednich metod ujętych w normach państwowych na przędze bawełniane i jedwabne (numer metryczny, skręt, wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie); dodatkowymi i nietypowymi dla tych norm będą stosowane przez IEl i IWS oznaczenia zawartości szkła w przędzy oraz własności jej po starzeniu. Również nową i nie spotykaną jeszcze w normalizacji metodą może być sposób określania oporności izolacji przędzy, opracowany i stosowany w pracach IEl.

Nie ma obecnie żadnych wątpliwości co do badania tkanin, taśm i koszulek (plecionek) w stanie zarówno surowym jak i nasyconym bądź lakierami, bądź żywicami, ponieważ stosowane są odpowiednie metody według norm radzieckich. Podobna sytuacja istnieje w zakresie metod badania drutów nawojowych w izolacji szklanej.

Nie można jednak opierać się jedynie na samych metodach; przed nadaniem im wymagań należy posiadać odpowiedni podkład laboratoryjny, który konfrontowany z wynikami prób i obserwacji danego materiału w warunkach eksploatacyjnych potwierdzić może słuszność adaptacji.

9. Dezyderaty przemysłowe.

A. Pod adresem przemysłu włókien sztucznych

a) Wprowadzenie w najkrótszym czasie obowiązujących wymagań na produkowaną przędzę szklaną.

b) Opanowanie produkcji przędzy szklanej, początkowo w ograniczonym zakresie numerów (proponowane dwa numery przędzy — 90 i 45 m/g), przez kontrolę dostaw surowców do produkcji włókna, przez kontrolowany proces technologiczny snucia włókna, przez kontrolę międzyoperacyjną i końcową.

c) Zapewnienie ciągłości i jednolitości dostaw szkła krajowego.

d) Prowadzenie doświadczalnej produkcji w zakresie przędzy niestandartowej w kierunku poprawy jakości szlichty, doboru najkorzystniejszego skrętu dla potrzeb przemysłu kablowego, doboru najkorzystniejszego skrętu do celów tkackich, obniżenia grubości włókna początkowo w zakresie szkła przeznaczonego do produkcji standartowej, rozszerzenia w możliwie najkrótszym czasie zakresu produkcji dla pełnego pokrycia potrzeb przemysłu elektrotechnicznego.

B. Pod adresem przemysłu elektrotechnicznego

a) Szersze korzystanie z izolacji szklanej w przemyśle aparatów elektrycznych, szczególnie dla urządzeń przeznaczonych do pracy w górnictwie i w przemyśle chemicznym.

b) Zbieranie materiału statystycznego dotyczącego wskaźników eksploatacyjnych maszyn i urządzeń, w których zastosowano izolację szklaną, ze szczególnym uwzględnieniem tych, w których zastosowano materiał krajowy.

c) Poprawa jakości drutów nawojowych w izolacji szklanej.

d) Normalizacja wyrobów przemysłu kablowego, w których zastosowano izolację szklaną.

10. Tematy prac badawczych.

a) Zagadnienie starzenia się izolacji szklanej przy uwzględnieniu składu szkła zastosowanego do wyrobu włókna oraz wpływu czynników zewnętrznych (graniczne temperatury, wilgoć, atmosfera tropikalna).

b) Ustalenie wpływu pyłu, powstającego podczas przeróbki włókna szklanego, na organizm ludzki i opracowanie środków profilaktycznych w przypadku stwierdzenia jego szkodliwości.

LITERATURA

Kitajgorodski A. Tiechnołogia stiekła (Promstrojizdat, 1951)

Asłanowa S. Wołokno, niti i tkani iz stiekła (Gizlegprom, 1945)

Zak A. F. Faktory opriedielajuszczije procznost' stieklannogo wołokna (Żurn. Tiechn. Fiziki, 1952, 10)

Priwiezientcew W. A. Obmotocznyje prowoda (Gosenergoizdat, Moskwa, 1952)

Tengstrand C. A. The Use of Glas as an Insulating Material in Electr. Machines (ASEA Journal, 1951, 8—9)

Oburger W. Die Glasfaserisolation für thermisch hochbeanspruchte elektr. Maschinen (Elektr. u. Maschinenbau, 1949, 7)

Artbauer J. Novinki z kabelnoj literatury VUKI/121, Bratislava, Roc. VI)

Zawadzki A. Porównanie własności fizycznych różnych typów włókien szklanych (Sprawozd. z pracy Inst. Włók. Sztuczn. i Syntet., 1954)

Bielawski Z. i Zawadzki A. Włókno szklane (Przem. Chem., 1953, 8)

Winkler J. Izolacja oparta na włóknie szklanym (Prace Inst. Elektr. 1954, 1)

MGR INŻ. A. ZAWADZKI
Inst. Włók. Sztuczn. i Syntet.

Stan prac nad jedwabiem szklanym i perspektywy jego produkcji w kraju

666.15:677.48:677.4.002.69:621.7(438

Treść. Rodzaj i przebieg prac doświadczalnych nad jedwabiem szklanym IWSS-u oraz perspektywy dalszych badań. Problemy ekonomiczne i organizacyjne związane z rozwojem polskiego przemysłu tekstylnych włókien szklanych.

Włókno szklane jest już obecnie rozpowszechnionym na świecie materiałem elektroizolacyjnym. Spowodowały to jego własności: odporność na wysokie temperatury, stosunkowo duża przewodność cieplna, mała higroskopijność i nieuleganie pęcznieniu, znaczna odporność chemiczna, bardzo duża wytrzymałość na rozerwanie.

Do izolacji elektrycznej nadaje się tylko tekstylne włókno szklane o grubości < 10 μ, a przede wszystkim jedwab szklany o średnicy elementarnego włókna 5—6 μ, który wytwarza się przez wyciąganie włókien z dysz łódki platynowej ogrzewanej prądem (ciepłem Joule'a).

Krajowe fabryki maszyn elektrycznych stosują do izolacji jedwab szklany, tkaniny, taśmy i koszulki — importowane: radzieckie, francuskie, czeskie i angielskie.

W Polsce przystąpiono do uruchomienia produkcji jedwabiu szklanego w 1948 roku, jednak w ciągu kilku lat nie osiągnięto zadowalających wyników. Wówczas powierzono to zadanie przemysłowi włókien sztucznych, który po uzyskaniu danych z ČSR i po przeprowadzeniu własnych badań rozpoczął w połowie ubiegłego roku produkcję doświadczalną jedwabiu szklanego do celów elektrotechnicznych.

Odpowiednio do charakteru konferencji referat niniejszy przedstawia użytkownikom szereg zagadnień z technologii krajowych włókien szklanych do izolacji elektrycznej, opracowanych lub wymagających rozwiązania, i porusza dodatkowo związane z nimi problemy ekonomiczne i organizacyjne. Ma on być podstawą do dyskusji nad wytyczeniem dalszych dróg rozwoju polskiego przemysłu tekstylnych włókien szklanych.

Produkcja doświadczalna została zorganizowana w Łódzkich Zakładach Włókien Sztucznych. Projektuje się jej rozwinięcie do skali niewielkiego zakładu. W obecnej chwili wytwarza się tu jedwab ze szkła typu „palex", dostarczonego z ČSR, oraz krajowego również średnioalkalicznego o dużej odporności chemicznej. Istnieją możliwości lokalne zwiększenia produkcji jedwabiu drogą uzupełniających inwestycji. Import roczny materiałów szklanych dla potrzeb przemysłu maszyn elektrycznych i kablowego jest rzędu kilkudziesięciu ton. Trzeba zaznaczyć, że jest to ilość bardzo mała, ograniczona trudnościami dewizowymi, i znacznie wzrośnie w dalszych latach. W Polsce projektowano rozbudowę własnej produkcji jedwabiu szklanego do takich granic, aby całkowite zapotrzebowanie przemysłu elektrotechnicznego było pokryte w roku 1960. Można przyspieszyć i rozszerzyć tę produkcję przy pomocy ZSRR, do czego konieczna jest decyzja PKPG.

W związku z próbą produkcji krajowej powstały poważne zadania przed polskimi ośrodkami badawczymi, wszystkie bowiem stadia produkcji — wytopy szkła, snucie włókna, przeróbka przędzy na nici, tkanie i dalsze — wysuwają wiele tematów wymagających opracowania.

Zakład Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki we Wrocławiu pierwszy podjął wstępne badania nad włóknem szklanym i przędzą oraz nad drutami w oprzędzie różnego pochodzenia. Z punktu widzenia producenta zastosowane metody wymagały znacznego pogłębienia i rozszerzenia oraz należało się zająć szeregiem dalszych zagadnień. Dlatego na polecenie C. Z. Przem. Wł. Szt. utworzono w 1953 roku w Instytucie Włókien Sztucznych i Syntetycznych zespół włókna szklanego. IEl oraz IWSS — instytucje najbardziej związane z produkcją — ustaliły wówczas zakres wzajemnej współpracy. IWSS prowadzi prace związane z produkcją włókna szklanego, IEl — z technologią użytkowania wyrobów włókna szklanego i jego własnościami elektroizolacyjnymi.

Niżej przedstawiono tylko przebieg prac IWSSu, pomijając z konieczności duży wkład organizacyjny i dorobek doświadczalny IElu. Na marginesie wspomina się też o działalności innych ośrodków współpracujących.

W Instytucie Włókien Sztucznych i Syntetycznych — w Zakładzie Włókien Sztucznych — w Łodzi po przeanalizowaniu potrzeb stacji doświadczalnej wykonano najpierw pracę pod tytułem „Porównanie własności fizycznych różnych typów włókien szklanych" celem ustalenia podstawowej metodyki badania włókien. Opracowanie metodyki umożliwia prawidłową kontrolę jakości włókien, potrzebną do wyciągania wniosków z prób na stacji doświadczalnej, jak również przy ekspertyzie jedwabiu szklanego sprowadzanego z zagranicy. Metoda nadaje się do zastosowania przy ocenie dowolnego rodzaju włókien szklanych. Zebrano obszerne publikacje dotyczące własności fizycznych tekstylnych włókien szklanych. Opracowano metodykę pomiaru podstawowych własności włókien — grubości, wytrzymałości na zerwanie w warunkach normalnych, po działaniu wody i po prażeniu oraz łamliwości. Wybrane metody sprawdzono, wykryto ich braki i przeanalizowano związane z nimi zagadnienia. Zastosowano sposób oceny wyników pomiarów oparty na statystyce matematycznej i rachunku prawdopodobieństwa. Wykonano odpowiednie pomiary włókien szklanych ciągłych — francuskich, czeskich i produkowanych na stacji doświadczalnej. Obliczano średnią arytmetyczną, nierównomierność i średni błąd przy prawdopodobieństwie 95%. Badano niezbędną liczbę pomiarów. Uzyskano powtarzalność wartości średnich.

Grubość. Wykonano pomiary porównawcze dwu sposobami — mechanicznym i optycznym. Dogodniej jest określać grubość pod mikroskopem; bezpośrednio potem oznacza się wytrzymałość włókna na zerwanie. Doświadczalnie ustalono, że wiarogodny odczyt osiąga się przy całkowicie otwartej przysłonie kondensatora mikroskopu, przy jego niewielkim oddaleniu od stolika i przy średnim powiększeniu. Pozostałe warunki nie wpływają specjalnie na wyniki. Stosowano powiększenie ok. 500. Aby usunąć podstawy do zakładania bardzo dużego błędu systematycznego odczytu, posługiwano się nasadką okularową 15× z ruchomym krzyżem (jedna podziałka skali bębna 0,2 μ przy powiększeniu 625). Wyniki uzupełniono wszechstronnymi pomiarami Głównego Urzędu Miar — działu naukowo-metrologicznego. Stwierdzono, że dokładność pomiaru wynosi ± 0,5 μ. Średnica włókien oznaczona pod mikroskopem była mniejsza od danych G. U. M. o 1 μ. Zagadnienie pomiaru grubości nie zostało wyczerpane.

Wytrzymałość na zerwanie. Oznaczono ją na zrywarce Schoppera w znany sposób. Włókna naklejano na ramkach papierowych. Długość zrywania 10 mm, czas 20 sec. Odchylenia wytrzymałości średniej dla włókna francuskiego mieszczą się w granicach wynikających ze średniego błędu przypadkowego. Wielkość tego błędu przy 100 pomiarach nie przekracza granicy dobrej dokładności. Włókna ze szkła czeskiego produkowane w kraju wykazały wytrzymałość właściwą lepszą od czeskich importowanych i zbliżoną do francuskich. Nierównomierność włókien krajowych jest nieco większa niż francuskich.

Wytrzymałość po ługowaniu wodą. Włókna odszlichtowane zanurzano w wodzie destylowanej na 30 min. Po wysuszeniu w temperaturze pokojowej badano ich wytrzymałość i nie stwierdzono zmian. Po dłuższym czasie obserwuje się wyraźny spadek wytrzymałości włókien znajdujących się w wodzie zależny od ich średnicy. Prawdopodobnie ujawnia się tu wpływ napięcia powierzchniowego woda — szkło.

Wytrzymałość po działaniu wyższych temperatur. Próbki włókien prażono w piecu na płytce porcelanowej w temperaturze 350°C przez 5 godzin. Minimalny czas prażenia należy ustalić; jest on rzędu 2 godzin. Obniżenie wytrzymałości włókna francuskiego w warunkach doświadczenia jest dostatecznie wyraźne. Włókno czeskie wykazuje znacznie większy spadek wytrzymałości. Szkło francuskie ma małą zawartość tlenków alkalicznych, a szkło czeskie — średnią. Włókna ze szkła małoalkalicznego wykazują lepszą odporność termiczną niż ze szkła średnioalkalicznego.

Łamliwość. Oznaczano ją przez pomiar najmniejszej średnicy pętli, którą można utworzyć z włókna szklanego przez ściąganie obu końców aż do pęknięcia pętli. Próby wykonano pod mikroskopem przy powiększeniu 60-krotnym na włóknach długości ponad 40 mm. Oznaczano wielkość średnicy pętli w chwili pękania włókna, tzw. D_{min}. Określano średnicę włókna w pobliżu złamania. Obliczano odpowiednie wartości średnie dla minimalnej pętli i stosunek D/d. Uzyskano powtarzalność wyników przy pomiarach włókna francuskiego. Błąd przy 50 pomiarach jest blisko dwukrotnie większy w stosunku do danych autora metody — Kocha. Wielkość pętli i iloraz D/d jest niższy od podawanego w publikacjach. Nie po-

twierdzono niekorzystnego wpływu alkalii na wielkość pętli, natomiast uzyskano zgodne wyniki w zakresie wzrostu pętli w miarę powiększania grubości włókna. Swierdzono, że najbardziej gładkie są włókna czeskie i ze szkła czeskiego. Ustalono, że czas zaciągania pętli ma wpływ na wielkość minimalnej pętli przy pękaniu. Szczegółowe wyniki badań są do wglądu w IWSS. Na włóknach importowanych i krajowych potwierdzono dane podawane w literaturze.

Zagadnieniami własności elektroizolacyjnych zajmuje się w dalszym ciągu Zakład Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki.

Dalszym tematem IWSS było opracowanie metod badania jedwabiu szklanego. Z zebranej obszernej literatury, poświęconej własnościom jedwabiu szklanego, wybrano oznaczenia możliwe do wykonania na aparaturze pomiarowej stosowanej w Polsce, a jednocześnie wystarczające do scharakteryzowania materiału. Metody pomiarów w dużym stopniu przypominają powszechnie używane przy charakterystyce innych jedwabi i dlatego zadanie było łatwiejsze w porównaniu z pierwszym.

Określa się następujące cechy: 1) numer metryczny, 2) wytrzymałość na zerwanie, 3) wydłużenie, 4) liczbę skrętów, 5) grubość włókna elementarnego. 6) zawartość szkła, 7) rodzaj szkła, 8) rodzaj preparacji, 9) zrywy w nitce. W sposobach przeprowadzenia wymienionych pomiarów istnieją rozbieżności. Ustalono doświadczalnie najbardziej odpowiednie warunki pracy. Wykonano szereg równoległych oznaczeń z jedwabiami importowanymi — francuskim i czeskim. Opracowanie wyników analogiczne jak w zagadnieniach z włóknami.

Rezultaty porównano z odpowiednimi danymi w normach i uzupełniono badaniami jedwabi krajowych:

1) Numer metryczny oznacza się tak samo, jak dla każdego jedwabiu na motaku; wykonuje się 10 prób po 100 m; waży się bezpośrednio lub po odszlichtowaniu.

2) Wytrzymałość i wydłużenie wyznacza się na zrywarce; szczęki wykłada się papierem; długość zrywania 500 mm; czas zrywania 10 sec; liczba pomiarów 50—75; przędza musi mieć zryw gładki, a nie miotełkowaty.

3) Liczbę skrętów znajduje się metodą odkręcania do równoległości; obciążenie wstępne.

4) Sposób pomiaru grubości włókna elementarnego zamieszczono.

5) Próbkę klimatyzowaną po zważeniu praży się w temperaturze 500°C (zależnie od rodzaju apretury) do stałego ciężaru, z różnicy mas przed ważeniem i po ważeniu oblicza się ilość szkła.

6) Rodzaj szkła — analiza chemiczna składu szkła z włókien odszlichtowanych.

7) Średnią ilość zrywów w nitce można obliczyć z odchylenia numeru metrycznego rzeczywistego od wynikającego z grubości włókna elementarnego i liczby włókien w nitce.

IWSS zajmuje się poza tym dobieraniem składu szkła borowego na jedwab. Szkła zastosowane na włókna można podzielić na alkaliczne, średnioalkaliczne — odporne chemicznie oraz małoalkaliczne. Jedwab szklany do izolacji elektrycznej wytwarza się ze szkła możliwie wolnego od alkalii. Włókna ze szkła tzw. bezalkalicznego są najbardziej trwałe i wykazują najlepszą zdolność izolacji elektrycznej w różnych warunkach (wilgoć, podwyższona temperatura). Szkła bezalkaliczne są trudnotopliwe; cechuje je wąski zakres temperatur, w których można je formować. Opracowuje się szkła średnio- i małoalkaliczne, mające wydłużoną krzywą lepkości, a temperaturę snucia oddaloną od temperatury krystalizacji. Tabl. I podaje skład szkła stosowanego na jedwab do elektroizolacji.

Szkła średnioalkaliczne typu „palex" są łatwiejsze do przerobu na jedwab niż prawie bezalkaliczne, których lepkość ogromnie zmienia się z temperaturą.

W stacji doświadczalnej przerabia się na włókna szkła średnioalkaliczne. Opracowuje się szkła tego samego typu co czeskie — dla uniezależnienia się od importu — przy współudziale technologów szkła. Zbadano szereg typów szkła i ustalono skład najlepszy do snucia na włókna; ustalono warunki przerobu. Produkcję szkła w kulkach przejmuje w roku bieżącym krajowy przemysł szklarski. Instytut Elektrotechniki (Zakład Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego we Wrocławiu) kieruje pracami nad uruchomieniem produkcji tkanin, taśm i koszulek z włókna szklanego. Jedwab importowany, jak i krajowy, przerabia się na tkaniny o dowolnej gramaturze w Zakładzie Tkactwa Politechniki Łódzkiej i w Laboratorium Jedwabniczym w Łodzi.

Według oceny ogólnej stacja doświadczalna produkuje jedwab szklany o jakości dorównującej czeskiemu. Przemysł maszyn elektrycznych powinien określić przewidywane zapotrzebowanie wytwarzanych materiałów w celu ustalenia wielkości i uruchomienia produkcji przemysłowej.

Technologia tkania pozostałych materiałów jest w opracowaniu. Przygotowuje się normy na jedwab szklany, druty nawojowe w izolacji z włókna szklanego oraz pozostałe wyroby.

Własności produkowanego jedwabiu szklanego. Grubość elementarnego włókna szklanego:
średnia grubość 5 ÷ 6 μ,
nierównomierność $V = 20\%$,
błąd średniej grubości $p = 4{,}0\%$,
liczba pomiarów $N = 100$.

Wytrzymałość na rozciąganie włókna elementarnego:
średnia grubość 5 ÷ 6 μ,
średnia wytrzymałość 3,0 ÷ 3,5 g,
nierównomierność $V = 40\%$,
błąd średniej grubości $p = 10\%$,
średnia wytrzymałość właściwa 140 kg/mm^2,
wydłużenie 0 ÷ 2%,
liczba pomiarów $N = 50$.

Łamliwość elementarnego włókna szklanego:
średnia grubość włókna $d = 5 \div 6$ μ,
średnica pętli $D = 100$ μ
nierównomierność $V = 30{,}0\%$,
błąd średniej grubości $p = 8{,}0\%$,
stosunek $D/d = 14 \div 20$,
liczba pomiarów $N = 50$.

Wytrzymałość po prażeniu elementarnego włókna szklanego:
średnia grubość 5 ÷ 6 μ,
średnia wytrzymałość właściwa 50 kg/mm^2,
względny spadek wytrzymałości 75%.

Charakterystyka przędzy szklanej podana jest w tabl. II. Przędza szklana o grubości 5 ÷ 6 μ włókna elementarnego winna odpowiadać następującym wymaganiom:
a) minimalna samorozerwalność 25 km,
b) dopuszczalna nierównomierność skrętu na 1 m ± 20%,
c) wydłużenie 0 ÷ 2%,
d) zawartość wilgoci do 2%.

Przędzę szklaną klasyfikuje się na gatunki zależnie od liczby zerwanych włókien elementarnych według schematu: gatunek I — 5% zrywów, gatunek II — 7% zrywów, gatunek III — 10% zrywów. Za podstawę obliczeń bierze się wiązkę 100-włókienkową z pominięciem 2 włókienek ze skrajnych dysz.

Perspektywy dalszych prac. Po wprowadzeniu krajowego szkła średnioalkalicznego typu czeskiego „palex" opracuje się szkło wysokogatunkowe tzw. bezalkaliczne i wprowadzi je do produkcji. Ogromnie ważnym zagadnieniem — dotychczas mało wyjaśnionym — jest zjawisko starzenia się włókien szklanych przędzy i izolacji szklanej. Obserwowany spadek wytrzymałości włókien szklanych może być wynikiem zmian chemicznych powierzchniowych i zmian strukturalnych w warstwach głębszych. Przy przędzy uwzględnić

Tablica I. Skład szkła do wyrobu jedwabiu elektroizolacyjnego (%)

Rodzaj szkła	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	ZnO	MnO	TiO_2
Francuskie	54,17	10,68	14,10	0,39	15,42	4,80	0,53	0,30	—	—	—
Czeskie (importowe)	70,23	6,65	3,77	0,15	4,28	2,59	8,62	0,40	3,35	—	—
Radzieckie	54,0	10,0	14,0		16,0.	4,0	2,0	—	—	—	—
Niemieckie	53,62	9,63	12,90	—	16,69	4,56	—	2,80	—	—	—
Amerykańskie	50,12	10,47	13,46	0,18	16,48	4,12	4,39	0,53	—	—	0,25
Amerykańskie wysokoborowe	52,75	14,51	13,48	0,13	15,44	3,68	—	—	—	—	—
Japońskie	54,41	—	11,07	0,80	16,78	7,21	—	—	—	9,83	—

Tablica II. Charakterystyka przędzy szklanej

Rodzaj jedwabiu	Liczba włókien elementarnych	Grubość włókna (μ)	Numer metryczny		Ilość szlichty	Liczba skrętów na 1 m
			Wartość średnia	Nierównomierność		
Px-5/180/1/0	100	5	180	± 10	5—7	1002
Px-5/180/1/2	200	5	90	± 10	5—7	1002/90S
Px-5/180/1/4	400	5	45	± 10	5—7	1002/90S
Px-5/180/1/6	600	5	30	± 10	5—7	1002/90S
Px-5/180/2/4	800	5	22,5	± 10	5—7	1002/90S
Px-6/144/1/0	100	6	144	± 10	5—7	1002
Px-6/144/1/2	200	6	72	± 10	5—7	1002/90S
Px-6/144/1/4	400	6	36	± 10	5—7	1002/90S
Px-6/144/1/6	600	6	24	± 10	5—7	1002/90S
Px-6/144/2/4	800	6	18	± 10	5—7	1002/90S

trzeba dodatkowo rozkład szlichty łączącej włókna elementarne, a przy izolacji — starzenie lakieru. Problem starzenia ma niewątpliwie duży wpływ na wybór składu szkła na włókna. Jest umieszczony w planie prac szczególnie ważnych PAN.

Po uzyskaniu potrzebnego szkła ustali się wszystkie parametry procesu technologicznego tak, aby wytworzone włókno w niczym nie ustępowało najlepszym materiałom zagranicznym. Jednocześnie dążyć się będzie do zautomatyzowania produkcji i obniżenia kosztów wytwarzania jedwabiu. W zakres tego zamierzenia wejdzie m. in. modyfikacja kształtu łódki, samoczynne regulowanie temperatury łódki z dokładnością ± 2,5°C, utrzymywanie stałego poziomu szkła w łódce i zastąpienie jej elektrycznego ogrzewania gazowym.

Trwają prace nad uzyskaniem preparacji włókien i przędzy szklanej. Dąży się do szlichty zdyspergowanej w wodzie organicznej, a w dalszym etapie do sylikonowej. Dotychczas pokrywa się włókna przy snuciu roztworem trójchloroetylenu, zawierającym mały procent kalafonii, oleju lnianego i stearyny. Dąży się do wprowadzenia specjalnego zespołu maszyn do odbierania, przewijania, skręcania i łączenia przędzy szklanej.

Jeżeli uwzględnić asortyment tekstylnie cienkich włókien szklanych za granicą, to powinniśmy produkować obok jedwabiu włókno cięte o ogromnych możliwościach zastosowania w postaci luźnej i tkanin oraz włókno „niskomikronowe" (poniżej 1 μ).

Tekstylne włókno cięte wytwarza się przez wydmuchiwanie z dysz łódki platynowej. Metoda jest bardzo wydajna, dzięki czemu włókno jest tanie i dostępne nawet dla przemysłu budowlanego.

Włókno „niskomikronowe" uzyskuje się drogą specjalnego procesu technologicznego polegającego na rozciąganiu dwuetapowym. Papier z tych włókien produkuje się w Anglii na drodze przemysłowej od 1952 r.; znajduje on zastosowanie w przemyśle elektrotechnicznym, chemicznym i w kartografii. Na naszej konferencji materiałoznawczej należałoby przedyskutować również potrzebę uruchomienia krajowej produkcji tych artykułów.

Największe doświadczenie w dziedzinie produkcji tekstylnie cienkich włókien szklanych, do których należą wspomniane włókna — cięte i niskomikronowe, ma w Polsce przemysł włókien sztucznych. Opanowanie przez ten przemysł produkcji jedwabiu szklanego świadczy, że jest on dostatecznie przygotowany do podejmowania dalszych prac tego rodzaju. Instytut Włókien Sztucznych i Syntetycznych przystępuje w roku bieżącym do wstępnych prac nad włóknem ciętym na zlecenie B.K.P.Mot. Niewątpliwie PKPG powierzy uruchomienie produkcji włókien ciętych i niskomikronowych również przemysłowi włókien sztucznych.

MGR INŻ. JÓZEF BUCK
Inst. Elektr.Zakł. Materiałozn. Elektr.

Papiery i preszpany

627.315.614.6:621.7(438)

Treść. Rozwój i jakość polskiej produkcji papierów i preszpanów elektroizolacyjnych oraz fibry. Aktualne zagadnienia surowcowe i produkcyjne. Wnioski dotyczące dalszych badań oraz rozwoju produkcji.

I. PAPIERY IZOLACYJNE

1. Krótkie omówienie gatunków.

Tani surowiec, stosunkowo prosta metoda produkcji oraz bardzo dobre własności dielektryczne po wysuszeniu, odgazowaniu i nasyceniu syciwem stawiają papiery w rzędzie najszerzej stosowanych materiałów elektroizolacyjnych, szczególnie w zakresie wysokich napięć.

W zależności od zastosowania papiery elektroizolacyjne dzielą się na szereg gatunków, z których każdy musi odpowiadać innym wymaganiom technicznym, a więc musi być wytwarzany według odrębnego procesu technologicznego. W każdym z gatunków istnieje jeszcze duża różnorodność grubości. Ponieważ wymagania stawiane papierom elektroizolacyjnym są bardzo wysokie, a ich produkcja jest ilościowo niewielka w stosunku do globalnej produkcji przemysłu papierniczego, przeto przy produkcji tych papierów niezbędna jest szczególna staranność i uwaga ze strony przemysłu papierniczego.

Do najważniejszych gatunków papierów elektroizolacyjnych należą: a) papier do kabli elektroenergetycznych, b) papier do kabli telekomunikacyjnych, c) papier nawojowy, d) bibułka do taśmy mikowej, e) bibułka do oklejania blach, f) papier na materiały uwarstwione, g) bibułka kondensatorowa.

Ogólne wymagania stawiane wszystkim papierom elektroizolacyjnym są następujące:

1) surowiec — wyłącznie masa celulozowa z drzew iglastych wytwarzana metodą siarczanową;

2) barwa naturalna, powierzchnia równomierna — bez zmarszczek, fałd, pęknięć itp.;

3) przezrocze równomierne, bez prześwitów i widocznych okiem nieuzbrojonym otworów;

4) czystość — papier nie powinien zawierać zanieczyszczeń mechanicznych jak sadza, cząstki metalu, nierozmielone drewno, piasek itp.

Pozostałe własności fizyczno-chemiczne, mechaniczne i dielektryczne zależą od gatunku papieru.

Należy bliżej zatrzymać się na tych własnościach papierów, które są szczególnie ważne dla elektrotechniki, a przemysłowi papierniczemu nastręczają trudności przy produkcji.

Papier do kabli elektroenergetycznych jest wyrabiany o grubości 0,10 do 0,17 mm i ciężarze objętościowym powyżej 0,8 g/cm³. Dużą rolę w papierze kablowym odgrywają wytrzymałość na rozciąganie (samorozerwalność) oraz opór przedarciu, tj. te cechy, które gwarantują nakładanie izolacji na żyłę kabla bez naderwań i wystarczającą wytrzymałość mechaniczną izolacji w czasie układania gotowego kabla. Mała przepuszczalność powietrza (⩽ 50 ml/min), będąca miernikiem jednorodności budowy papieru, oraz stosunkowo duża wysokość wzniesienia oleju transformatorowego (⩾ 25 mm/godz.), zapewniająca właściwe nasycenie kabla syciwem, są własnościami, które nastręczają szczególne trudności produkcyjne, gdyż przeciwstawiają się sobie i wymagają starannego doboru stopnia zmielenia masy papierniczej.

Papier do kabli telekomunikacyjnych ma za zadanie izolować poszczególne żyły kabla przy zachowaniu możliwie najmniejszych i równomiernych pojemności między obwodami. Stąd też wynikają podstawowe cechy papieru telefonicznego: mały ciężar objętościowy, duża równomierność budowy, małe tolerancje grubości (± 5%) oraz mała nasiąkliwość wodą (⩽ 3 mm/10 min.). Poza tym wymagana jest duża odporność na skręcanie taśmy bez rwania się, gdyż papier ten jest także używany w postaci cienkiego kordelka w izolacji kabli telefonicznych. Papier telefoniczny wyrabia się w grubościach 0,06 do 0,17 mm, o ciężarze objętościowym poniżej 0,8 g/cm³.

Papiery nawojowe stosowane w produkcji maszyn elektrycznych i transformatorów służą jako izolacja drutów nawojowych, jako materiał podkładowy i pokrywający przy wyrobie materiałów mikowych oraz jako materiał do wyrobu izolacji miękkiej transformatorów olejowych. Ogólnie papiery nawojowe są zbliżone swymi własnościami do papierów kabli elektroenergetycznych; różnią się od nich grubością, która dla papieru nawojowego wynosi 0,02 do 0,07 mm. Obecność pęcherzy powietrznych pod papierem lub pomiędzy jego warstwami w maszynach elektrycznych powoduje niebezpieczeństwo powstawania jonizacji; aby go uniknąć należy nawijać izolację ściśle, co osiąga się przez stosowanie dużych

naciągów, które z kolei wymagają stosowania papierów o dużej wytrzymałości mechanicznej.

Bibułka do wyrobu taśmy mikowej. Najlepsza jest bibułka japońska produkowana z długowłóknistej celulozy z rośliny „kodzu"; czyni zadość wszystkim wymaganiom pod względem dużej nasiąkliwości, małego ciężaru objętościowego przy dużej wytrzymałości na rozciąganie w kierunku wzdłużnym i znacznej rozciągliwości. W ZSRR opracowano papier marki MK do produkcji taśmy mikowej z bawełny długowłóknistej, zastępujący w zupełności bibułkę japońską i niewiele ustępujący pod względem własności.

Bibułka do oklejania blach służy do izolacji blach transformatorowych i twornikowych; wymaga się od niej możliwie małej i równomiernej grubości (0,030 mm).

Papier na materiały uwarstwione w formie płyt — jest swą budową zbliżony do papieru kablowego. Wymagana jest struktura porowata (ciężar objętościowy $\leqslant$ 0,54 g/cm^3), zapewniająca dobre przesycenie papieru żywicą i równomierne własności wyrobu na całej grubości płyty.

Papier na materiały uwarstwione w formie rur — jest produkowany o grubości 0,05 do 0,07 mm. Ze względu na naciąg przy zwijaniu rur papier ten musi mieć zwiększoną wytrzymałość na rozciąganie, co związane jest z większym ciężarem objętościowym (0,75 g/cm^3) niż w przypadku papierów na płyty. Struktura jego nie różni się więc wiele od struktury papierów kablowych.

Bibułka kondensatorowa, produkowana w grubościach 0,005 do 0,024 mm, jest wyrobem najwyższej jakości wśród papierów elektroizolacyjnych. Do jej produkcji stosuje się celulozę specjalną najwyższej jakości i bardzo czystą wodę przy bardzo starannym przebiegu całego procesu produkcyjnego. Duże wymagania stawiane bibułce kondensatorowej tłumaczy się ciężkimi warunkami jej pracy, w szczególności dużym natężeniem pola elektrycznego, które przy 50 Hz prądu zmiennego dochodzi do 15 V/μ, a przy prądzie stałym do 90 V/μ. Z tych względów bibułka kondensatorowa musi mieć duży ciężar objętościowy (1,0 do 1,3 g/cm^3), małą przepuszczalność powietrza ($\leqslant$ 5 ml/min) oraz odznaczać się dużą czystością chemiczną.

2. Rozwój produkcji papierów elektroizolacyjnych w Polsce.

Przemysł papierniczy może poszczycić się poważnymi osiągnięciami w okresie 10-lecia Polski Ludowej, tym bardziej, że w okresie początkowym napotykał poważne trudności, z których niektóre istnieją jeszcze do dzisiaj.

Rozpoczęta po wojnie produkcja papierów kablowych miała szereg zasadniczych wad — zanieczyszczenia mechaniczne (piasek, sadza, nierozmielona miazga drzewna), nierównomierności budowy, dziurki, przepuszczalność powietrza. Zanieczyszczenia papieru sadzą były spowodowane tym, że Kaletańskie Zakłady Celulozowo-Papiernicze znajdują się w górniczym okręgu przemysłowym, gdzie zachowanie czystości, wymaganej przy produkcji papierów izolacyjnych, jest bardzo utrudnione. Problem ten będzie częściowo rozwiązany przez przeniesienie produkcji papierów kablowych do Krapkowickich Zakładów Celulozowo-Papierniczych, gdzie zainstalowano maszynę dwusitową. Maszyna ta powinna zapewnić wymaganą równomierność budowy oraz małą przepuszczalność powietrza. Na pomyślne rozwiązanie tej sprawy wskazują wyniki badań próbnej partii papieru kablowego z maszyny dwusitowej podane w tabl. I; dla porównania przytacza się również wyniki pomiarów dla krajowego papieru kablowego z maszyny jednositowej.

Tablica I. Wyniki badania papierów kablowych

Rodzaj badania	Papier produkowany na maszynie		Wymagania projektu PN/E-2700
	jednositowej	dwusitowej	
Grubość średnia (mm)	0,13	0,14	0,12±8%
Ciężar objętościowy (g/cm^3)	0,79	0,79	$\geqslant$0,8
Obciążenie zrywające:			
a) wzdłużne (kG)	15,8	16,0	$\geqslant$11,5
b) poprzeczne (kG)	8,7	7,9	$\geqslant$5,0
Wydłużenie:			
a) wzdłużne (%)	3,0	3,0	$\geqslant$2,0
b) poprzeczne (%)	5,9	7,5	$\geqslant$5,0
Opór przedarciu (G)	179	148	$\geqslant$120
Starzenie (%)	24	14	$\leqslant$30
Przepuszczalność powietrza (ml/min)	36	15	$\leqslant$50
Wysokość wzniesienia oleju transformatorowego:			
a) wzdłuż (mm/h)	29	25	$\geqslant$25
b) w poprzek (mm/h)	24	21	$\geqslant$21
Zawartość popiołu (%)	0,37	0,54	$\leqslant$1,0
pH wyciągu wodnego	7,8	7,4	7,0 do 8,5

Przepuszczalność powietrza dla papieru z maszyny dwusitowej jest znacznie mniejsza niż dla papierów dotychczas produkowanych i jest mniejsza od 25 ml/min, co jest zgodne z wymaganiami GOST 645—41. W projekcie PN/E-27001 wartość dopuszczalna 50 ml/min jest podana na okres przejściowy ze względu na dotychczasowe trudności przemysłu papierniczego. Trudność ta w dalszym ciągu jest aktualna dla papierów cieńszych, szczególnie nawojowych, które nadal będą produkowane na maszynie jednositowej.

Poza papierami kablowymi produkowane są w kraju papiery nawojowe, bibułka do oklejania blach elektrotechnicznych oraz papiery na wyroby uwarstwione, przy czym poważne trudności stale sprawia uzyskanie niskiego ciężaru objętościowego dla papieru na płyty.

Najpoważniejszym osiągnięciem przemysłu papierniczego jest uruchomienie krajowej produkcji bibułki kondensatorowej o grubości powyżej 0,012 mm. Przemysł polski nigdy dotychczas bibułki kondensatorowej nie produkował. Do obecnej produkcji przystosowano urządzenia w Żywieckiej Fabryce Papieru. Pierwsze próby rozpoczęto w 1948 r. Wybrano wtedy jako materiał zastępczy bibułkę karbonową i wyprodukowano 2 partie po 5 ton z sortowanych szmat lnianych. Wynik próby można było uznać za zadowalający: otrzymano papier o wymaganej czystości chemicznej i wytrzymałości mechanicznej, przy czym wytrzymałość dielektryczna okazała się niewiele gorsza od wymaganej. Wady polegały na zbytniej grubości i małym ciężarze objętościowym. Usunięcie tych wad wiązało się z dokonaniem w przemyśle papierniczym poważnych inwestycji. Dodatkowe badania tych bibułek wykonane w IElu w r. 1950/51 wykazały, że produkcja bibułki kondensatorowej o grubości 15 μ jest w kraju możliwa przy użyciu posiadanych urządzeń, lecz przy zachowaniu jak największej czystości surowców i produkcji, po zastosowaniu magnetycznych wyłapiaczów cząstek przewodzących, wykluczeniu

Tablica II. Wyniki badań bibułki kondensatorowej

Rodzaj badania	Bibułka ze szmat lnianych wyprodukowana w r. 1948	Bibułka z fińsk. celulozy siarczan. wyprodukowana ostatnio w kraju	Bibułka produkcji fińskiej	Wymagania GOST 1908—42
Grubość średnia (mm)	0,015	0,014	0,015	0,015±0,001
Ciężar objętościowy (g/cm^3)	0,97	1,07	1,29	$\geqslant$0,97
Obciążenie zrywające wzdłuż (kG)	2,0	1,8	3,13	$\geqslant$1,3
Przepuszczalność powietrza (ml/min)	3,4	4,0	2,1	$\leqslant$5,0
Popiół (%)	0,49	0,5	0,43	$\leqslant$0,5
Kwasowość (%)	0,005	nie ma	0,000	niedopuszczalna
Zasadowość (%)	—	0,017	—	$\leqslant$0,02
Zawartość chlorków (%)	0,018	0,004	0,016	$\leqslant$0,004
„ siarczanów (%)	0,0	0,0004	0,002	$\leqslant$0,002
„ żelaza (%)	0,010	0,011	0,010	$\leqslant$0,015
Wytrzymałość dielektryczna (V~/μ)	18,5	25,4	39,4	$\geqslant$23,3
Liczba cząstek przewodzących:				
a) metoda słuchowa (1/m^2)	40	41	12	—
b) metoda wg GOST 1908-42 (1/m^2)	—	0	—	$\leqslant$10

holendrów o nożowiskach brązowych, ulepszeniu satynowania oraz ulepszeniu cięcia i przewijania bibułki. Ponowne próby produkcji podjęte w latach 1952/53 już przy użyciu najlepszej fińskiej celulozy dielektrycznej i przy współudziale Instytutu Celulozowo-Papierniczego zostały uwieńczone wynikiem pomyślnym, gdyż pozwoliły opanować wyrób krajowej bibułki kondensatorowej o grubości powyżej 12 μ. W tabl. II podane są własności bibułek próbnej produkcji z r. 1948, bibułki wyprodukowanej ostatnio w kraju oraz bibułki fińskiej.

Począwszy od roku 1948 pomiędzy przemysłem papierniczym a Instytutem Elektrotechniki została nawiązana ścisła współpraca. Do współpracy tej włączył się także Instytut Celulozowo-Papierniczy. W obu Instytutach wykonywano badania wyrobów przemysłu papierniczego i oceniano ich przydatność do potrzeb przemysłu elektrotechnicznego. Wspólnie z przemysłem omawiano wymagania elektrotechniki i analizowano możliwości poprawy jakości. W r. 1950 utworzono komisję roboczą, w której skład wchodzili przedstawiciele IElu, ICP, CZPME, CZPP, CBKME oraz Kaletańskich i Krapkowickich Zakładów Celulozowo-Papierniczych. Komisja ustaliła warunki techniczne na papiery elektroizolacyjne, uwzględniając potrzeby przemysłu elektrotechnicznego i możliwości producenta oraz wysunęła sugestie dotyczące poprawy jakości tych papierów.

Dotychczasowa produkcja przemysłu papierniczego nie zaspokaja jednak w pełni rosnących potrzeb przemysłu elektrotechnicznego, a niektóre wyroby niecałkowicie jeszcze odpowiadają stawianym im wymaganiom.

3. Aktualne zagadnienia surowcowe.

C e l u l o z a d o p r o d u k c j i p a p i e r ó w k a b l o w y c h i n a w o j o w y c h. Nie ma w kraju fabryki papierniczej, która zajmowałaby się tylko produkcją papierów elektroizolacyjnych. Produkcja ta jest przekazana fabrykom, których zasadnicze zadania polegają na zaspokojeniu potrzeb innych przemysłów, a więc papiery grubsze (0,06 do 0,17 mm) produkuje się w zakładach, które jednocześnie produkują papier workowy, pakunkowy itp., bibułka kondensatorowa — w fabryce bibułki papierosowej, karbonowej itp. Podobnie dzieje się z produkcją celulozy, będącej podstawowym surowcem do wyrobu papierów, istniejące warunki produkcji nie są więc korzystne i wpływają ujemnie na jakość zarówno surowca, jak i produktu. Dlatego też papiery elektroizolacyjne, którym stawiamy obecnie najwyższe wymagania (np. papier nawojowy do przekładników napięciowych 110-kilowoltowych) wyrabiane są z celulozy importowanej z Finlandii. Byłoby pożądane, aby wszystkie papiery kablowe i nawojowe produkowano z celulozy takiego samego typu oraz aby celuloza ta była produkowana w kraju, gdyż surowiec na celulozę — drewno z drzew iglastych — posiadamy. Należy zwrócić uwagę, że i dobór drewna musi być znacznie staranniejszy niż dotychczas, tzn. że drewno powinno być tylko zdrowe i o odpowiedniej gęstości słojów.

Dla realizacji powyższego zadania należałoby wydzielić w jednej z istniejących celulozowni (bądź przewidzieć w celulozowni budowanej lub projektowanej obecnie) specjalny obieg produkcyjny, który służyłby tylko do wyrobu celulozy siarczanowej do celów elektrotechnicznych. Należy ewentualnie rozpatrzyć możliwość wybudowania specjalnej celulozowni tylko dla potrzeb przemysłu elektrotechnicznego. Zasadniczą rolę będzie tutaj odgrywało zapotrzebowanie, które szacunkowo — łącznie dla papierów kablowych i bibułki kondensatorowej — wynosi nie więcej niż 10 000 t rocznie. Do tej ilości należy dodać celulozę, która będzie używana jako wypełniacz do tłoczyw mocznikowych; musi to być także celuloza o dobrych własnościach dielektrycznych, a więc taka, jak na papiery kablowe. Wydaje się więc, że po ustaleniu całkowitego zapotrzebowania budowa oddzielnej celulozowni stanie się realna. Opracowanie technologii produkcji tej celulozy powinno przypaść w udziale Instytutowi Celulozowo-Papierniczemu.

C e l u l o z a d o p r o d u k c j i b i b u ł k i k o n d e n s a t o r o w e j. Jak już wspomniano na początku, bibułkę kondensatorową wykonuje się z surowca najwyższej jakości — ze specjalnej celulozy fińskiej. Uruchomienie produkcji bibułki kondensatorowej w kraju byłoby możliwe tylko przy użyciu celulozy fińskiej, gdyż próby z celulozą krajową nie powiodły się. Równocześnie więc z opracowywaniem technologii produkcji celulozy na papiery kablowe należy podjąć prace nad celulozą na bibułkę kondensatorową.

Trudno w chwili obecnej powiedzieć, czy w istniejących w kraju warunkach produkcyjnych będzie możliwe uzyskanie celulozy siarczanowej na bibułkę kondensatorową. Dlatego też Instytut Celulozowo-Papierniczy podejmuje próby zastosowania do produkcji bibułki kondensatorowej surowca zastępczego — szmat lnianych. Surowca tego w zasadzie nie stosuje się obecnie ze względu na szybkie starzenie się wyprodukowanej z niego bibułki kondensatorowej. Jednak w przypadku braku specjalnej celulozy siarczanowej szmaty lniane można stosować zastępczo i pierwsze próby produkcji bibułki w r. 1948 wykazały realne możliwości ich użycia. Trudności mogą jeszcze powstać z uzyskaniem odpowiednich ilości sortowanych szmat lnianych.

B i b u ł k a n a t a ś m ę m i k o w ą. Dalszy postęp w produkcji maszyn elektrycznych jest przede wszystkim uzależniony od wprowadzenia izolacji ciągłej, a więc od rozpoczęcia produkcji taśmy mikowej, która z kolei może być produkowana dopiero po uzyskaniu bibułki omówionej już w rozdz. 1. Zapotrzebowanie bibułki ze strony przemysłu maszyn elektrycznych wynosi ok. 10 t rocznie. Poza tym bibułka ta znajduje zastosowanie w innych gałęziach przemysłu także w ilości ok. 10 t.

Według danych literatury radzieckiej produkcja papieru do taśmy mikowej jest skomplikowana i jest kombinowanym procesem włókienniczo-papierniczym. Według oświadczeń Instytutu Celulozowo-Papierniczego w chwili obecnej nie ma w kraju możliwości rozpoczęcia tej produkcji. Jednak przemysł elektromaszynowy nie może w żadnym przypadku zrezygnować z taśmy mikowej, jeżeli nie chce zatrzymać się w swym rozwoju; rozwiązanie więc tego zagadnienia jest palące.

Najsłuszniejsza więc wydaje się następująca droga: a) zapewnienie na najbliższy okres importu bibułki na taśmę tak, aby przemysł maszynowy mógł najpóźniej w roku 1956 przejść na izolację ciągłą; b) rozpatrzenie ekonomicznych i produkcyjnych możliwości produkcji i ewentualne sprowadzenie dokumentacji technologicznej na papier do taśm mikowych ze Związku Radzieckiego, przy czym do współpracy należy wciągnąć oprócz Instytutu Celulozowo-Papierniczego także Instytut Włókienniczy i przemysł włókienniczy.

4. Aktualne zagadnienia związane z produkcją papierów elektroizolacyjnych.

C z y s t o ś ć p r o d u k c j i. Papier nazywamy czystym, jeżeli nie ma w nim zanieczyszczeń ani mechanicznych ani chemicznych.

Zanieczyszczenia mechaniczne są w dużej mierze uzależnione od położenia zakładu produkcyjnego. Przykładem tego w sensie ujemnym są Kaletańskie Zakłady Celulozowo-Papiernicze, położone w górniczym okręgu przemysłowym i w pobliżu linii kolejowej o bardzo znacznym nasileniu ruchu. Zakład ten ma bardzo poważne kłopoty z utrzymaniem wymaganej czystości i zmniejszeniem do minimum zanieczyszczeń sadzą. W lepszym położeniu pod tym względem, choć dla potrzeb elektrotechniki także niewystarczającym, znajdują się Krapkowickie Zakłady Celulozowo-Papiernicze.

Do usuwania zanieczyszczeń mechanicznych służą urządzenia działające na zasadzie siły ciężkości (piaseczniki) i na zasadzie sił odśrodkowych (wirówki, erkenzatory) oraz magnesy do usuwania cząstek żelaza. Istniejące wyposażenie maszynowe nie jest całkowicie do tych celów wystarczające i wymaga jeszcze uzupełnień, szczególnie przy produkcji bibułki kondensatorowej.

Czystość chemiczną gwarantuje w dużej mierze woda produkcyjna, której przy produkcji papieru używa się bardzo dużo (np. do 1000 kg na 1 kg bibułki kondensatorowej). I pod tym względem sytuacja jest bardzo trudna zarówno w Krapkowickich, jak i w Kaletańskich Zakładach. Jedynie Żywiecka Fabryka Papieru ma odpowiednią wodę. Istniejące więc warunki produkcyjne skłaniają do ponownego wysunięcia proponowanej już poprzednio przez Instytut Elektrotechniki koncepcji wybudowania s p e c j a l n e g o zakładu produkcyjnego tylko dla potrzeb elektrotechniki w okolicy górskiej i lesistej, mającej czystą źródłaną wodę.

P r o d u k c j a b i b u ł k i k o n d e n s a t o r o w e j. Produkcja bibułki kondensatorowej o grubości powyżej 12 μ z celulozy specjalnej, importowanej, została opanowana. Wyprodukowane z tej bibułki kondensatory wykazały przy odbiorze technicznym zadowalającą jakość. Prowadzone przez producenta sztuczne starzenie tych kondensatorów pozwoli na pełną ocenę jakości bibułki. Dalsze prace nad bibułką kondensatorową powinny iść w dwu kierunkach: a) usprawnienia maszyny papierniczej i wykańczalni, b) zainwestowania maszyny papierniczej i urządzeń do przygotowywania masy, dostosowanych do produkcji bibułek o grubości 9 μ i cieńszych.

U s p r a w n i e n i e m a s z y n y p a p i e r n i c z e j i w y k a ń c z a l n i na pewno przyczyni się do dalszego

podniesienia jakości produkowanej już bibułki, a tym samym obniżenia braków produkcyjnych przy wyrobie kondensatorów. W tym celu należy: a) zakupić za granicą specjalny kalander do cienkich bibułek kondensatorowych wraz z napędem i całkowitym wyposażeniem; b) usprawnić pracę bobiniarek; c) zorganizować klimatyzację pomieszczeń wykańczalni i magazynu bibułki.

Maszynę papierniczą do bibułek poniżej 12 μ należy zakupić za granicą, gdyż dotychczasowe doświadczenie z krajową maszyną typu Pamela wykazało, że maszyna ta nie nadaje się do tego rodzaju produkcji.

5. Aktualne zagadnienia normalizacyjne.

Normalizację papierów elektroizolacyjnych rozpoczęła V Komisja Materiałów Izolacyjnych PKN w r. 1948. Związane z tym badania mające na celu ustalenie wymagań ilościowych oraz opracowanie metodyki pomiarów, wykonywane były w Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu. W roku 1953 — po reorganizacji PKN — Komisja V przekazała PKN-owi projekty norm na papiery do kabli elektroenergetycznych oraz do kabli telekomunikacyjnych. Równocześnie Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu opracował i przekazał do przemysłu podkład laboratoryjny do norm na papiery nawojowe i bibułkę kondensatorową. Wymagania techniczne na pozostałe papiery elektroizolacyjne opracowała wspomniana już wyżej Komisja.

Niestety dotychczas żaden z opracowanych projektów norm nie został zatwierdzony. Szybkie zakończenie tych prac i zatwierdzenie norm na papier do kabli elektroenergetycznych, papier do kabli telekomunikacyjnych, papier nawojowy i bibułkę kondensatorową leży w interesie przemysłu zarówno papierniczego, jak i elektrotechnicznego. Sprawami tymi zajmuje się obecnie w głównej mierze Centralny Zarząd Przemysłu Papierniczego. Projekty norm opracowane przez CZPP w punkcie „Normy związane" podają cały szereg norm na metody badań, o których nie wiadomo, czy są opracowane i zatwierdzone oraz w jakim to nastąpi terminie. Sprawa ta wymaga przedyskutowania i ustalenia.

W stosunku do norm zagranicznych polskie projekty norm na papiery elektroizolacyjne wprowadzają pewne zmiany i uzupełnienia, dotyczące metodyki badań, a opracowane na podstawie badań Zakładu Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu. Usunięty został pomiar „liczby podwójnych zgięć". Oparto się w tym przypadku na znanej z literatury i potwierdzonej własnymi badaniami bardzo silnej zależności tej próby od wilgotności otoczenia. Poza tym jest to pomiar długotrwały, co w obecnych naszych warunkach jest bardzo trudne do wykonania.

Nie wprowadzono także proponowanej w pierwszych redakcjach norm „wytrzymałości dielektrycznej" papierów, wychodząc z założenia, że papier pracuje w połączeniu z syciwem i ostateczna wytrzymałość dielektryczna układu „papier + syciwo" jest zależna w dużej mierze od rodzaju użytego syciwa oraz procesu technologicznego nasycania. Spełnienie wymagań fizyczno-chemicznych przewidzianych normą gwarantuje dostateczną wytrzymałość dielektryczną.

Przy współudziale Instytutu Celulozowo-Papierniczego została opracowana metoda kontroli odporności na „starzenie" papierów elektroizolacyjnych.

Nie została jeszcze rozstrzygnięta sprawa metodyki kontroli ilości cząstek przewodzących w bibułce kondensatorowej. Wchodzą w rachubę dwie metody: pierwsza polegająca na użyciu słuchawki telefonicznej, druga (wg GOST 1908 — 42) polegająca na użyciu wzmacniacza lampowego z automatycznym licznikiem. Obie metody dają zupełnie różne wyniki, gdyż pierwsza z nich jest ~10-krotnie czulsza. Należy zdecydować, którą z metod powinno się przyjąć, i w przypadku przyjęcia aparatury radzieckiej opracować i wykonać odpowiedni przyrząd, aby mogły się weń zaopatrzyć wszystkie zainteresowane instytucje.

6. Dezyderaty przemysłowe.

Na podstawie dotychczasowych rozważań można zadania i problemy stojące przed przemysłem papierniczym oraz związane z nimi problemy przemysłu elektrotechnicznego streścić w następujący sposób:

a) Przy produkcji papierów kablowych zwrócenie szczególnej uwagi na ich czystość oraz jednorodność, przede wszystkim przez przekazanie produkcji Krapkowickim Zakładom Celulozowo-Papierniczym, oraz zapewnienie najkorzystniejszych warunków technologicznych na maszynie dwusitowej.

b) Usprawnienie maszyny papierniczej i wykańczalni w fabryce bibułki kondensatorowej.

c) Podjęcie prac związanych z produkcją bibułki kondensatorowej o grubości poniżej 12 μ.

d) Dla właściwego wykorzystania produkowanej już bibułki kondensatorowej i zmniejszenia ilości braków przy produkcji kondensatorów zainstalowanie urządzeń klimatyzacyjnych w zwijalni i magazynie bibułki w zakładach produkujących kondensatory.

e) Przeanalizowanie dotychczasowych konstrukcji kondensatorów pod względem stosowanych w nich grubości bibułki kondensatorowej celem jak największego wyzyskania bibułek produkowanych w kraju, a tym samym zmniejszenia importu.

f) Uruchomienie produkcji cienkich papierów nawojowych o grubościach 0,02 do 0,05 mm.

g) Opracowanie produkcji papieru na płyty bakelizowane (getinaksowe) tak, aby jego ciężar właściwy odpowiadał normie radzieckiej GOST — 3441—46.

h) Ukończenie prac normalizacyjnych w 1956 r.

Z dalszych problemów szerszej dyskusji na Konferencji wymagają:

1) budowa specjalnej celulozowni i fabryki papieru tylko dla potrzeb elektrotechniki przy równoczesnym opracowywaniu produkcji specjalnej celulozy siarczanowej na papiery kablowe i bibułkę kondensatorową;

2) uruchomienie produkcji papieru na taśmę mikową.

7. Tematyka prac badawczych.

Zagadnienie struktury i jej wpływu na własności materiałów. Posługując się teoretycznymi układami zastępczymi, przedstawiającymi papier jako szeregowy albo szeregowo-równoległy układ pojemności celulozy i powietrza lub celulozy i syciwa, można wyprowadzić równania, które podają zależność wytrzymałości dielektrycznej, przenikalności dielektrycznej oraz stratności dielektrycznej od ciężaru objętościowego i grubości papieru. Analiza tych zależności i wykonanie związanych z tym badań powinny dać w rezultacie wytyczne najwłaściwszego doboru grubości i ciężaru objętościowego papieru przy danym syciwie.

Zagadnienie to dotyczy w szczególności kondensatorów papierowych i kabli na napięcia od 15 do 60 kV, przy czym pod uwagę należy wziąć dwa względy; najkorzystniejsze własności dielektryczne oraz koszt produkcji, gdyż cena papieru znacznie wzrasta ze zmniejszeniem jego grubości.

Zagadnienie starzenia naturalnego i sztucznego. Starzenie izolacji papierowej jest cechą bardzo ważną dla praktyki eksploatacyjnej, choć trudno uchwytną. Literatura omawiająca to zagadnienie nie podaje jednolitej metody badania starzenia. Istnieją metody określające starzenie za pomocą spadku liczby podwójnych zgięć, spadku wytrzymałości na przepuklenie, spadku oporu przedarcia, spadku wytrzymałości na rozciąganie, wzrostu liczby miedziowej. Badania, które nad tym zagadnieniem zostały wykonane w Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego, doprowadziły do ustalenia, że obecnie najwłaściwszą metodą określania starzenia papierów jest pomiar spadku oporu przedarcia. Została opracowana metoda tego pomiaru, ale to nie wyczerpuje zagadnienia. Ostatecznego ustalenia wymagają parametry starzenia. W zbyt małym zakresie zostały wykonane próby pomiaru wzrostu liczby miedziowej po starzeniu, a dotychczasowe wyniki wskazują, że pomiar ten jest bardzo czułym wskaźnikiem starzenia. Wyniki dotychczasowe oraz przyszłych badań należy powiązać z cechami strukturalnymi celulozy, rzeczywistymi warunkami pracy izolacji papierowej, a następnie wyzyskać je przy ustalaniu wymagań technicznych w normach oraz przy produkcji i eksploatacji wyrobów elektrotechnicznych, w szczególności transformatorów.

Metalizowana bibułka kondensatorowa. Zastosowanie do produkcji kondensatorów teletechnicznych bibułki kondensatorowej metalizowanej daje niewątpliwe korzyści, polegające na ograniczeniu importu folii aluminiowej, zmniejszeniu wymiarów kondensatorów oraz podniesieniu pewności ruchu urządzeń telekomunikacyjnych. Na przykład dla kondensatorów na napięcie 100 V objętość zwijki kondensatorowej z bibułki metalizowanej stanowi zaledwie 25% objętości zwijki o tej samej pojemności z okładzinami z folii aluminiowej.

Kondensatory z bibułki metalizowanej mają zdolność „samoczynnego uzdrawiania się" w przypadku przebicia. Metal wokół miejsca przebicia podlega odparowaniu i tym samym przebite miejsce zostaje zaizolowane.

Podane wyżej względy ekonomiczne i techniczne przemawiają za koniecznością rozpoczęcia prac nad uruchomieniem

krajowej produkcji metalizowanej bibułki kondensatorowej. Należy w toku dyskusji ustalić obecny stan zagadnienia, gdyż sprawą tą interesowały się już Przemysłowy Instytut Telekomunikacji oraz przemysł kondensatorowy, a następnie wytyczyć wynikające stąd zadania na przyszłość.

Zagadnienia surowcowe. Omówiono je już szerzej w rozdz. 3. Tu wymieniamy tylko problemy związane z pracami badawczymi i dotyczące w głównej mierze przemysłu, lecz wymagające również współpracy instytów naukowo-badawczych:

a) opracowanie produkcji specjalnej celulozy siarczanowej na papiery kablowe i bibułkę kondensatorową,

b) rozważenie możliwości i opracowanie produkcji bibułki kondensatorowej ze szmat lnianych,

c) opracowanie produkcji bibułki na taśmę mikową,

d) współpraca przy ewentualnym projektowaniu i budowie celulozowni oraz fabryki papierów dla potrzeb elektrotechniki.

II. PRESZPANY

8. Ogólne omówienie gatunków.

Preszpany produkuje się — podobnie jak papiery elektroizolacyjne — z nieobciążonej i niebielonej celulozy siarczanowej. Preszpan jest w zasadzie materiałem wielowarstwowym, ale dzięki specjalnemu procesowi technologicznemu, polegającemu przede wszystkim na sprasowaniu na mokro pod dużym naciskiem, jego charakter warstwowy zanika.

Preszpany produkuje się w arkuszach oraz w postaci szerokiej taśmy zwijanej w rulony.

Zasadniczo preszpany można podzielić na dwa gatunki: a) preszpan zwykły, b) preszpan miękki.

Preszpan zwykły przeznaczony jest do pracy w powietrzu, przeważnie w maszynach elektrycznych. Dla obniżenia higroskopijności oraz podwyższenia oporności właściwej powierzchniowej preszpan poddaje się w końcowej fazie produkcji gładzeniu. Musi on mieć stosunkowy duży ciężar objętościowy, większy od 1,15 g/cm³. Produkuje go się w kraju w arkuszach o grubości 0,1 do 4,0 mm, a za granicą w zwojach o grubości 0,1 do 0,5 mm.

Preszpan miękki jest przeznaczony do pracy w oleju, przeważnie w transformatorach. Jest on niegładzony i ma niższy ciężar objętościowy niż preszpan zwykły (0,85 do 1,2 g/cm³). Dzięki tym własnościom dobrze nasiąka olejem transformatorowym. Wyrabia go się w arkuszach o grubości od 0,5 do 4,0 mm.

Oprócz preszpanów z celulozy siarczanowej produkuje się także preszpany z dodatkiem włókien bawełnianych lub z samych włókien bawełnianych.

Preszpan z dodatkiem włókien bawełnianych spełnia rolę preszpanu zwykłego, a stosuje się go w trudnych warunkach, np. przy silnych wibracjach. Jego wytrzymałość mechaniczna jest większa niż preszpanu zwykłego. Wyrabia się go w arkuszach o grubości 0,1 do 0,4 mm.

Preszpan bawełniany (transformerboard) stosuje się na przegrody w największych transformatorach. Jest to wysokogatunkowy preszpan z celulozy bawełnianej, która zapewnia bardzo dużą chłonność oleju przy równocześnie dużym ciężarze objętościowym. Gwarantuje to bardzo dużą wytrzymałość dielektryczną tego preszpanu w czasie pracy.

9. Rozwój produkcji preszpanów w Polsce.

Po raz pierwszy w Polsce preszpan elektrotechniczny (zwykły) rozpoczęły produkować po wojnie Krapkowickie Zakłady Celulozowo-Papiernicze. Produkcja w pierwszym okresie napotykała trudności, związane z nieodpowiednim wyposażeniem maszynowym, bo nieprzystosowanym do wyrobu preszpanów elektrotechnicznych, z brakiem doświadczenia oraz z brakiem dokładnych wymagań technicznych. Dzięki jednak wysiłkom Zakładów Krapkowickich i ich stałej współpracy z Zakładem Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu jakość obecnie produkowanych preszpanów zwykłych odpowiada stawianym im wymaganiom. Stopniową poprawę jakości preszpanów potwierdza tabl. III.

Przemysł papierniczy napotyka jeszcze trudności przy wyrobie preszpanu zwykłego o grubości 0,1 mm oraz nie rozporządza urządzeniami do produkcji preszpanu w dużych arkuszach (1800 mm × 3600 mm) oraz preszpanu w zwojach.

W roku 1950 Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu wystąpił z inicjatywą rozpoczęcia produkcji preszpanu miękkiego. Produkcję tę podjęły Zakłady Krapkowickie i dostarczany przez nie preszpan miękki odpowiada stawianym mu wymaganiom.

Tablica III. Wyniki badań krajowego preszpanu zwykłego z różnych okresów produkcji

Rodzaj badania	Próbka z 1949, I	Próbka z 1949, VI	Próbka z 1952, XII	Wymagania projektu PN/E-27100
Grubość średnia (mm)	0,53	0,52	0,48	—
Ciężar objętościowy (g/cm³)	1,07	1,25	1,21	⩾1,15
Wytrzymałość na rozciąganie (kG/cm²)				
a) wzdłuż	470	690	1190	⩾540
b) w poprzek	170	230	530	⩾300
Wytrzymałość dielektryczna po suszeniu (kV/mm)	8,0	13,7	13,6	⩾10,8
Zawartość popiołu (%)	7,1	1,9	0,9	⩽2,5

Dobra jest także jakość preszpanu z dodatkiem włókien bawełnianych.

Na wniosek przemysłu maszyn elektrycznych Krapkowickie Zakłady Celulozowo-Papiernicze wykonały próbną partię preszpanu bawełnianego. Badania tego preszpanu, wykonane w Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu, wykazały wytrzymałość dielektryczną po nasyceniu olejem transformatorowym znacznie większą (48 kV/mm) niż uzyskiwana dla krajowych preszpanów miękkich (ok. 36 kV/mm). Niestety, próby wykonane w Zakładach Krapkowickich nie zostały wyzyskane przez przemysł maszyn elektrycznych; zamówień nie ponowiono, wskutek czego dalszych prób produkcyjnych zaniechano.

Badania Instytutu Elektrotechniki, jak i praktyka przemysłowa wykazały, że produkowane obecnie w kraju preszpany elektrotechniczne dorównują swą jakością najlepszym gatunkom zagranicznym, a w wielu przypadkach nawet je przewyższają.

10. Dezyderaty przemysłowe.

Najpilniejsze zadania, które stawiano przemysłowi papierniczemu w dziedzinie preszpanów elektrotechnicznych, zostały pomyślnie rozwiązane. Zagadnienia, które obecnie wyłaniają się, są związane z bardzo poważnymi inwestycjami. Zatrzymamy się na najważniejszych:

a) Obecna produkcja Krapkowickich Zakładów Celulozowo-Papierniczych może pokryć tylko ~ 1/3 ogólnokrajowego zapotrzebowania preszpanów. Obecne możliwości zwiększenia produkcji są bardzo niewielkie, a plany inwestycyjne na przyszłość nie przewidują rozbudowy oddziału preszpanów. Należałoby więc zaplanować bądź odpowiednie inwestycje dla zwiększenia zdolności produkcyjnej Zakładów Krapkowickich, bądź wybudowanie nowego zakładu — podobnie jak dla papierów kablowych (ob. rozdz. 6) — w miejscu, gdzie będą zapewnione czystość produkcji i czysta woda.

b) Obecne ilości preszpanu w zwojach zużywane przez przemysł maszyn elektrycznych są zbyt małe, aby można było inwestować urządzenia produkcyjne do tego celu. Obecne zapotrzebowanie całoroczne mogłoby — w przypadku budowy takich urządzeń — być pokryte w ciągu kilku tygodni. Z tego powodu obecne zapotrzebowanie preszpanu w zwojach pokrywa się z importu, należy jednak rozpatrzyć sprawę uruchomienia tej produkcji w latach następnych, mając na uwadze możliwości eksportu.

c) Przemysł maszyn elektrycznych zgłasza obecnie zapotrzebowanie na preszpan w arkuszach o wymiarach 1800 mm × × 3600 mm. Zakłady Krapkowickie nie mają możliwości produkowania takich arkuszy ze względu na brak odpowiednich walców formatowych, pras i kalandrów. Należałoby więc inwestycje te uwzględnić przy planowaniu rozbudowy Zakładów.

d) Przemysł maszyn elektrycznych powinien oświadczyć, czy zamierza wprowadzić do swych konstrukcji preszpan bawełniany i jakie będzie zapotrzebowanie tego materiału. Na tej podstawie będzie można omówić możliwości uzyskania odpowiedniego surowca bawełnianego i wytwarzanie tego preszpanu przez przemysł papierniczy.

e) Przemysł maszyn elektrycznych zużywa ok. 2 t rocznie triaszpanu. Triaszpan powstaje przez oklejenie preszpanu folią triacetatową. W kraju jest dotychczas nie produkowany ze względu na brak folii i lepiszcza. Ewentualne uruchomienie produkcji nawet w arkuszach, a nie w zwojach, musi być poprzedzone opracowaniem folii triacetatowej i lepiszcza. Dlatego zagadnienie to należy odłożyć na dalsze lata, obecne zaś niewielkie zapotrzebowanie pokrywać jeszcze z importu.

11. Zagadnienia normalizacyjne.

Projekt normy na preszpany został opracowany przez V Komisję Materiałów Izolacyjnych PKN przy współpracy Zakładu Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu i przekazany do Zakładu Elektrotechniki PKN w r. 1953. Niestety do chwili obecnej projekt ten nie został jeszcze zatwierdzony; należy dołożyć wszelkich starań, aby zostało to dokonane w r. 1956.

12. Fibra.

Fibra jest produkowana z papierów szmacianych, traktowanych chlorkiem cynku, co w efekcie daje materiał jednorodny niewłóknisty.

Zaletami fibry są: jednorodna budowa, plastyczność i możność obróbki skrawaniem. Jednak jako materiał elektroizolacyjny fibra ma więcej wad niż zalet. Wchłanianie wody dochodzi do 45%; przy nawilgoceniu materiał pęcznieje; przy niedostatecznym wymyciu chlorku cynku starzeje się szybko; jego własności dielektryczne są mierne.

Z powyższych względów zastosowanie fibry w elektrotechnice maleje na rzecz nowych — lepszych — materiałów. Zakres stosowania fibry obejmuje kliny, przekładki, podkładki, kadłuby cewek itp.; dzięki własnościom gazotwórczym stosuje się fibrę w odgromnikach wydmuchowych.

Fibra w kraju jest nieprodukowana i trudno rozpatrywać uruchamianie jej produkcji z punktu widzenia samej elektrotechniki, której zapotrzebowanie wynosi 3 do 4 t rocznie. Z tych względów należałoby zbadać ogólnokrajowe zapotrzebowanie fibry do wszystkich celów.

III. WNIOSEK OGÓLNY

Wysokie wymagania, stawiane przemysłowi papierniczemu w sprawie wyrobów papierniczych, przeznaczonych dla potrzeb przemysłu elektrotechnicznego, wymagają stałego porozumiewania się między obu przemysłami. Przemysł papierniczy nie zawsze orientuje się w skali potrzeb elektrotechniki i często nie zdaje sobie sprawy, które własności danego wyrobu są decydujące. Z drugiej strony przemysł elektrotechniczny wysuwa bardzo wygórowane wymagania, których przemysł papierniczy nie może zrealizować. Wydawałoby się więc rzeczą słuszną stworzenie — na wzór komisji roboczej z r. 1950 — stałej komisji elektrotechniczno-papierniczej, która czuwałaby nad poprawą jakości wyrobów papierniczych dla elektrotechniki i nad wprowadzeniem nowych gatunków oraz uzgadniałaby wymagania przemysłu elektrotechnicznego z możliwościami produkcyjnymi przemysłu papierniczego.

DOC. MGR INŻ. ANDRZEJ WINCZAKIEWICZ
Instytut. Celulozowo-Papierniczy

Postępy w dziedzinie produkcji papierów elektrotechnicznych (Komunikat)

608.1:621.319.414/.5:621.312(438)

Treść. Polski przemysł papierniczy wyrabia papier kablowy dla energo- i teleelektryki, bibułkę do oklejania blach, papier do nasycania żywicami, preszpan miękki i twardy, bibułkę kondensatorową, papier nawojowy i papier azbestowy. Trzy ostatnie papiery stanowią najpoważniejsze osiągnięcie przemysłu, gdyż wyrabiamy je dopiero od kilku lat, a jakość ich nie ustępuje wielu papierom zagranicznym. W toku są prace nad dalszymi papierami elektrotechnicznymi.

Polski przemysł papierniczy produkował przed wojną tylko niektóre gatunki papierów używanych w elektryce: większą część tych papierów trzeba było sprowadzać z zagranicy. Obecnie asortyment produkowanych papierów elektrotechnicznych uległ poważnemu powiększeniu: wyrabiamy następujące gatunki papierów i tektur mających zastosowanie w przemyśle elektrotechnicznym: 1) papier do kabli teleelektrycznych i energoelektrycznych, 2) bibułkę do oklejania blach elektrotechnicznych, 3) papier do nasycania żywicami na płyty i na rury, 4) preszpan miękki i twardy, 5) bibułkę kondensatorową, 6) papier nawojowy, 7) papier azbestowy.

Najpoważniejsze osiągnięcie przemysłu stanowi: bibułka kondensatorowa, papier nawojowy i papier azbestowy.

Instytut Celulozowo-Papierniczy opracował — wspólnie z Żywiecką Fabryką Papieru — technologię produkcji bibułki kondensatorowej z masy celulozowej siarczanowej niebielonej *). Na obecnych maszynach udało się wyprodukować bibułkę o grubości 12 i 15 mikronów; uzyskanie mniejszych grubości (do 6 μ włącznie) będzie wymagać zainstalowania nowej specjalnej maszyny papierniczej, która ma być sprowadzona z Finlandii. Wyprodukowana bibułka odpowiada dość ostrym wymaganiom normy radzieckiej GOST 1908—42, ma dużą wytrzymałość dielektryczną i odpowiednią czystość. Oto niektóre jej cechy:

grubość (μ)	12 — 15,
ciężar objętościowy (G/cm³)	1,26 — 1,04,
obciążenie zrywające (kG)	1,8 — 1,7,
napięcie przebicia (V/μ)	25 — 30,
liczba cząstek przewodzących (m^{-2})	2 — 7,
popiół (%)	0,58 — 0,51,
zawartość soli żelaza jako Fe (mG/kG)	150 — 100,
zawartości miedzi jako Cu (mG/kG)	27 — 33,
zawartość chlorków jako Cl′ (mG/kG)	16 — 10,
zawartość siarczanów jako SO_4'' (mG/kG)	10 — 20.

Odpowiednie własności wytrzymałościowe bibułki uzyskano dzięki opracowaniu specjalnego sposobu mielenia (tzw. mielenie kombinowane) i bardzo ostrożnej — ściśle kontrolowanej — pracy na maszynie papierniczej. Czystość chemiczną zawdzięcza bibułka doskonałej wodzie produkcyjnej, wysokogatunkowej masie celulozowej (fińskiej marki CON-CHEMI) oraz zainstalowaniu magnesów w celu wyłapywania cząstek metali magnetycznych. W najbliższym czasie przemysł celulozowy podejmie próby wyprodukowania masy celulozowej siarczanowej dielektrycznej o dużej czystości. Masa taka znalazłaby zastosowanie do wyrobu papierów elektrotechnicznych.

*) Importowanej z Finlandii.

W związku z zapotrzebowaniem papieru izolacyjnego do przekładników wysokiego napięcia 110-kilowoltowych Fabryka Celulozy i Papieru w Kaletach przy współpracy Instytutu Celulozowo-Papierniczego wyprodukowała papier nawojowy kalandrowany o grubości znamionowej 0,06 i 0,12 mm. Papier ten odznacza się dużą czystością, bardzo równomierną grubością, dobrymi własnościami wytrzymałościowymi i — co jest rzeczą ciekawą — małą przepuszczalnością powietrza przy równoczesnej dość dużej chłonności oleju transformatorowego. Dzięki zastosowaniu specjalnej masy celulozowej dielektrycznej uzyskano dość dużą odporność na starzenie. Przy produkcji tego papieru Instytut Celulozowo-Papierniczy przeprowadził badania nad starzeniem papierów dielektrycznych. W wyniku badań własnych oraz na tle pracy, wykonanej i opublikowanej przez Zakład Materiałoznawstwa Elektrycznego IElu zaproponowano rozszerzenie wniosku IElu o zalecenie kontroli nie tylko oporu przedarcia przed sztucznym starzeniem i po tym starzeniu, ale również kontroli liczby miedziowej w analogicznych warunkach.

W wymaganiach szczegółowych na poszczególne papiery dielektryczne warunki termiczne starzenia oraz wartość starzenia, wyrażona w procentowym spadku oporu przedarcia i procentowym wzroście liczby miedzi, powinny być ustalone na podstawie badania, albo papierów pochodzenia zagranicznego, których wysoka jakość jest znana, albo papierów krajowych wyprodukowanych z wysokowartościowej masy celulozowej. Badania własności dielektrycznych byłyby w tym przypadku pożądanym uzupełnieniem.

Ciekawym osiągnięciem Instytutu Celulozowo-Papierniczego jest opracowanie na skalę laboratoryjną technologii produkcji papieru azbestowego służącego do celów izolacji elektrycznej. Dzięki zastosowaniu właściwego gatunku azbestu, odpowiednio poprowadzonemu procesowi miele-

nia oraz zaklejaniu skrobią — otrzymano papier o własnościach znacznie lepszych, niż przewidują radzieckie warunki techniczne Nr 1218 A. Oto własności tego papieru:

grubość (mm)	0,2	0,4	0,5
ciężar objętościowy (G/cm³)	0,65	0,71	0,5
obciążenie zrywające — średnia z dwóch kierunków (kG)	2,85	5,00	5,40
napięcie przebijające (V)	5400	7600	8300
straty prażenia (%)	16,6	16,6	16,3
wilgotność (%)	2,0	2,0	2,1
zawartość żelaza jako Fe (%)	1,36	1,36	1,47

W trakcie badań nad tym papierem opracowano metodę oceny przydatności azbestu do celów papierniczych według zdolności adsorbowania barwników. W najbliższym czasie — po otrzymaniu azbestu — przeprowadzone będą próby na skalę fabryczną.

VI. MATERIAŁY CERAMICZNE I MINERALNE DLA ENERGETYKI

MGR INŻ. R. CALIKOWSKI
Główny Urząd Miar

Tworzywa mineralne w budowie współczesnych przyrządów elektrycznych

621.319.413:621.319.42:621.5

Treść. Zagadnienia naukowo-techniczne związane z tworzywami mineralnymi stosowanymi w elektrotechnice. Tworzywa te stosuje się do produkcji łożysk przyrządów, stabilizatorów drgań i narzędzi do plastycznej i wibrowej obróbki części, a specjalnie do przeciągania cienkich drutów. Tematy 7 prac naukowo-badawczych.

Tworzywa mineralne, stosowane do budowy przyrządów elektrycznych ze względów funkcjonalnych, można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

1) tworzywa na łożyska przyrządów,
2) tworzywa na stabilizatory drgań,
3) tworzywa na narzędzia do wytwarzania części przyrządów.

W komunikacie niniejszym ograniczymy się do zagadnień związanych z tworzywami, których obróbka polega na zmianie kształtu geometrycznego bez zmiany struktury.

1. Tworzywa na łożyska przyrządów. Od łożysk przyrządów elektrycznych wymaga się przez cały czas ich eksploatacji stałości momentu tarcia M_t w różnych położeniach względnych części łożysk, tzn. czopa i panewki, a dla niektórych przyrządów przy zmianie położenia względem ziemi lub innego układu odniesienia (np. maszyny, na której są wbudowane). Ostatni warunek ma przede wszystkim zastosowanie dla przyrządów przenośnych lub wbudowanych w różnego rodzaju pojazdach.

Dalszym wymaganiem stawianym łożyskom przyrządów jest uzyskanie małego momentu tarcia. Wymagania powyższe można napisać w formie równań:

$$(1) \qquad M_t = C, \quad \frac{dM_t}{dt} = 0, \quad \frac{dM_t}{d\varphi} = 0.$$

Warunkom tym najlepiej odpowiadają łożyska igłowe z czopami kulistymi [1], gdzie czop wykonany przeważnie ze stali termicznie ulepszonej współpracuje z panewką z minerału. Znane są również łożyska, gdzie czop jest wykonany z tworzyw mineralnych, oraz łożyska, gdzie panewka jest metalowa (brąz berylowy) lub z tworzyw organicznych.

Zapotrzebowanie łożysk mineralnych przez jedną tylko krajową wytwórnię przyrządów elektrycznych jest oceniane na 3 miliony sztuk rocznie.

Dla spełnienia warunków (1) stosuje się tworzywa o dużej odporności na ścieranie i dużym module sprężystości. Duże wymagania stawiane zwykle twardości materiałów nie znajdują natomiast uzasadnienia ani w rozważaniach analitycznych [1], ani w doświadczeniach laboratoryjnych [2] i obserwacjach przy zachowaniu się łożysk np. zegarków. Dlatego występująca obecnie dążność do stosowania materiałów bardzo twardych (korundu), która w niektórych krajach ma uzasadnienie handlowe, u nas powinna być poddana rewizji i ostatecznego wyboru materiałów należałoby dokonywać na podstawie badań obiektywnych.

Materiały mineralne można podzielić pod względem pochodzenia na naturalne i sztuczne, przy czym do pierwszej grupy należą przede wszystkim agat i chalcedon (SiO_2), a do drugiej korund (Al_2O_3) z jego odmianami — szafirem i rubinem oraz pewne odmiany szkła twardego. W przyrządach bardzo wysokiej dokładności stosuje się czasem diament.

Badania przeprowadzone przez autora w GUM wskazują na możność zastosowania do omawianego celu krajowego kwarcu i serpentynitu [12].

Występowanie krajowych surowców mineralnych do budowy łożysk znane jest geologom; udostępnienie złóż do produkcji jest w toku realizowania.

Surowce syntetyczne (Al_2O_3) otrzymuje się w piecach Verneula w formie gruszek [3, 4]. Gruszki te poddaje się przecinaniu, obróbce przez ścieranie [1, 7, 8, 9] oraz polerowaniu przy użyciu diamentowych proszków ściernych i polerowniczych.

Obróbka przez ścieranie pochłania bardzo dużo pracy [7] i jest niedostatecznie opracowana pod względem naukowo-technicznym. Ostatnio dla poprawienia struktury warstwy przypowierzchniowej stosuje się nadtapianie powierzchni, tzw. glazerowanie.

Panewki do celów podrzędnych wykonuje się z pewnego gatunku twardego szkła barwionego metodą plastycznego formowania w podwyższonych temperaturach. Metoda znajduje również zastosowanie [7], do łożysk wykonywanych z Al_2O_3.

Zagadnienia, związane z jakością powierzchni pracujących panewek oraz ze strukturą warstwy przypowierzchniowej, nie są dotąd dostatecznie wyjaśnione [7], a powinny być zbadane, gdyż mają bezpośredni wpływ na warunki określone wzorami (1) i na pracę łożysk.

Panewki wykonane z surowców naturalnych podlegają obróbce podanej wyżej dla surowców syntetycznych. Wobec mniejszej ich twardości do obróbki stosuje się proszki ścierne SiC, a do polerowania tlenek ceru i wolframu.

Według oceny geologów w kraju znajdują się złoża kwarcu chalcedonu i agatu wystarczające na pokrycie zapotrzebowania krajowego.

Wobec łatwiejszej obróbki surowców naturalnych dostępnymi środkami ściernymi, wobec występowania tych surowców w dostatecznej ilości w kraju i dobrych własności mechanicznych — na obecnym etapie należy dać pierwszeństwo surowcom naturalnym przed surowcami syntetycznymi, dla których nie ma w kraju ośrodka produkcyjnego. Takie stanowisko jest również słuszne ze względu na konieczność przeszkolenia kadr fachowców do obróbki minerałów dla produkcji panewek. W późniejszym etapie — po uruchomieniu produkcji gruszek korundowych — możliwe jest stosowanie wyrobów z surowców zarówno naturalnych, jak i sztucznych.

Osobne zagadnienie stanowi kontrola jakości surowców, półfabrykatów i gotowych panewek. W tych sprawach pierwsze prace w Polsce wykonano w GUM [8] przez opracowanie przyrządu oraz metodyki pomiaru tarcia w łożyskach obciążonych siłami osiowymi oraz wstępne badanie „mikrotwardości" materiałów mineralnych.

2. Tworzywa na stabilizatory drgań. W niektórych przyrządach elektrycznych, służących do stabilizacji drgań, stosuje się płytki wycięte w specjalny sposób z kryształów niektórych minerałów [9]. Do takich należy przede wszystkim kwarc, stosowany również w przyrządach opartych na zjawiskach piezoelektrycznych.

Mała bezwładność, mały wpływ zmian temperatury na wielkość wskazań oraz inne zalety uczyniły płytki kwarcowe podstawowym składnikiem ważnej grupy siłomierzy piezokwarcowych, mających znaczenie przede wszystkim do pomiaru ciśnień w cylindrach silników szybkobieżnych i do innych celów specjalnych [11].

Badania nad minerałami naturalnymi i sztucznymi stosowanymi do omawianych celów przeprowadzane są w krajowych instytutach i warunki wytwarzania i obróbki są dostatecznie opanowane.

3. Tworzywa na narzędzia. Poza omówionymi częściami przyrządów elektrycznych surowce mineralne znajdują zastosowanie do wytwarzania niektórych podstawo-

wych wyrobów elektrotechnicznych. Są to końcówki do niektórych narzędzi służących do obróbki plastycznej [10] i wiórowej dla wytwarzania cienkich przewodów, drutów oporowych i przewodników oraz toczenia małych części wykonywanych masowo z metali kolorowych [7].

Problemy naukowo-techniczne, występujące przy obróbce plastycznej i wiórowej narzędziami z końcówkami mineralnymi, można podzielić na dwie grupy: 1) problemy związane z zachowaniem się obrabianego metalu (problemy te są częściowo opracowane przez analogię z obróbką narzędziami wykonanymi ze spieków i innych tworzyw twardych); 2) problemy związane z samym narzędziem, a dokładniej mówiąc z jego częścią roboczą. Obydwie grupy problemów nie są dostatecznie opracowane, a brak ten odczuwa się specjalnie w grupie drugiej. Szczególny charakter tego zagadnienia wynika stąd, że stosowany do powyższego celu diament jest monokryształem. Krystalizuje on w układzie regularnym, klasie czworościanu pozóstnego i ustawienie głównych osi krystalograficznych w stosunku do kierunku działania sił, występujących w czasie obróbki, ma duży wpływ na jego pracę, a przede wszystkim na trwałość powierzchni roboczych.

4. Tematyka prac badawczych. Dla prac naukowo-badawczych, które są związane z problemem surowców mineralnych, używanych do budowy przyrządów elektrycznych można wysunąć następujące ważne tematy:

1) wyznaczenie modułu sprężystości podłużnej i poprzecznej oraz liczby Poissona dla niektórych minerałów, jak np. stosowanych do budowy łożysk przyrządów elektrycznych;

2) zagadnienie anizotropii tarcia, spowodowane budową krystaliczną niektórych minerałów, stosowanych do budowy łożysk przyrządów elektrycznych.

3) wpływ gładkości powierzchni panewek mineralnych na wielkość tarcia i zużywalność powierzchni roboczych;

4) wpływ sił dynamicznych na pracę przyrządów elektrycznych ze specjalnym uwzględnieniem zmian momentu tarcia;

5) porównanie trwałości łożysk mierników elektrycznych z panewkami wykonanymi z minerałów naturalnych i syntetycznych;

6) wpływ orientacji ciągadeł, wykonanych z monokryształów, na ich trwałość oraz porównanie trwałości ciągadeł, wykonanych z różnych minerałów;

7) orientacja płytek ostrzy mineralnych (diamentowych), służących do obróbki wiórowej metali nieżelaznych.

LITERATURA

[1] Calikowski R. Analiza pracy łożysk przyrządów precyzyjnych (Technika Lotnicza, nr 2, 1955)
[2] Pflier M. P. Lagerung des beweglichen Organs von Messgeräten (Zeitschrift VDI, 1941)
[3] Seitz P. La fabrication des pierres de horlogerie (The American Horologist and jeweller, nr 2, 1951)
[4] Jewel Bearings — Instr. Prakt. 8.1950
[5] Jakob B. Neue Wage bei Herstellung von Uhrensteinen (FGT, 7, 1952)
[6] Syntetyczne kamienie łożyskowe (Mechanik, 5, 1951)
[7] Grodzieński P. Herstellung von Lagersteinen (Techn. Rundschau, 22—26, 1952)
[8] Calikowski R. Pomiar małych momentów tarcia (Technika Lotnicza, 4, 1955)
[9] Marlin H. Neue Ultraschallgeber (FGT, 3, 1952)
[10] Fortmeyer A. Probleme der Feindrahttechnik (FGT, 11, 1954)
[11] Calikowski R. Przyrządy do pomiaru dużych sił (Mechanik, 3—4, 1950)
[12] Calikowski R. Zastosowanie krajowych surowców mineralnych do produkcji łożysk przyrządów precyzyjnych (Referaty) SIMP, nr 22, 1955)

MGR INŻ. ZBIGNIEW GUZEK
MGR INŻ. ZBIGNIEW ŚWIĘCKI
Politechnika Wrocławska
Katedra Ceramiki

Surowce ceramiczne dla elektrotechniki

621.315.612:621.3(438)

Treść. Stosowane obecnie tworzywa ceramiczne w przemyśle elektrotechnicznym i surowce potrzebne do ich wytwarzania. Możliwości krajowe w dziedzinie tych tworzyw, szczególnie kaolinu i skaleni. Wnioski.

1. Tworzywa ceramiczne dla ceramiki elektrotechnicznej.

Tworzywa ceramiczne znajdują w elektrotechnice i przemysłach z nią związanych coraz szersze zastosowanie jako materiały izolacyjne wobec wciąż nowych odkryć naukowych, związanych z badaniem chemicznych połączeń tlenkowych.

Z tworzyw tych na pierwszy plan wysuwa się porcelana jako izolator na niskie i wysokie napięcia. Do tych celów można by stosować izolatory kamionkowe, a także talkowe, zwane zwykle steatytowymi, jednak technologia tych ostatnich, szczególnie na potrzeby wysokich napięć jest mniej znana. Wyroby talkowe o różnej zawartości talku znajdują szerokie zastosowanie w elektrotermii oraz przy prądach wielkiej częstotliwości, a więc w teletechnice, radiotechnice i telewizji. W elektrotermii również stosuje się wyroby szamotowe, chociaż mają one gorsze właściwości niż wyroby talkowe, zawierające w sobie jako niezależną fazę krystaliczną kordieryt o małej rozszerzalności cieplnej. Natomiast lepsze właściwości od wyrobów talkowych wykazują materiały o dużej zawartości tlenku glinu, gdyż łączą w sobie duży opór elektryczny w wysokich temperaturach z dużą odpornością na nagłe zmiany temperatury oraz dużą wytrzymałością mechaniczną. Specjalne izolatory, wykazujące duży opór elektryczny w bardzo wysokich temperaturach, zawierają tlenek berylu; znajdują one zastosowanie na części pieców indukcyjnych itp.

Osobny dział produkcji stanowi ceramika dla techniki wielkiej częstotliwości. Występują tu materiały odznaczające się małą stratnością w polach wielkiej częstotliwości, a więc wymienione wyżej wyroby talkowe znane pod różnymi nazwami firmowymi („kerafar", „condensa" itp.), materiały o bardzo dużej stałej dielektrycznej, zawierające tytanian baru, tytanian strontu, cyrkonian ołowiu, cyniany, lantaniany i inne substancje tlenkowe. Należą tu również materiały o bardziej stałych własnościach elektrycznych przy różnych temperaturach i obciążeniach elektrycznych będące mieszaninami kryształów o różnych właściwościach. Technologia ich wytwarzania wymaga często bardzo precyzyjnego postępowania, specjalnych urządzeń i szkolonego personelu, natomiast skala produkcji jest niewielka ze względu na ograniczone zastosowanie.

2. Surowce elektrotechnicznych tworzyw ceramicznych.

Dla zorientowania się w możliwości produkcji tworzyw ceramicznych w naszym kraju należy zbadać zagadnienie surowców, przy czym pożądane jest oprzeć się na własnych surowcach, ponieważ umożliwia to bardziej równomierną ich dostawę dla zakładów pracy i uniezależnia od zagranicznych stosunków handlowych i politycznych.

Aby zorientować się we własnych możliwościach surowcowych, trzeba przede wszystkim określić wymagania stawiane surowcom.

Porcelana elektrotechniczna.

W skład masy porcelanowej wchodzą kaolin, skaleń i kwarc jako surowce zasadnicze. Można wprowadzać także niewielkie ilości glin plastycznych.

Do porcelany używa się kaolinu wzbogaconego przez pławienie, elektroforezę lub separację powietrzną. Kaolin wzbogacony tym ostatnim sposobem ma gorsze właściwości i nie należy go stosować do porcelany elektrotechnicznej, szczególnie wysokonapięciowej. Wzbogacony kaolin zawsze zawiera niewielkie ilości kwarcu i skalenia zupełnie nieszkodliwe dla wytwarzania porcelany oraz zanieczyszczenia niepożądane, jak łyszczyki, tlenek żelaza, tlenek tytanu, tlenek wapnia i inne. Zawartość tych ostatnich w surowym kaolinie jest przeważnie niewielka, a jednak nie można go przerabiać tylko przez zmielenie i dozowanie bezpośrednie do mas porcelanowych, gdyż większość surowych kaolinów zawiera czystego kaolinu (gliny właściwej) mniej niż 50% i nieodpowiedni stosunek kwarcu do skalenia, co uniemożliwia sporządzenie z niego masy porcelanowej, a ponadto prawie każde złoże kaolinu ma zmienny skład mineralny i przy pominięciu starannego dozowania produkt byłby nieustalony w swym składzie chemicznym i mineralnym.

Wyjątkowo w Chinach i w Japonii spotyka się surowiec będący gotową masą porcelanową. Normalnie stwarza się ją w procesie technologicznym, a jej jakość zależy od stałości składu chemicznego i mineralnego użytych surowców. Stosowanie do takiej masy kaolinu wzbogaconego jest gwarancją stałości jego składu.

Rozróżniamy trzy rodzaje skaleni: potasowy $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ występujący w przyrodzie w formie jednoskośnego ortoklazu lub trójskośnego mikroklinu, sodowy $Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ (spotykany jako trójskośny albit oraz wapniowy $CaO.Al_2O_3\ 2SiO_2$) tworzący trójskośny anortyt. Do potrzeb elektrotechniki najlepszy jest skaleń potasowy. Skaleń sodowy — ze względu na mniejsze wymiary jonu sodowego — nadaje porcelanie lepszą przewodność elektryczną, co w warunkach działania wysokiego napięcia i podwyższonej temperatury może być powodem przebicia elektrycznych części izolujących. Skaleń wapniowy zawiera mało krzemionki, co jest powodem dużego spadku lepkości ze wzrostem temperatury oraz małej lepkości po stopieniu, co może powodować deformacje wyrobów w czasie wypalania.

Najkorzystniejsze dla porcelany elektrotechnicznej skalenie potasowe występują w większych ilościach jedynie na półwyspie skandynawskim i w Finlandii. Dlatego inne kraje bardzo często stosują skalenie rodzime, do których zalicza się przede wszystkim pegmatyty i trachity, zawierające oprócz mieszaniny 3 skaleni (z przewagą potasowego) także kaolin i kwarc. Ponieważ ich składy mineralne i chemiczne wahają się w obrębie złoża, zachodzi przy ich eksploatacji dodatkowa trudność homogenizacji produktu oraz potrzeba ostrej kontroli jego składu. Pegmatyty mniej nadają się na porcelanę elektrotechniczną ze względu na zawartość skalenia sodowego. Jako surowca skaleniowego można użyć również skał pochodzenia magmowego, zawierających skaleń po ewentualnym oczyszczeniu ze składników niepożądanych.

Kwarc. Kwarcyty i piaski kwarcowe zawierają często powyżej 99 % SiO_2 i nadają się w zupełności do produkcji porcelany elektrotechnicznej (na porcelanę stołową pożądany jest kryształ górski).

Gliny plastyczne. Im więcej gliny wprowadzi się do masy porcelanowej, a mniej kaolinu, tym więcej własności wyrobu będą zbliżać się do kamionki. Nie jest to rzeczą niepożądaną z punktu widzenia wymagań elektrotechniki. Na tej drodze można na przykład podwyższyć wytrzymałość mechaniczną tworzywa, obniżając jednocześnie koszty produkcji. Prowadzi to jednak do utrudnień technologicznych związanych z produkcją kamionki wysokogatunkowej. Ponieważ gliny nie są tak ściśle jednakowe w swym składzie, jak wzbogacone kaoliny, więc należy się liczyć z większym rozrzutem właściwości wypalonych wyrobów. Z tego względu wprowadza się raczej niewielkie ilości (kilka procentów) glin wysokoplastycznych do mas porcelany elektrotechnicznej. W Związku Radzieckim stosowano do tego celu glinę czasowjarską, w Anglii „ball clay", w Niemczech glinę „Wildstein".

Kamionka elektrotechniczna.

Pod względem mineralnym masa kamionkowa ma skład zbliżony do porcelanowej, ale ma większą zawartość zanieczyszczeń działających jako topniki (Fe_2O_3, CaO, MgO). Zasadniczo nie używa się do tych mas kaolinów, skaleni lub kwarcu, lecz dobiera się mieszaninę glin zawierających skaleń i kwarc. W tych warunkach można otrzymać wyrób o najlepszych własnościach wytrzymałościowych. W praktyce wprowadza się jednak czasem skaleń lub kwarc. Masa komionkowa powinna składać się z kilku (3—4) glin o różnej plastyczności. Gliny takie powinny mieć możliwie stały skład mineralny, gdyż przy jednakowym sposobie przerabiania masy, formowania i wypalania uzyskuje się ostatecznie produkt zależny od składu surowców. Dlatego tylko ciągła kontrola składu chemicznego i mineralnego surowców i masy może doprowadzić do dobrych wyników. Wyroby wytwarzane w ten sposób dorównują porcelanie elektrotechnicznej, przy czym produkcja jest tańsza. Dorównać własnościami porcelanie elektrotechnicznej, a nawet przewyższyć ją, mogą wyroby kamionkowe uzyskiwane ze wzbogacanych glin kamionkowych. W tym ostatnim przypadku należy oczekiwać wyższej wytrzymałości mechanicznej wyrobów kamionkowych w stosunku do porcelanowych, co wynika z zastąpienia kaolinu glinami plastycznymi.

Wyroby talkowe na niskie i wysokie napięcia.

Surowcem zasadniczym jest tu talk, uwodniony krzemian magnezu, dla którego przyjęto wzór chemiczny $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$. Talk może występować w przyrodzie w formie talku blaszkowego, łupku talkowego lub steatytu, zbitej odmiany talku nadającej się do obróbki mechanicznej. Ta ostatnia forma jest najbardziej wartościowa do celów ceramicznych nie tyle ze względu na łatwą obróbkę, ponieważ obecnie rzadko wytwarza się wyroby z nieprzerobionego surowca, ale dlatego, że talk występuje tu w najczystszej postaci oraz w najbardziej ustalonym składzie. Najmniej wartościowe są łupki talkowe zanieczyszczone znaczną ilością tlenków żelaza, wapnia, a często zawierające także siarczany. Zmielony talk do celów ceramicznych produkcyjnych może, oczywiście, wykazywać odchylenia od idealnego składu chemicznego. Bardzo ważne jest jednak, aby zachowywał ten sam skład, ponieważ w procesie wypalania wyrobów zawierających talk istnieje mała rozpiętość między temperaturą spiekania a temperaturą deformacji. Wypalanie musi być bardzo ostrożne i nawet niewielka zmiana składu ustalonej masy może doprowadzić do zniszczenia całego wsadu piecowego. Stąd wypływa konieczność ścisłej kontroli i stosowania jedynie talku wysokowartościowego.

Innymi surowcami do produkcji wyrobów talkowych są kaoliny, gliny plastyczne i bentonity. Użycie ich jest konieczne, jeżeli formuje się wyroby z mas plastycznych lub odlewanych. Tu szczególnego znaczenia nabierają dodatki niewielkich ilości bentonitów. Gliny bentonitowe, zawierające w sobie przeważnie minerał ilasty montmorylonit, odznaczają się bardzo dużą plastycznością, niewielki więc ich udział może znacznie zmienić własności masy i wpłynąć dodatnio na końcowe własności wyrobów. Ich wadą jest zmienny skład chemiczny, ponieważ wewnątrz sieci krystalicznej montmorylonit może zawierać żelazo zamiast magnezu. Dlatego ważne jest stosowanie jednakowego surowca.

Wykorzystuje się zazwyczaj każde złoże bentonitów (dostatecznie duże), bo mają one liczne zastosowania nie tylko w przemyśle ceramicznym (do betonów, farb, emulsji itd.). Przy dodawaniu innych glin należy podać te same zastrzeżenia, co przy wyrobach porcelanowych i kamionkowych. Wprowadza się je przeważnie w mniejszych ilościach, ale z powodu możliwości deformacji przy wypalaniu zaostrza się wymagania co do jednorodności składu.

Materiały elektrotermiczne.

Stosowane do celów grzejnych wyroby z talkiem w masach wyjściowych powinny zawierać jak najwięcej kordierytu, fazy krystalicznej o składzie chemicznym $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5 \div 6SiO_2$, odznaczającej się nieznaczną rozszerzalnością cieplną. Jednak im więcej jest tej fazy, tym bardziej zwęża się zakres między temperaturą spiekania a deformacji, utrudnia się bardzo wypał i zaostrza wymagania pod względem jednorodności chemicznej surowców — talku, kaolinu, skalenia. Wprowadza się tu również minerał cyrkon ($ZrO_2 \cdot SiO_2$), rozszerzający zakres możliwych temperatur wypalania i korzystnie wpływający na własności gotowych wyrobów.

Do celów elektrotechnicznych przy wysokich temperaturach stosuje się wyroby ceramiczne mulitowe lub korundowe. Zawierają one w znacznej ilości tlenek glinu, który trzeba dodawać do mas gliniastych lub kaolinowych, lub który stanowi główny składnik tych mas. Tlenek glinu uzyskuje się z boksytów i diasporów. Uzyskiwanie go z glin, kaolinów, folerytów przez bardziej skomplikowaną przeróbkę stoi ciągle pod znakiem zapytania ze względu na koszt tego procesu. Wymagania co do jednorodności chemicznej tego surowca mogą być mniejsze niż w innych przypadkach, gdyż zakres wypalania jest dość szeroki, a wpływ na własności mniej się zaznacza. Zwykle ma się jednak do czynienia z surowcem bardzo czystym, normalnie otrzymywanym po przeróbce boksytów czy diasporów.

Idealny do celów elektrotermicznych jest tlenek berylu. Ma on duży opór elektryczny w bardzo wysokich temperaturach i przewodność cieplną większą niż żelazo. Stosuje się go do specjalnych wyrobów elektrotermicznych, jednak jego szerszemu zastosowaniu stoi na przeszkodzie wysoka cena. Opłaca się eksploatacja złoża już o zawartości 0,1% berylu metalicznego, ale takich złóż jest bardzo mało. Nic nie zapowiada, że wyroby ceramiczne z tlenkiem berylu wejdą w powszechne użycie.

Specjalna ceramika dla radiotechniki, telegraficznej i telewizji.

Wymagania od surowców są tu największe, natomiast potrzebne ilości bardzo małe. Bardzo często używa się surowców chemicznie czystych, po przerobieniu ich w fabrykach chemicznych. Od talku wymagana jest — oprócz równomiernego składu — jak najmniejsza ilość zanieczyszczeń, przede wszystkim żelaza. Należy stosować talki najwyższej jakości. Dla glin bentonitowych i kaolinu ważne jest to, co powiedziano wyżej.

Tlenek tytanu. Tytan spotyka się w skorupie ziemskiej często, ale w małych ilościach. Występuje on jako TiO_2 pod postacią minerałów rutylu, anatazu i brukitu, jako minerał ilmenit związany z żelazem i w innych związkach, zawsze

zanieczyszczony innymi pierwiastkami, przede wszystkim żelazem. Dlatego zagadnienie uzyskania czystego TiO_2 jest problemem nie tyle surowcowym, ile przetwórczym przy korzystaniu z ubogich złóż i w tym kierunku dąży technika otrzymywania tytanu.

Z dalszych materiałów węglan baru występuje w przyrodzie w postaci siarczanu — barytu i węglanu — witerytu; przeróbka na czysty węglan nie jest skomplikowana. Węglan strontu występuje najczęściej jako minerał celestyn — siarczan strontu i stroncjanit — węglan strontu; uzyskiwanie czystego węglanu strontu, podobnie jak węglanu baru, jest łatwe. Tlenek cyny uzyskuje się z kasyterytu (minerał ten stanowi tlenek cyny zanieczyszczony innymi pierwiastkami). Tlenek ołowiu — głównym minerałem dostarczającym ołowiu jest siarczek ołowiu, który przerabia się na glejtę lub minię. Tlenek cyrkonu — uzyskuje się z krzemianu cyrkonu rzadko spotykanego; eksploatuje się nawet bardzo ubogie złoża. Tlenek lantanu — lantan występuje (bardzo rzadko) w piaskach monacytowych razem z innymi pierwiastkami ziem rzadkich; przeróbka jego jest trudna.

Na zakończenie przeglądu surowców dla ceramiki elektrotechnicznej należy zwrócić uwagę na materiały surowcowe konieczne do produkcji wyrobów elektrotechnicznych, choć bezpośrednio nie wchodzące w skład masy ceramicznej. Chodzi tu przede wszystkim o surowce do produkcji kapsli, w których wypala się powyższe wyroby. Najlepsze własności mają kapsle karborundowe, odznaczające się bardzo długim okresem pracy (kilkadziesiąt wypałów) i dużą przewodnością cieplną. Podstawowym surowcem jest karborund — węglik krzemu, otrzymywany sztucznie w piecach oporowych i kosztowny.

Podobne własności mogą mieć kapsle korundowe, wytwarzane ze sztucznie otrzymywanego — także drogiego — korundu. Z tego względu najczęściej stosuje się kapsle szamotowe, otrzymywane z surowych i palonych glin ogniotrwałych. Jeżeli są one dobrze zrobione i starannie używane, to mogą wytrzymać przy produkcji porcelany (temperatura powyżej 1400°C) 10 wypałów. Jest to jednak trudne zagadnienie. Pożądane jest, aby gliny stosowane do wyrobu kapsli odznaczały się dużą ogniotrwałością pod obciążeniem, tj. wysoką temperaturą mięknięcia; przy wyrobie porcelany jest to temperatura powyżej 1400°C, a zatem trudna do osiągnięcia w przypadku gliny, gdyż warunkom takim odpowiada dopiero kaolin pławiony, którego też często dodaje się.

3. Surowce krajowe — występowanie, przydatność, możliwości na przyszłość.

Wyżej wymieniono najważniejsze surowce używane w przemyśle do wytwarzania ceramicznych części elektrotechnicznych. Obecne wiadomości o bogactwach mineralnych Polski pozwalają stwierdzić, że jedynie niektóre znajdują się w naszym kraju. W wielu wypadkach istnieją wskazówki geologiczne dające technologowi-ceramikowi nadzieję na zaspokojenie jego potrzeb przy pomocy surowców krajowych.

Kaolin. W Polsce nie ma obecnie ani jednego zakładu przemysłowego przerabiającego kaolin surowy na wysokowartościowy produkt przemysłowy. W Zakładach Fajansu we Włocławku usiłowano wzbogacić kaolin (na własny użytek). Na Dolnym Śląsku kaolin występuje w wielu miejscach i być może złoża te są genetycznie powiązane. Należy tu wymienić okolicę Mirska, gdzie złoże kaolinu powstało przez rozkład gnejsów izerskich, oraz okolice Strzelina (Gębczyce, Ruprechtów) i Strzegomia (Żarów, Gola Świdnicka), gdzie kaolin powstał przez rozkład granitów. Szczególnie interesujący jest kaolin z Żarowa, ponieważ jest go dostatecznie dużo do wieloletniej eksploatacji, a zawartość czystego kaolinu w surowcu przekracza 50% (złoże standartowego kaolinu „Sedlice" zawiera poniżej 50% czystego kaolinu).

Próby pławienia powyższego kaolinu oraz próby zastosowania go do produkcji porcelany (masy i szkliwa), wykonane w Katedrze Ceramiki Politechniki Wrocławskiej oraz w Oddziale Ceramiki Instytutu Metalurgii w Gliwicach, wykazały, że nadaje się on do tego celu. Skład chemiczny kaolinu z Żarowa, pławionego metodami laboratoryjnymi, jest w zestawieniu ze standartowym kaolinem czeskim „Sedlice" następujący:

	Żarów	Sedlice
SiO_2	47,9%	47,6%
Al_2O_3	37,3%	38,3%
Fe_2O_3	0,9%	0,3%
CaO	0,2%	0,7%
MgO	0,2%	ślady
$K_2O + Na_2O$	—	0,5%
Straty po prażeniu	13,4%	12,9%

Kwestia złóż kaolinowych w kraju przedstawia się więc tym bardziej zadowalająco, że w myśl ostatnich poglądów geologów należy się ich spodziewać w wielu innych miejscowościach; występowanie tych złóż jest prawdopodobne na brzegach mioceńskich niecek z węglem brunatnym, kontaktujących ze skałami zawierającymi glinokrzemiany (M. Budkiewicz, Przegl. Geolog. 1954, zesz. 7). Natomiast ostro należy postawić problem krajowego zakładu wzbogacającego surowy kaolin przez pławienie lub elektroforezę. Powstanie takiego zakładu rozwiązałoby problem otrzymywania podstawowego surowca do produkcji porcelany elektrotechnicznej, porcelany w ogóle, a także kaolinu dla potrzeb przemysłu papierniczego itd.

Skaleń. Kwestia własnego skalenia do produkcji porcelany elektrotechnicznej jest zagadnieniem palącym. Zasoby dotychczas stosowanego krajowego skalenia „Strzeblów" są ograniczone, a poza tym własności tego surowca nie są najlepsze. Rzuca się to w oczy, jeżeli przedstawi się skład chemiczny skalenia w obrębie wykorzystywanego złoża *).

SiO_2	78 — 66%,
Al_2O_3	20 — 13%,
Fe_2O_3	0,6 — 0,1%,
CaO	1,8 — 0,0%,
MgO	0,3 — 0,0%,
$K_2O + Na_2O$	11,0 — 2,0%(Na_2O do 4,0%),
H_2O	1,9 — 0,1%.

Jak widać, skład surowca waha się w dużych granicach, w szczególności pod względem zawartości alkalii, odpowiadających zawartości skalenia; ponadto zawartość skalenia sodowego jest znaczna.

Pierwsze spostrzeżenie doprowadza do wniosku, że złoże powinno być bardzo starannie partiami wybierane i dokładnie homogenizowane przez mielenie, mieszanie itp. Poza tym przeprowadzana musi być bardzo staranna kontrola składu chemicznego i mineralnego. Ponieważ, jak wiadomo, na kopalni w Strzeblowie tego nie robi się, dostarczany skaleń może powodować i powoduje szereg nieprzyjemnych niespodzianek przy wypalaniu wyrobów oraz liczne straty. Niekorzystna jest ponadto duża zawartość sodu, która bardzo obniża opór elektryczny, szczególnie w podwyższonej temperaturze, a więc i jakość tworzywa.

Powyższe względy wysuwają konieczność zwrócenia uwagi na inne surowce skaleniowe, którymi rozporządzamy w kraju. Znane już przed wojną było złoże trachitu w okolicach Siedlec i Krzeszowic. Powstał on, jak skaleń strzeblowski, z rozkładu skał wylewnych; w przeciwieństwie do skalenia strzeblowskiego zawiera małe ilości ciemnej miki, biotytu. Skład chemiczny surowca w obrębie złoża jest następujący**):

SiO_2	76 — 75%,
TiO_2	0,5 — 0,3%,
Al_2O_3	14,5 — 14,0%,
Fe_2O_3	2,1 — 0,2%,
CaO	0,2 — 0,1%,
MgO	0,6 — 0,2%,
K_2O	7,1 — 6,8%,
Na_2O	0,5 — 0,3%,
H_2O	2,0 — 1,2%.

W stosunku do skalenia ze Strzeblowa trachit ten ma o wiele bardziej równomierny skład złoża, bardzo małą zawartość skalenia sodowego, większą zawartość Fe_2O_3 (i TiO_2). Zawartość czystego skalenia w złożu wynosi około 40% (w Strzeblowie przeciętnie około 60%).

Na porcelanę stołową trachit powyższy mniej nadaje się, ponieważ większa zawartość Fe_2O_3 i TiO_2 daje porcelanę szarą, co jest bez znaczenia dla porcelany elektrotechnicznej. Zdaniem autorów należałoby zwrócić większą uwagę na stosowanie trachitu do produkcji porcelany elektrotechnicznej, ponieważ dużo większa jednorodność surowca zapewnia łatwiejszy wypał, mniejszą ilość braków i mniejszy rozrzut własności wytwarzanych izolatorów, a o wiele mniejsza zawartość skalenia sodowego niż w skaleniu strzeblowskim ułatwia również wypalanie (zmniejsza skłonność do deformacji) i powinna dawać wyroby o lepszych własnościach elektrycznych. Wadę stanowi mała zawartość skalenia w złożu (40%). Pewien dodatek skalenia skandynawskiego byłby dlatego korzystny.

Oprócz tych znanych powszechnie złóż skalenia należy zwrócić uwagę na inne zasoby, które być może pozwolą zaspokoić

*) Bolewski. Mineralne surowce ceramiczne, 1952, t. II, str. 238.

**) Ibid.

potrzeby przemysłu. Wszędzie tam, gdzie występują skały skaleniowe, można przewidywać możliwość eksploatacji. Najczęściej występują takie skały na Dolnym Śląsku.

W serii metamorficznych łupków wschodniej części okrywy granitu karkonoskiego — między Rędzinem a Wierszowicami — występują łupki skaleniowo-kwarcytowo-serycytowe, zwane w skróceniu łupkami kwarcytowymi. Jest to przeobrażona skała bogata w skaleń potasowy i kwarc, zawierająca również pewne ilości serycytu, biotytu i chlorytu. Skład chemiczny próbki takiej skały jest następujący (Heller):

SiO_2	75,60%,
TiO_2	ślady,
Al_2O_3	11,81%,
Fe_2O_3	1,76%,
FeO	0,43%,
MnO	ślady,
K_2O	8,24%,
Na_2O	1,17%,
H_2O	0,88%,
P_2O_5	0,10%;

daje to zawartość około 50% skalenia w skale z dużą przewagą skalenia potasowego. Jak w trachicie zawartość Fe_2O_3 + + FeO około 2% dyskwalifikuje materiał do stosowania na porcelanę stołową, ale nie przeszkadza wcale w zastosowaniu go w produkcji porcelany elektrotechnicznej.

Powyższa analiza wykazuje możliwość, że 50% wymienionej skały i 50% kaolinu dadzą masę porcelanową, a po jej wypaleniu porcelanę elektrotechniczną o dobrych właściwościach. Należy pobrać szereg próbek z różnych miejsc złoża w celu określenia zmian w składzie chemicznym i mineralnym oraz zbadać masy porcelanowe zawierające ten surowiec. Nasze zasoby skały skaleniowej są duże.

Jest możliwe również, że i inne złoża skał skaleniowych mogą się nadawać jako źródło skalenia, przy czym wchodzą tu pod uwagę proste metody wzbogacania surowca (rozdrabnianie, przesiewanie, separacja magnetyczną itp.). Poszukiwanie nowych złóż skalenia jest ważne ze względu na potrzeby przemysłu elektrotechnicznego.

Kwarc. W warunkach krajowych produkcji porcelany, kamionki i innych tworzyw ceramicznych kwarc wprowadza się w dużych ilościach do mas ceramicznych łącznie z handlową postacią skalenia (np. skaleń „Strzeblów") lub z glinami. Pewne dodatki czystego kwarcu są jednak konieczne. Dla przemysłu elektrotechnicznego, gdzie barwa i przeświecalność czerepu nie odgrywają żadnej roli, zaopatrzenie w kwarc nie nastręcza trudności.

W kraju naszym występuje szereg piasków kwarcytowych o dużej czystości, jak w układach kredowych nad Pilicą na południe od Tomaszowa lub koło Zgorzelca na Dolnym Śląsku (pokłady trzeciorzędowe). Bardzo czyste są kwarcyty na Dolnym Śląsku, w Górach Świętokrzyskich, a także kwarc krystaliczny znaleziony w Białej Górze koło Szklarskiej Poręby, jak na to wskazuje jego skład chemiczny (wg analizy J. Jęczalika w Instytucie Geologii):

SiO_2	99,77	—	99,70%,
TiO_2	0,0055	—	0,0125%,
Al_2O_3	0,11	—	0,18%,
Fe_2O_3	0,005	—	0,057%,
CaO	0,03	—	0,03%,
MgO	nie stwierdzono,		
H_2O (przez prażenie)	0,30	—	0,27%.

Kwarc ten może znaleźć zastosowanie w przemyśle porcelanowym nie tylko elektrotechnicznym, a także w przemyśle szklarskim.

Gliny plastyczne wypalające się na biało występują w kraju w znacznych ilościach w okolicach Bolesławca (Nowogrodziec, Czerwona Woda i inne miejscowości). Analizy chemiczne kilku takich glin zostały wykonane w Katedrze Ceramiki Politechniki Wrocławskiej. Wyniki analizy są następujące:

	Bolko BA/S	Bolko BB/S	Anna AA/S
SiO_2	55,9%	60,2%	58,8%,
Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2	31,8%	27,9%	29,6%,
CaO	—	—	—
MgO	0,3%	0,3%	0,3%,
K_2O + Na_2O	2,5%	3,0%	2,8%,
str. praż.	10,2%	8,8%	8,9%.

Wykazują one znaczną zawartość alkalii pod postacią skalenia, wskutek czego łatwo się spiekają; poza tym mają dużą plastyczność; znajdują zastosowanie w przemyśle kamionkowym i fajansowym. Wprowadzenie ich do mas elektrotechnicznych porcelanowych jest trudne ze względu na zmiany składu chemicznego i mineralnego w czasie wybierania złoża, wysegregowanie jednak surowca o podobnych własnościach jest teoretycznie możliwe. Oczywiście, wymagana jest odpowiednia kontrola zarówno gotowego do użycia surowca, jak i pracy wyrobu w czasie eksploatacji.

Gliny kamionkowe. Oprócz wyżej wymienionych biało wypalających się glin do produkcji kamionki elektrotechnicznej używane są również inne gliny — słabo ogniotrwałe i łatwo spiekające się, przeważnie o dużej plastyczności. Należy tu wymienić przede wszystkim gliny z okolic Baranowa, chociaż w ogóle możliwości w tej dziedzinie są duże. Do celów elektrotechnicznych ważne jest przede wszystkim znalezienie i wykorzystanie surowców o jak najmniejszych wahaniach składu chemicznego i mineralnego. Praca w tym kierunku wydaje się bardzo celowa dla rozwoju przemysłu kamionki elektrotechnicznej. Należy przypuszczać, że najlepsze zagraniczne wyroby kamionkowe do celów technicznych powstały z mas, do których jako składników używano glin wzbogacanych, gwarantujących praktycznie niezmienny skład chemiczny i mineralny tych mas. Wzbogacanie glin kamionkowych należałoby więc i u nas wziąć pod uwagę.

Talk. W Polsce występują łupki talkowe na Dolnym Śląsku w okolicach Sobótki. Łupki te tworzą gniazda i ich eksploatacja byłaby trudna. Pod względem chemicznym przedstawiają materiał mało wartościowy ze względu na znaczne zanieczyszczenia tlenkami żelaza, tlenkiem wapnia i siarczanami. Bez przeróbki talk ten jest bezużyteczny do wszystkich celów ceramicznych. Inne złoża talkowe są w kraju nieznane i dotychczasowe badania geologiczne nie rokują nadziei na ich znalezienie.

Zastąpienie talku magnezytami z dodatkami kwarcu jest możliwe teoretycznie, ale praktycznie wszystkie znane pokłady magnezytów (Sobótka, Grochów na Dolnym Śląsku) wykorzystuje przemysł materiałów ogniotrwałych na potrzeby hutnictwa.

Pozostawałaby jeszcze możliwość wykorzystania soli magnezu rozpuszczonych w wodzie morskiej lub będących produktem odpadkowym przy przeróbce soli potasowych, ale opłacalność tych dróg stoi pod znakiem zapytania.

Bentonity. W Polsce nie wyzyskujemy złóż bentonitów, które występują miejscami na terenie Lubelszczyzny, istnieją więc możliwości uzyskiwania tego surowca; celowe byłoby bliższe zbadanie tego problemu.

Tlenek glinu. Podstawowych surowców do jego produkcji — boksytów i diasporów — w Polsce dotychczas nie znaleziono w postaci nadającej się do bezpośredniej eksplotacji. Istnieją jednak możliwości otrzymywania tlenku glinu z innych minerałów, wymagałoby to jednak poważnych inwestycji.

Tlenek berylu. W Górach Sowich — w pegmatytach występujących pod postacią żył i soczewek — stwierdzono obecność minerału berylu $Be_3Al_2Si_3O_{18}$ obok innych minerałów. Ilość jego jest jednak tak mała, że wydobywanie prawdopodobnie nie opłaci się, mimo wielkiej wartości i przydatności berylu w postaci tlenku do celów ceramiki elektrotermicznej, a metalicznego berylu dla metalurgii.

Tlenek tytanu. Jak zaznaczono wyżej, największą trudnością technologiczną jest uzyskiwanie czystego TiO_2. W kraju TiO_2 występuje w glinach ogniotrwałych w ilościach 1—2%. Niektóre gliny czechosłowackie zawierają do 10% TiO_2 (glina „Patria"). Większe skupienia minerałów zawierających tlenek tytanu (tytanomagnetytu i innych) znaleziono u nas we Wschodnich Karkonoszach w okolicy Pokrzywnej.

Siarczan baru jest wydobywany w Boguszowie koło Wałbrzycha i przerabiany przeważnie na barwniki litoponowe. Może być z niego produkowany również węglan baru, używany do otrzymywania tytanianu barowego dla radiotechniki, teletechniki, telewizji; możliwe jest pokrywanie całego zapotrzebowania krajowego.

Surowce zawierające stront występują na Śląsku pod Skoczowem, tworząc gniazda w wapieniu pod postacią stroncjanitu i celestynu. Eksploatacja jest prawdopodobnie (jak w Pszowie pod Rybnikiem) nieopłacalna.

Tlenek ołowiu. Można go uzyskiwać w ilościach wystarczających dla omawianych celów ze złóż kruszcu ołowiowego z okolic Olkusza.

Tlenek cyrkonu. Piaski zawierające minerał cyrkon $ZrO_2 \cdot SiO_2$ znaleziono koło Szczecina. Koncentracja cyrkonu w nich jest jednak bardzo mała, przeróbka więc do celów produkcyjnych prawdopodobnie nie opłaci się.

Brak jest na naszych ziemiach cyny, lantanu, pierwiastków ziem rzadkich, znajdujących zastosowanie w omawianej wytwórczości.

Surowce na materiały pomocnicze do produkcji ceramiki elektrotechnicznej. Istnieją trudności w dostawie glin do produkcji kapsli. Glin o dużej ogniotrwałości pod obciążeniem, potrzebnych do tego celu, jest w ogóle mało. W warunkach krajowych wchodzi w rachubę — poza pławionym kaolinem — jedynie glina „Żarnów", która jest jednak w całości zużywana przez przemysł materiałów ogniotrwałych. Być może należałoby przejść na kapsle karborundowe, które są co prawda droższe, ale o wiele lepsze i prawdopodobnie ekonomiczniejsze. Podstawowy surowiec do tego celu — karborund — jest produkowany w kraju w Łaziskach.

4. Wnioski.

1) Porównanie zapotrzebowania surowców ceramicznych dla ceramiki elektrotechnicznej z możliwościami krajowymi w tym zakresie pozwala stwierdzić, co następuje:

a) eksploatacja złóż cyny, pierwiastków ziem rzadkich oraz talku jest na ziemiach polskich prawdopodobnie nieopłacalna;

b) jest bardzo prawdopodobne, że nie opłaci się eksploatować berylu, cyrkonu, strontu z powodu ubóstwa posiadanych złóż;

c) jest możliwe pokrycie zapotrzebowania surowców skaleniowych;

d) pokrycie zapotrzebowania kaolinu pławionego lub elektroforetycznego, glin kamionkowych oraz surowców do produkcji kapsli jest zapewnione drogą pewnych nakładów inwestycyjnych.

2) Należy zbudować zakład wzbogacający kaolin z Żarowa; badania wstępne powinny rozstrzygnąć wybór zastosowania w nim elektroforezy czy pławienia.

3) Należy przeprowadzić badania laboratoryjne nad wzbogacaniem glin kamionkowych najwyższego gatunku.

4) Trzeba przeprowadzić intensywne badania laboratoryjne, półtechniczne i techniczne co do przydatności dla porcelany elektrotechnicznej trachitu z Siedlec oraz łupków kwarcytowo-skaleniowych z okolic Rędzina.

5) Powinno się wszcząć poszukiwania (łącznie z badaniami laboratoryjnymi) nowych surowców skaleniowych.

LITERATURA

Bolewski. Mineralne surowce ceramiczne, 1952, tom II
Krajewski R. Zarys nauki o złożach surowców mineralnych, 1954
Przegląd Geologiczny, rocznik 1954

PROF. DR INŻ. L. WINOGRADOW
Inst. Przem. Szkła i Ceramiki

Porcelana elektrotechniczna

621.315.612.2:621.315.612:621.316.62

Treść. Właściwości mechaniczne i elektryczne mas na izolatory dla wysokich napięć, zależne od zestawu oraz sposobu i temperatury wypału. Rola szkliwa, którego zestaw winien być chemicznie odporny, a współczynnik rozszerzalności właściwie dobrany. Duże znaczenie stosowania szkliw półprzewodzących na izolatory napowietrzne oraz odgromniki iskrowe. Ważność gospodarcza stosowania na izolatory elektryczne mas porcelitowych z surowców krajowych oraz kamionkowych, które są tańsze w przerobie od porcelitowych. Metody formowania i wypału izolatorów do świec zapłonowych. Wprowadzanie talku chińskiego do produkcji izolatorów.

1. Wstęp.

Do wytwarzania izolatorów elektrycznych — liniowych i aparatowych — znalazła zastosowanie prawie wyłącznie porcelana. W pierwszym okresie produkcja izolatorów odbywała się w fabrykach naczyń stołowych i była traktowana tam jako uboczna. W miarę rozwoju elektrotechniki i wzrostu napięć przesyłowych wzrastały wymagania stawiane porcelanie elektrotechnicznej. Obecnie przemysł ceramiczny już produkuje szereg mas porcelanowych bardziej dostosowanych do wymagań elektrotechniki i produkcja porcelany elektrotechnicznej już tworzy nową, niezależną od stołowizny, gałąź ceramiki. Dobór właściwych mas do różnych potrzeb elektrotechniki zajmuje dziś uwagę wielu naukowców w różnych krajach. Podstawowe cechy charakterystyczne mas nie będą tu omawiane, gdyż można je znaleźć w literaturze i w normach.

2. Izolatory do wysokich napięć.

Problemy technologii mas porcelanowych na izolatory wysokiego napięcia. Własności mechaniczne i elektryczne mas zależą od sposobu wypalania. Ta sama masa ma odmienne własności w zależności od końcowej temperatury i czasu jej trwania. W praktyce nie ma możliwości otrzymywać z jednej masy tworzywa, posiadającego wyłącznie dodatnie cechy. Warunki, sprzyjające uzyskaniu dodatnich własności mechanicznych, wpływają ujemnie na własności elektryczne. Obecność znacznej ilości fazy szklistej tworzącej się na skutek dłuższego oddziaływania wysokiej temperatury obniża wytrzymałość na rozciąganie, podnosząc jednocześnie wytrzymałość na przebicie. Okoliczność ta daje technologowi możliwość doboru własności izolatorów w zależności od stawianych im wymagań. Na przykład zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie izolatorów wiszących daje się osiągnąć przez właściwe dopasowanie techniki wypalania. Dla niektórych typów izolatorów pracujących pod dużym obciążeniem elektrycznym, a nie mechanicznym, korzystne jest zwiększenie wytrzymałości elektrycznej kosztem mechanicznej. W fabrykach posiadających piece okresowego działania, to zróżniczkowanie warunków wypalania osiągamy przez właściwe dobieranie miejsca w piecu, w którym różnego typu izolatory są ustawiane do obróbki termicznej.

W piecach okresowego działania układ temperatur jest zależny od odległości od palenisk i od wysokości, na której znajdują się wypalane wyroby; wskutek tego dokładne rozpoznanie przebiegu izoterm i opanowanie procesu wypalania w takim stopniu, żeby uzyskać powtarzalność warunków termicznych i atmosferycznych, jest nieodzownym warunkiem do otrzymania izolatorów dobrej jakości. Wymaga to wysokiej kwalifikacji zawodowej palaczy i pełnego wyposażenia pieców w aparaturę kontrolno-pomiarową, jak pirometry samopiszące, ciągomierze i automatyczne gazoanalizatory, oraz stosowania właściwie dobranego paliwa. Wypalanie izolatorów w piecu tunelowym ułatwia uzyskanie pożądanej struktury. Sprzyja temu mały przekrój wózka i możliwość zmiany prędkości posuwu, dzięki czemu można regulować stopień witrifikacji oraz szybkość tworzenia się i wzrostu kryształów mulitu.

Jak wiadomo, na własności masy wywierają wpływ skład fazy szklistej i struktura mineralogiczna. Niektóre tlenki metali (przede wszystkim Na_2O i K_2O), wchodzące w skład fazy szklistej masy porcelanowej, ulegają częściowej dysocjacji. Ruchliwość kationów wzrasta z temperaturą. Powoduje to zmniejszenie oporności właściwej masy. Wytrzymałość na przebicie gwałtownie zmniejsza się ze wzrostem temperatury. Okoliczność ta ogranicza zastosowanie izolatorów porcelanowych do zakresu niskich temperatur.

Chcąc poprawić własności izolatorów, przeznaczonych do pracy w wyższych temperaturach, stosujemy masy i szkliwa, w których alkalia są częściowo zastąpione magnezem, wapniem albo barem. Krzemiany tych metali dysocjują w mniejszym stopniu, a kationy mają znacznie mniejszą ruchliwość. Na strukturę mineralogiczną masy duży wpływ wywiera stopień zmielenia poszczególnych składników. Na przykład zbyt drobno zmielony kwarc, mający dużą powierzchnię aktywną, łatwo rozpuszcza się w szkle skaleniowym, nie pozostawiając w masie kryształów, korzystnych do uzyskania wytrzymałości mechanicznej.

Istnieje zależność między składem masy na izolatory, a temperaturą wypalania. Skład masy i temperatura muszą być ściśle do siebie dopasowane. Nie istnieje jedna „najlepsza" receptura dla masy porcelanowej. Wahania w zestawie poszczególnych mas mogą być bardzo duże, a pomimo tego przy właściwie dobranym procesie wypału uzyskuje się wymagane własności wyrobów.

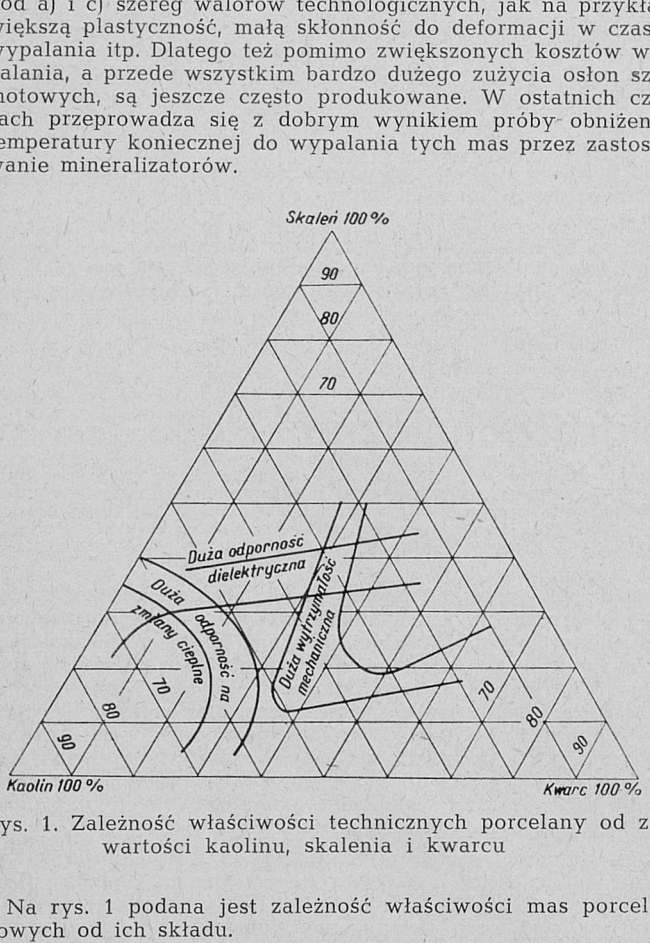
Według składu i temperatury wypalania można masy podzielić na trzy grupy:

a) Masy, zawierające zwiększoną ilość skalenia (33—36%), wymagają do wypalania niskiej temperatury (1300—1320°C). Próby eksploatacyjne w ZSRR wykazały, że izolatory z mas tego typu mają — pomimo obecności znacznej ilości alka-

liów — jakość zadowalającą. Daje się to wytłumaczyć dużą spoistością czerepu i korzystnym składem powstałej fazy szklistej o dużej zawartości SiO_2 i Al_2O_3 (w tej temperaturze ze szkła nie wydzieliły się w znaczniejszej ilości kryształy mulitu).

b) Izolatory z mas o zwiększonej zawartości kwarcu (33—41%) wymagają wypalania w temperaturze około 1350°C.

c) Izolatory z masy porcelanowej o składzie klasycznym — zawartość kaolinu 45—50%, skalenia i kwarcu po ~ 25% — wymagają temperatury wypalania nie mniejszej od 1400°. Masy tego typu mają w porównaniu z masami wymienionymi pod a) i c) szereg walorów technologicznych, jak na przykład większą plastyczność, małą skłonność do deformacji w czasie wypalania itp. Dlatego też pomimo zwiększonych kosztów wypalania, a przede wszystkim bardzo dużego zużycia osłon szamotowych, są jeszcze często produkowane. W ostatnich czasach przeprowadza się z dobrym wynikiem próby obniżenia temperatury koniecznej do wypalania tych mas przez zastosowanie mineralizatorów.



Rys. 1. Zależność właściwości technicznych porcelany od zawartości kaolinu, skalenia i kwarcu

Na rys. 1 podana jest zależność właściwości mas porcelanowych od ich składu.

W sprawie zależności między barwą czerepu a własnościami mas izolatorowych należy stwierdzić, że odcień masy porcelanowej nie ma żadnego wpływu na właściwości mechaniczne i elektryczne wyrobów. Żądanie przez niektórych odbiorców białego koloru czerepu nie ma uzasadnienia technicznego; wywodzi się ono z tradycji powstałej w okresie, kiedy poszczególne prywatne firmy starały się ze względów konkurencyjnych produkować wyroby o jak najbardziej jasnym zabarwieniu czerepu.

W obecnych warunkach byłoby marnotrawstwem stosowanie bardziej deficytowych surowców w celu uzyskania jaśniejszego odcienia porcelany elektrotechnicznej. Ta okoliczność, że kolor masy jest bez znaczenia, stwarza możliwości stosowania do produkcji izolatorów wysokonapięciowych porcelitu i kamionki. Będzie o tym mowa niżej *).

Niektóre problemy z dziedziny szkliw. Szkliwo powinno mieć lśniącą lustrzaną powierzchnię. Matowa, względnie chropowata powierzchnia izolatorów łatwo zanieczyszcza się sadzą, lotnym popiołem, pyłem pochodzącym z fabryk chemicznych albo metalurgicznych, a w dzielnicach przymorskich — osadem zawierającym sole. Wilgoć cementuje te zanieczyszczenia i powoduje powstawanie powłok, które znacznie zwiększają niebezpieczeństwo przeskoku. Powłoki te nie są zmywane przez deszcze, a mechaniczne usunięcie ich jest kosztowne, gdyż wymaga dużo czasu i pracy. Ustalenie stopnia gładkości szkliwa dokonuje się profilografem, albo metodą pomiaru stopnia odbicia światła przy pomocy specjalnie do tego celu przystosowanych fotometrów. Dobre szkliwo nie powinno wykazywać nierówności przekraczających 0,3 mikrona.

Szkliwo izolatorów powinno odznaczać się dużą odpornością chemiczną, nie powinno zmieniać swoich własności w przeciągu wielu dziesiątków lat; niedopuszczalne jest występowanie nawet powierzchniowej korozji na skutek działania wody, zawierającej kwasy albo ługi z wyziewów przemysłowych. Korozja spowodowałaby zmatowienie powierzchni, co z powodów podanych wyżej jest bardzo szkodliwe.

Należy dobierać właściwie współczynnik rozszerzalności szkliwa. Powinien on być nieco mniejszy od współczynnika rozszerzalności masy. Wytrzymałość porcelany, chronionej dobrze dobranym szkliwem, jest na rozciąganie o 30—70% większa niż porcelany bez szkliwa, a wytrzymałość na ściskanie o 20—50% większa. Przyczyna tak dużego wpływu niektórych szkliw na wytrzymałość porcelany nie jest jeszcze w dostatecznej mierze zbadana i w tej sprawie poglądy badaczy są sprzeczne, jednak szereg prac doświadczalnych stwierdza ten wpływ dla większości dobrze dobranych szkliw.

Jako właściwą grubość warstwy szkliwa przyjmuje się 0,1 do 0,3 mm; otrzymuje się przy niej najlepsze wyniki wytrzymałościowe, natomiast grubsza warstwa przeważnie obniża wskaźniki wytrzymałościowe.

Na wytrzymałość mechaniczną izolatorów wywiera pewien wpływ dodatni dodanie do szkliwa tlenków metali w określonych ilościach. W większości szkliw obecność MgO, CaO i ZnO wpływa dodatnio prawdopodobnie z powodu tego, że tlenki te zwiększają moduł sprężystości szkliwa.

Barwa szkliwa nie ma wpływu na właściwości izolatorów w obudowie lub pracujących wewnątrz budynków, natomiast ma ona duży, aczkolwiek pośredni, wpływ na jakość izolatorów sieci napowietrznych i aparatów pracujących poza budynkami: ciemno szkliwione izolatory pochłaniając więcej promieni cieplnych mocniej nagrzewają się w rannych godzinach, wskutek czego szybciej z nich wyparowuje rosa. Jak wiadomo, rosa przy zakurzonych izolatorach znacznie obniża opór powierzchniowy; im prędzej wyschnie izolator, tym mniejsze są możliwości przeskoku. Poza tym ciemne izolatory są mniej widoczne z samolotów, co też może mieć znaczenie.

Porcelana niskonapięciowa prasowana. Obecnie produkowane wyroby prasowane wykazują przeważnie niedostatecznie spoistą strukturę, co zmniejsza ich wytrzymałość mechaniczną i dielektryczną. Przez odpowiednie granulowanie masy do wytłaczania można uzyskać znaczne podwyższenie jakości wyrobów.

Znaczne zwiększenie wytrzymałości mechanicznej i termicznej prasowanych kształtek osiągamy przez zastosowanie masy steatytowej. Dotychczas istniały poważne trudności technologiczne, które odstraszały przemysł od wytwarzania wyrobów steatytowych. Masy steatytowe z talków bawarskich, austriackich, czeskich, rumuńskich wykazywały bardzo mały odstęp między temperaturami zagęszczenia się masy i początku deformacji (zaledwie 15—20°C). Otrzymany ostatnio chiński talk wyróżnia się — jak wykazały próby wytwarzania z niego mas steatytowych — wyjątkową czystością, a uzyskane z niego masy mają trzykrotnie większą rozpiętość między temperaturą zagęszczenia się czerepu a początkiem deformacji. Okoliczność ta umożliwia wypalanie wyrobów steatytowych w zwykłych piecach do porcelany, a nawet wspólnie z izolatorami porcelanowymi.

Przy zastosowaniu domieszki talku chińskiego do porcelany istnieje możliwość produkowania nieszkliwionych wyrobów ceramicznych, które będą otrzymywać powłokę szklistą podczas wypalania. Przyczyna tego zjawiska nie jest jeszcze bliżej zbadana. Przypuszczalnie podczas wypalania tworzy się faza szklista o wysokim napięciu powierzchniowym i małej lepkości; występując na powierzchni wyrobów faza ta tworzy powłokę. Dodatnią cechą powyższej masy jest to, że występowanie powłoki szklistej nie powiększa skłonności do deformacji wyrobów. Przeprowadzone w ostatnich miesiącach próby z tego typu masami dały bardzo ciekawe wyniki.

3. Nowe problemy z dziedziny izolatorów elektrotechnicznych

a) Izolatory wysokonapięciowe, silno- i słaboprądowe oraz instalacyjno-montażowe z porcelitu i kamionki. Stosowane do produkcji izola-

*) Por. Skowroński J. I., Juchniewicz J., Widurski T. Kamionka jako materiał izolacyjny dla elektrotechniki (str. 675 niniejszego zeszytu).

torów masy porcelanowe składają się przeważnie z importowanych surowców — kaolinu i częściowo skalenia, jedynie kwarc jest wprowadzany do masy w postaci krajowego piasku. Ponieważ masy porcelanowe mają mało topników, trzeba je wypalać w temperaturze 1380—1410°C, co z kolei wymaga zastosowania bardzo ogniotrwałych glin do produkcji osłon.

Zamiana masy porcelanowej przez masę porcelitową, składającą się z krajowych białowypalających się glin — pegmatytu i dolomitu, zaoszczędzi nam dewiz i węgla oraz — co jest nie mniej istotne — umożliwi wykonanie osłon z niedeficytowych surowców i zwiększy wielokrotnie obracalność tych osłon.

Ponieważ w masach porcelitowych i kamionkowych występują jako topniki tlenki żelaza i tytanu, można zastosować zestawy zawierające mniejszą — w porównaniu z porcelaną — zawartość alkalii. Należy się spodziewać, że przez to ich oporność elektryczna będzie mniej uzależniona od temperatury. Sam proces technologiczny produkcji izolatorów z porcelitu (poza wypałem) niewiele odbiega od procesu przy produkcji izolatorów z porcelany i może się odbywać w każdej fabryce porcelany albo nawet fajansu.

Izolatory z kamionki w składzie masy nieznacznie odróżniają się od mas porcelitowych. Natomiast metody przeróbki masy stosowane przy wytwarzaniu kamionki są prostsze i znacznie tańsze. Toteż bardzo ważne z punktu widzenia gospodarczego jest przeprowadzenie prób w skali półtechnicznej i zbadanie własności mechanicznych i elektrycznych zarówno na znormalizowanych kształtkach, jak i na wytypowanych izolatorach z kamionki i z porcelitu.

Znaczenie ekonomiczne zastosowania w produkcji izolatorów z mas porcelitowych procesu technologicznego, stosowanego w produkcji wyrobów kamionkowych, jest tak duże, że powinno być traktowane jako czołowe zadanie do badań w Zakładzie Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki (Wrocław), w Katedrze Technologii Wyrobów Fajansowych i Porcelanowych A. G. H. (Kraków) oraz w Instytucie Przemysłu Szkła i Ceramiki (Warszawa).

b) Szkliwa półprzewodzące. W ostatnich czasach do łańcuchów izolatorów wiszących zaczęto stosować szkliwa półprzewodzące. Zastosowanie tego rodzaju szkliw wyrównuje napięcie oddziaływujące na poszczególne ogniwa. Ma to duże znaczenie szczególnie przy liniach napowietrznych stosowanych w warunkach dużej wilgotności.

Przy stosowaniu izolatorów z półprzewodzącym szkliwem należy uwzględniać konieczność nieprzekraczania największego dopuszczalnego na jedno ogniwo napięcia. W razie przekroczenia tego napięcia przepływający przez szkliwo prąd nagrzewa je w stopniu przekraczającym możliwości odprowadzenia ciepła drogą promieniowania i konwekcji. Nagrzewanie zmniejsza oporność, wskutek czego wzrasta natężenie przepływającego prądu i w końcu musi nastąpić zniszczenie izolatora.

Stosowane do izolatorów wiszących szkliwo półprzewodzące powinno mieć w temperaturze 20°C oporność właściwą powierzchniową ok. 10 megomów. Szkliwa półprzewodzące znajdują również zastosowanie w izolatorach odgromników iskrowych.

Własności półprzewodników uzyskuje się w szkliwach przez wprowadzenie do zestawu dużych ilości łatwo redukujących się tlenków metali, jak np. Fe_2O_3 albo CuO. Podczas obróbki termicznej w atmosferze redukcyjnej tlenki te częściowo rozpuszczają się w szkliwie, nadmiar zaś przechodzi w niższy stopień utleniania (w Fe_3O_4 względnie Cu) i tworzą w szkliwie nieprzerwaną krystaliczną siatkę, która wywołuje przewodnictwo szkliwa w całej jego grubości.

Szkliwa półprzewodzące stanowią problem, który wymaga szczegółowego opracowania na przykład przez Katedrę Technologii w A. G. H. wspólnie z Zakładem Materiałoznawstwa IEl.

c) Produkcja izolatorów wsporczych z uszczelnionym wnętrzem. Uszczelnienie ma tu na celu niedopuszczenie do wnętrza izolatora wilgoci. Przy opracowaniu tego zagadnienia należy przede wszystkim znaleźć metodę trwałej hermetyzacji przestrzeni zapełnionej właściwie dobranym gazem. Prace w tym kierunku są na ukończeniu.

d) Metalizacja otworów w izolatorach przepustowych. Zabieg ten, który znalazł szerokie zastosowanie za granicą, nie jest u nas wprowadzony. Należy jak najprędzej opracować właściwą aparaturę i technologię.

e) Izolatory ceramiczne do świec zapłonowych. Poważnym problemem w ceramice elektrotechnicznej jest technologia izolatorów do świec zapłonowych. Izolatory te pracują w ciężkich warunkach eksploatacyjnych i stawiane są im bardzo wysokie wymagania. Muszą one mieć dużą oporność skrośną w wysokich temperaturach, dużą wytrzymałość mechaniczną i termiczną oraz możliwie duże przewodnictwo cieplne. Tym wszystkim warunkom nie odpowiada zwykła porcelana.

W Polsce dotychczas izolatorów do świec nie produkowano. Za granicą obecnie są wytwarzane izolatory przeważnie z mas sylimanitowych, mulitowych i korundowych. Dawniej produkowano przede wszystkim izolatory steatytowe, jednak z powodu trudności technologicznych, o których była mowa w rozdz. 2, zastąpiono je izolatorami z mas mulitowych i korundowych. W pierwszym etapie przygotowanie do produkcji izolatorów do świec poszło u nas w kierunku opracowania mas mulitowych z krajowych surowców. Największe trudności nastręczała niezwykle drobna granulacja zastosowanego tlenku glinu ($< 5\ \mu$). Tlenek ten był produkowany według patentu prof. Grzymka w cementowni groszowickiej. Systematycznie przeprowadzone próby doprowadziły do opracowania recepty i ustalenia metody formowania i wypalania izolatorów, łatwej do zastosowania w istniejących u nas warunkach. Temperatura wypalania tych izolatorów wynosi 1400°C, czyli nie odbiega od temperatury wypalania porcelany. Uzyskano izolatory odpowiadające jakościowo importowanym świecom samochodowym.

Obecnie przeprowadza się dalsze badania w kierunku usprawnienia i potanienia procesu formowania, jak również w kierunku podniesienia własności dielektrycznych i mechanicznych przez wprowadzenie do zestawu tlenku boru i cyrkonu.

Pierwsze próby wykonania izolatorów korundowych z tlenku glinu z Groszowic nie dały pomyślnych wyników. Uzyskane masy wykazywały niedostateczną oporność elektryczną w podwyższonej temperaturze. Poza tym temperatura wypalania tego typu izolatorów wynosi około 1700°C, co stwarza w naszych warunkach poważne trudności technologiczne.

Niezależnie od tych prac przeprowadza się próby wytwarzania izolatorów steatytowych z talku chińskiego, który — jak zaznaczono wyżej — umożliwia uzyskanie mas o dużej rozpiętości między temperaturą zagęszczenia się czerepu a temperaturą początku deformacji. Wstępne wyniki wypadły pomyślnie. Wydaje się, że zawdzięczając wyjątkowym własnościom chińskiego talku uda się opracować prostą technologię produkcji steatytowych izolatorów wysokiej jakości.

4. Zagadnienie kadr.

Zakłady ceramiczne produkujące izolatory mają niedostateczną obsadę fachową; w niektórych fabrykach nie ma ani jednego pracownika z wyższym wykształceniem. Rosnące wymagania, stawiane gotowym wyrobom, mechanizacja procesów produkcyjnych, konieczność zorganizowania przy wszystkich fabrykach laboratoriów kontrolnych, a przy większych zakładach laboratoriów badawczych, wymagają wykształcenia i skierowania do przemysłu kilkudziesięciu inżynierów ceramików wyspecjalizowanych w technologii porcelany elektrotechnicznej. Dla wykonania tego zadania należy przy Katedrze Ceramiki Szlachetnej Wydziału Ceramicznego A. G. H. zorganizować zakład ceramiki elektrotechnicznej.

5. Planowanie i wykonywanie prac naukowo-badawczych.

Należy ustalić postępowanie przy sporządzaniu planu prac naukowo-badawczych, żeby uniknąć dublowania w wykonywaniu prac przez różne instytucje badawcze, a przede wszystkim w celu wyboru najbardziej aktualnej tematyki. Plan powinien być uzgodniony z PAN.

Jako placówki wykonawcze prac naukowo-badawczych wchodzą w rachubę Instytut Przemysłu Szkła i Ceramiki, Katedra Ceramiki Szlachetnej Wydziału Ceramicznego A. G. H., Katedry Ceramiki Politechnik Gdańskiej, Wrocławskiej, Gliwickiej i Warszawskiej, Instytut Elektrotechniki i P. I. T. oraz laboratoria zakładów przemysłowych. Do finansowania tych prac należałoby uzyskać pomoc PAN.

LITERATURA

Barzakowski, Dubroko. Fiziko-chimiczeskije swojstwa głazuriej wysokowoltnowo farfora (Wyd. Akad. Nauk ZSRR, 1953)

Barta Pr. Jemna keramika. Sklarstvi a keramika, III dil.

Budnikow P. P. Tiechnołogja kieramiki i ognieuporow (Moskwa, 1955)

Bogorodski, Pasynkow, Tarijew. Elektrotiechniczeskije matierjały (Goseniergoizdat, Moskwa, 1951)

Palatzky A. Technische Keramik (VEB Verlag Technik, Berlin, 1954)

PROF. DR. J. I. SKOWROŃSKI
Instytut Elektrotechniki,

Szkło izolatorowe

621.315.612.6:621.315.62:621.315.61

Treść. Porównanie szkła jako materiału izolacyjnego z innymi surowcami wypada korzystnie. Dotychczasowa produkcja krajowa ogranicza się do izolatorów teletechnicznych i energetycznych niskonapięciowych. Przewiduje się rozszerzenie produkcji na izolatory wysokonapięciowe — stojące i wiszące. Szczególnie ważne jest wprowadzenie szkła hartowanego.

1. Uwagi wstępne.

Zastosowanie szkła w elektrotechnice jest tak samo dawne, jak porcelany, jednak z biegiem czasu — zwłaszcza do wyrobu izolatorów napowietrznych — materiały ceramiczne całkowicie wyparły szkło. Dopiero w ostatnich dziesiątkach lat istnieje w tej dziedzinie zwrot w niektórych krajach w kierunku stosowania szkła do izolatorów elektroenergetycznych.

Zastosowanie tego lub innego surowca musi być uwarunkowane wypadkową względów technicznych, ekonomicznych, surowcowych, a poza tym bywa uzależnione od innych czynników, nie zawsze dających się ująć i przewidzieć (plany produkcyjne, wyposażenie hut, obowiązujące normy, przyzwyczajenie konstruktorów).

Na tle wyboru właściwego materiału są u nas popełniane błędy, narażające państwo na wielomilionowe zbędne wydatki. Zaczniemy od względów surowcowych.

2. Surowce.

Surowce ceramiczne porcelanowe są przeważnie importowane przynajmniej w 50% w przypadku porcelany wysokonapięciowej, a niemal w 100%, jeżeli chodzi o wyroby specjalne. Wymagania co do jakości surowców ceramicznych są wysokie i dlatego surowce krajowe rzadko odpowiadają wymaganiom.

Natomiast surowców szklarskich mamy ilości wystarczające, i to w wielu miejscowościach. Ich jakość do celów izolacyjnych nie musi być wysoka, np. niższa niż do celów chemicznych, optycznych lub oświetleniowych, może być zbliżona do jakości surowców do szkła budowlanego.

Do produkcji szkła izolatorowego potrzebne są następujące surowce:

piasek, którego posiadamy zasoby obfite, zwłaszcza dlatego, że do szkła izolatorowego niepotrzebne są najwyższe gatunki piasku (bez żelaza); szkło izolatorowe powinno właśnie zawierać pewne ilości tlenku żelaza;

wapień, dolomit, marmur — również materiały pochodzenia krajowego;

soda (węglan sodu) i sól glauberska (siarczan sodowy) — materiały produkowane w kraju w ilościach dostatecznych do interesujących nas celów;

wreszcie paliwo — węgiel lub gaz,

materiały ogniotrwałe.

Jak widzimy kwestia surowcowa, jeśli chodzi o szkło zwykłe, nie nastręcza nam żadnych trudności. Natomiast przejście na szkło trudnotopliwe — borowe (typ „pyrex") — nastręczałoby większe trudności może nie tyle nawet ze względów surowcowych, aczkolwiek bor (w postaci boraksu lub kwasu borowego) musi być importowany, ile ze względów na trudności technologiczne: temperatury przerobu i prasowania szkła borowego są wyższe niż szkła zwykłego i dlatego potrzebne są wyższe gatunki stali na formy i materiały o wyższej ogniotrwałości na piece. Z tego względu należy popierać raczej zastosowanie, gdzie tylko można, szkła sodowo-wapniowego, a unikać borowego.

W dziedzinie izolatorów można ograniczyć się do zwykłego szkła sodowego, nawet do najwyższych napięć. Stanie się to zwłaszcza wtedy możliwe, kiedy wprowadzi się do produkcji izolatorów technologię szkła hartowanego, którego własności mechaniczne i elektryczne przewyższają własności materiałów ceramicznych.

3. Względy techniczne.

Technologia produkcji izolatorów szklanych ma wiele zalet w porównaniu z produkcją izolatorów ceramicznych — przede wszystkim ze względu na większe zmechanizowanie i szybkość produkcji — i jest skutkiem tego tańsza od produkcji ceramicznej. Praktycznie biorąc każda huta szklana przystosowana do produkcji szkła prasowanego może — po wyposażeniu jej w odpowiednie formy — produkować izolatory bez żadnych trudności technicznych.

Z powyższych względów izolatory szklane mogą być tańsze od porcelanowych o 40 do 50%, a przy tym produkcja ich może być oparta całkowicie na surowcach krajowych.

Już z samych tych względów należałoby dołożyć wszelkich starań, aby — gdzie tylko można — stosować szkło zamiast porcelany, ściśle zaś mówiąc należałoby przestudiować rozgraniczenie zakresu stosowania materiałów ceramicznych opartych na surowcach importowanych i szkła oraz również opartej na surowcach krajowych — kamionki. Oszczędność w samym tylko dziale izolatorów teletechnicznych powinna przekroczyć 2 000 000 zł rocznie.

Oczywiście, decydującym momentem muszą być jednak względy techniczne, ponieważ koszt izolatora jest nieznacznym kosztem całego urządzenia, a uszkodzenie, przebicie jednego izolatora, powoduje zaburzenie w pracy i straty niewspółmiernie wielkie do poczynionych oszczędności. Dlatego kwestia zamiany ceramiki szlachetnej przez szkło ewentualnie kamionkę musi być zdecydowana na podstawie wyników szeregu poważnych badań i doświadczeń eksploatacyjnych. Jednakże już dzisiaj można stwierdzić na podstawie dotychczasowych badań naszych i obcych, że szkło w zupełności może zastąpić ceramikę w zakresie izolatorów teletechnicznych, oraz izolatorów liniowych energetycznych niskonapięciowych. Obecnie w toku są badania izolatorów szklanych do 15 kV oraz izolatorów liniowych wiszących jednokołpakowych.

Zalety szkła w porównaniu z materiałem ceramicznym w zastosowaniu do izolatorów są następujące:

1) mniejsze tolerancje dopuszczalne wymiarów dzięki prasowaniu w formach stalowych oraz skutkiem mniejszego skurczu;

2) większa szybkość produkcji, szybszy rozruch wyrobu, szybsza dostawa;

3) prosta i łatwa selekcja wyrobu: do wykrywania braków właściwie wystarczają oględziny;

4) wytrzymałość dielektryczna szkła jest większa niż porcelany;

5) odporność na wpływy atmosferyczne dobrego szkła jest co najmniej równa odporności szkliwa porcelany;

6) mniejsze nagrzewanie pod działaniem promieni słonecznych.

Do wad szkła jako materiału izolatorowego należą: mniejsza wytrzymałość na uderzenie niż materiałów ceramicznych i mała odporność na nagłe zmiany temperatury. Dotyczy to zwykłego szkła normalnie odprężonego, natomiast dla szkła naprężonego (hartowanego) mamy stosunek odwrotny, ponieważ szkło takie jest znacznie wytrzymalsze od porcelany.

Przy produkcji przedmiotów ze szkła naprężonego wytwarza się na jego powierzchni warstwę o trwałym naprężeniu ściskającym. Osiąga się to przez nagłe ostudzenie przedmiotu od temperatury mięknięcia po wyprasowaniu — np. w strumieniu powietrza. Szybko zakrzepnięta powierzchnia tworzy sztywną powłokę wokół gorącego rdzenia, który krzepnąc i kurcząc się powoduje powstawanie naprężeń ściskających w powłoce i rozciągających w rdzeniu. Przy obciążaniu zewnętrznym tak wykonanego przedmiotu w warstwie powierzchniowej nie powstają naprężenia rozciągające, groźne dla wytrzymałości materiałów twardych i kruchych, jakim jest szkło. W ten sposób uzyskuje się np. wzrost wytrzymałości na rozciąganie 6—10-krotny w stosunku do szkła nienaprężonego.

4. Stan obecny i możliwości.

Obecnie w kraju produkuje się ze szkła na potrzeby elektrotechniki następujące wyroby:

1) izolatory teletechniczne, które tylko częściowo zastępują dotychczas produkowane izolatory porcelanowe; ten dział mógłby być całkowicie objęty przez przemysł szklarski;

2) izolatory energetyczne niskiego napięcia — napowietrzne liniowe i wnętrzowe szynowe; ilości produkowane są niewielkie w stosunku do porcelany;

3) izolatory liniowe stojące do 15 kV (w próbach) (rys. 1);

4) różne drobne izolatorki np. antenowe — w ilościach również niewielkich.

Po opanowaniu zagadnienia zastosowania do izolatorów szkła hartowanego nic nie stoi na przeszkodzie rozszerzenia produkcji na następujące wyroby:

5) izolatory wiszące wysokiego napięcia;

6) izolatory wsporcze wnętrzowe do średnich napięć (10 — 15 kV);

7) izolatory przepustowe do kondensatorów energetycznych, które mogą być szczelniejsze od ceramicznych;

8) części sprzętu instalacyjnego o prostym, łatwym do prasowania kształcie.

Rys. 1 przedstawia izolator liniowy 15-kilowoltowy próbnej produkcji. Pożądane jest wprowadzenie go do próbnej eks-

ploatacji na co, niestety, czeka od roku. Opracowano również izolator wiszący kołpakowy (rys. 2) dostosowany do normalnych okuć „K-3". Do uzyskania należytej jakości wyrobu, a zwłaszcza opanowania technologii hartowania, niezbędne są pewne — niezbyt wielkie — interwencje w przemyśle szklarskim.

Natomiast nie można się spodziewać, aby mogły być produkowane, przynajmniej w najbliższej przyszłości, przedmioty dużych rozmiarów i trudnych do wyrobu kształtów, jak duże izolatory przepustowe do wyłączników i transformatorów, izolatory do ochronników, osłony do wyłączników, jak również drobne i skomplikowane części do sprzętu instalacyjnego w tele- i radiotechnice. Wyroby te niewątpliwie zawsze pozostaną dziedziną ceramiki. Odciążenie zaś przemysłu ceramicznego — skutkiem przejęcia przez hutnictwo szklane części produkcji jakościowo zresztą mniej ważnej — powinno okazać się dla niego korzystne, wobec notorycznego braku kadr robotniczych i inżynierskich w tym przemyśle i wobec trudności surowcowych.

Możliwości przemysłu szklarskiego pod względem rozszerzenia produkcji na cele elektrotechniki w zasadzie przekraczają największe możliwości spożycia w tele- i energoelektryce.

5. Izolatory szklane za granicą.

Dla porównania należy wyjaśnić, jak sprawa ta stoi za granicą.

W ZSRR jest dużo surowców ceramicznych i dlatego nie było potrzeby zastępowania porcelany od dawna stosowanej na izolatory, pomimo to szkło znajduje tam pewne zastosowanie np. do wyrobu izolatorów teletechnicznych.

We Francji stosuje się dużo izolatorów szklanych, nawet na liniach najwyższych napięć, pomimo rozwiniętego również przemysłu ceramicznego, opartego na własnych surowcach. Używane tam jest na izolatory ciemne szkło sodowo-wapniowe.

W Niemczech szkła do celów izolatorowych raczej nie stosuje się. Przyczyną tego jest potęga wielkich koncernów ceramicznych, które za żadną cenę nie dopuszczały do stosowania szkła. Niemcy są również bogate w surowce ceramiczne. To samo dotyczy Czechosłowacji.

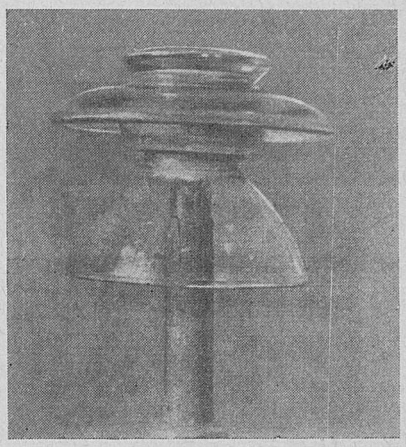
We Włoszech stosuje się izolatory szklane w teletechnice i w energetyce do wysokiego napięcia, zwłaszcza szkło borowe — „pyrex".

W krajach Wspólnoty Brytyjskiej izolatory szklane znajdują zastosowanie nawet w liniach najwyższych napięć. W wielu sieciach liczba izolatorów szklanych przekracza już 10% izolatorów porcelanowych. Stosuje się do tego celu szkło sodowo-wapniowe hartowane.

6. Wnioski.

Szkło, jako materiał tani i całkowicie oparty na surowcach krajowych, powinno znaleźć jak najszersze zastosowanie w elektrotechnice.

Oba typy izolatorów (rys. 1 i 2) wytwarza wg projektów autora Huta Szkła w Wałbrzychu (1955 r.)



Rys. 1. Izolator szklany stojący do 15 kV



Rys. 2. Izolatory szklane wiszące kołpakowe

W tym celu należy przeanalizować możliwości rozszerzenia zastosowania szkła w elektrotechnice do produkcji izolatorów wysokiego napięcia — liniowych, wsporczych, przepustowych, do prostych części sprzętu instalacyjnego itd.

Należy prowadzić studia nad technologią szkła hartowanego (naprężonego) w zastosowaniu do potrzeb elektrotechniki.

J. I. SKOWROŃSKI,
J. JUCHNIEWICZ,
T. WIDURSKI
Politechn. Wrocł.

Kamionka jako materiał izolacyjny dla elektrotechniki

621.315.612.5:621.315.6:621.7

Treść. Możliwości zastosowania w kraju kamionki do celów elektrotechniki. Próbne zestawy mas z surowców krajowych wykazują możliwość uzyskiwania mas kamionkowych o własnościach zbliżonych do własności mas porcelanowych. Główne zastosowanie kamionki: elementy ceramiczne do aparatury najwyższych napięć, inne izolatory wysokiego napięcia, sprzęt instalacyjny. Przewidywany niższy koszt własny produkcji materiałów kamionkowych w stosunku do porcelanowych. Możliwość daleko idącej mechanizacji produkcji. Konieczność stopniowego przestawienia jednej z fabryk porcelany elektrotechnicznej na nowy surowiec. Ostateczne określenie zakresu stosowania kamionki w przemyśle elektrotechnicznym wymaga badań na skalę techniczną.

1. Uwagi ogólne.

Znaczenie materiału ceramicznego w elektrotechnice polega przede wszystkim na jego odporności na wpływy atmosferyczne i chemiczne, której nie wykazują w tym stopniu żadne inne tworzywa naturalne lub syntetyczne organiczne. Do celów tych niewątpliwie jeszcze długo niezastąpionym tworzywem będzie ceramika lub szkło.

Spośród materiałów ceramicznych na izolatory mogą być stosowane tylko materiały o skorupie zupełnie spieczonej nienasiąkalnej bez otwartych por. Należą tu porcelana, kamionka oraz masy specjalne zawierające tlenek magnezu, zwane ogólnie steatytami.

Porcelana znajduje najpowszechniejsze zastosowanie — od zarania elektrotechniki. Pierwsze izolatory liniowe porcelanowe (telegraficzne) ukazały się przed stu laty z górą, stosowanie więc porcelany ma za sobą wieloletnią tradycję i przyzwyczajenie, jednakże nie jest konieczne, a w niektórych przypadkach nawet nie może być zalecane.

Wymagania, stawiane materiałom na izolatory liniowe i sprzęt izolacyjny wysokiego napięcia, są następujące:

1) wytrzymałość mechaniczna na wszelkie rodzaje obciążenia, również na rozciąganie i uderzenia. Osiągalne są tu wartości na rozciąganie w specjalnych masach do 500 kg/cm², przeciętne dobre 250—350 kg/cm²;

2) wytrzymałość dielektryczna — wymagania zależnie od warunków pracy i kształtu izolatora mogą być rozmaite, przeciętne są 20 do 30 kV/mm przy cienkich próbkach;

3) odporność cieplna — zwłaszcza na zmiany temperatury w granicach normalnej pracy, a w przypadkach specjalnych — odporność na chwilowe działanie łuku;

4) nienasiąkalność — nawet pod ciśnieniem;

5) gładkość powierzchni — pokrycie gładką twardą polewą (szkliwem), związaną doskonale z podłożem, odporną na działanie atmosferyczne i zmiany temperatury;

6) trudności zwykle nastręczają takie wymagania techniczne, jak dotrzymywanie tolerancji wymiarów; wyroby ceramiczne, ulegając przy wypalaniu znacznemu skurczowi — niejednakowo w różnych kierunkach — mogą jednocześnie ulegać skrzywieniom i odkształceniom; im materiał ma mniejszy skurcz, tym mniejsze jest niebezpieczeństwo odkształceń lub wykroczenia poza tolerancje wymiarowe.

Wreszcie wspólną wadą materiałów ceramicznych jest ich trudna obrabialność. Obróbka w niektórych przypadkach bywa jednak nieodzowna, tam np. gdzie wymagane są dokładne wymiary, o tolerancjach nieosiągalnych przy wypalaniu. Na tle tych wymagań własności porcelany i kamionki — w pewnej mierze i steatytów — nie różnią się znacznie, a nawet bywają prawie identyczne zależnie od składu i technologii wyrobu jednego lub drugiego materiału.

2. Zapotrzebowanie ze strony elektroenergetyki.

W kraju do produkcji izolatorów liniowych wysokiego i niskiego napięcia stosuje się obecnie prawie wyłącznie porcelanę, a w niewielkim zakresie szkło. Prócz tego z porcelany są wykonywane dla elektrotechniki różne części sprzętu. Zapotrzebowanie porcelany elektrotechnicznej wzrasta: orientacyjnie roczne spożycie tej porcelany można oceniać obecnie na 10 000 ton z przyrostem 10 do 20% rocznie.

Podział według przeznaczenia można szacować w następujący sposób:

izolatory liniowe wysokiego napięcia	20%,
izolatory aparatowe	20%,
izolatory liniowe niskiego napięcia	10%,
izolatory liniowe nisk. nap. teletechniczne	15%,
sprzęt instalacyjny i inny	35%.

3. Rozwój zastosowania kamionki.

Istotną cechą zewnętrznie różniącą porcelanę od kamionki jest barwa — czysto biała lub biała z lekkim odcieniem kremowym w przypadku porcelany, szara w różnych odcieniach w przypadku kamionki. Oczywiście, znaczenia technicznego dla izolatorów barwa przełomu nie posiada żadnego.

Gorsze własności kamionki, jeżeli były stwierdzone, spowodowane były złym zestawem lub wadliwym przygotowaniem masy, tzn. błędami przy wyrobie.

Pod względem składu chemicznego i własności dobra kamionka nie różni się znacznie od porcelany. Do jej wyrobu stosuje się gliny plastyczne z dodatkiem materiałów schudzających. Po wypaleniu gotowy produkt charakteryzuje się czerepem spieczonym, brakiem nasiąkliwości i dobrymi własnościami mechanicznymi. Szary przełom kamionki w przeciwieństwie do białego i lekko przeświecalnego przełomu porcelany, jak również trudności w stosowaniu jej do wyrobu przedmiotów cienkościennych, uwarunkował jej rozwój i stosowanie.

W tym samym mniej więcej okresie czasu, kiedy w Chinach stosowano porcelanę do wyrobu przedmiotów użytkowych, Rzymianie stosowali kamionkę do celów technicznych — wykonywali z niej rury wodociągowe, jednak z chwilą rozpadu państwa rzymskiego przemysł kamionkowy poszedł w zapomnienie. Odkrycie metody produkcji porcelany w Europie, spowodowane dążnością ówczesnych klas posiadających do uniezależnienia się od Chin, zapoczątkowało gwałtowny rozwój przemysłu porcelanowego w końcu wieku XVIII-ego.

Nic więc dziwnego, że gdy w powstającym przemyśle elektrotechnicznym powstała konieczność stosowania nowych materiałów izolacyjnych oparto się na istniejącym i bogatym w doświadczenie przemyśle porcelanowym. Stosowanie jednak porcelany do niektórych wyrobów elektroenergetycznych jest równie niecelowe, jak kamionki do wyrobów cienkościennych (mowa tu jest o izolatorach odznaczających się dużymi wymiarami, jak osłony aparatury wysokiego napięcia itp.). Za zastosowaniem do tego celu kamionki przemawiały jej lepsze własności technologiczne i taniość.

Badania kamionki z rzymskich wodociągów wykazały, że jej własności mechaniczne i elektryczne są bardzo zbliżone do własności nowoczesnej porcelany. Zaniedbania średniowiecza w rozwoju przemysłu kamionkowego spowodowały jednak konieczność gromadzenia od podstaw doświadczenia niezbędnego do uzyskania dobrych gatunków kamionki.

W trzecim dziesięcioleciu bieżącego stulecia rozpoczęto w Niemczech pierwsze próby opracowania kamionki elektroenergetycznej i już w roku 1927 uruchomiono produkcję dużych elementów izolacyjnych. Od tej chwili najpierw w Niemczech, a następnie i we Włoszech, porcelana jest stopniowo wypierana przy wyrobie wszelkiego rodzaju osłon i dużych izolatorów przepustowych wysokonapięciowych.

Rozszerzenie stosowania kamionki na wyrób innych elementów izolacyjnych, jak np. izolatorów wiszących, zostało jednak wstrzymane, często główną przyczyną jest niewątpliwie silna konkurencja potężnego przemysłu porcelanowego.

W ten sposób w chwili obecnej kamionkę stosuje się za granicą jako materiał izolacyjny w elektroenergetyce, jednak zakres jej stosowania jest ograniczony do produkcji dużych jednostek. W Polsce kamionki dla potrzeb przemysłu elektrotechnicznego nie produkuje się zupełnie, choć posiadamy znaczne ilości glin nadających się do tego, a mało mamy surowców potrzebnych do wyrobu porcelany.

Kamionka produkowana u nas dzieli się na sanitarną, kanalizacyjną i kwasoodporną. Jakość jej — szczególnie w przypadku rur — jest niska, co spowodowane jest częściowo nieodpowiednią przeróbką masy, częściowo zaś brakiem ilościowym, personelu fachowego.

4. Własności kamionki w porównaniu z porcelaną.

Skład typowych mas kamionkowych i porcelanowych przedstawia się jak następuje:

	porcelana	kamionka
materiał plastyczny	42 — 66%	30 — 70%,
materiał schudzający	12 — 30%	30 — 60%,
topnik (skaleń)	17 — 27%	5 — 25%.

Zasadniczą różnicę stanowi nie skład procentowy, lecz przede wszystkim zastosowanego materiału plastycznego. W skład porcelany jako materiał plastyczny wchodzi kaolin, gdy przy wyrobach kamionkowych stosuje się gliny charakteryzujące się o wiele większą plastycznością. Ze stopniem plastyczności wzrasta wielkość możliwych do uformowania elementów, ponieważ glina charakteryzuje się również większą wytrzymałością po wyschnięciu, a więc i mniejszą wrażliwością na transport; z tych względów kamionka została zastosowana przede wszystkim do produkcji dużych jednostek.

Proces otrzymywania dobrej kamionki jest zbliżony do stosowanego przy wyrobie porcelany, to znaczy konieczne jest oczyszczanie surowców, mielenie ich, należyte wymieszanie i odpowietrzenie, przy czym procesy powinny być przeprowadzone równie starannie, jak i przy porcelanie. Właśnie tu taj kryje się jedna z przyczyn powodujących, że kamionka jest uważana za materiał o poślednich własnościach, gdyż jako punkt wyjścia brane są na ogół najpopularniejsze wyroby kamionkowe (sanitarne, budowlane, chemiczne), których produkcja nie wymaga dużej staranności, a więc których własności są niskie. Należy pamiętać, że niestarannie przygotowana porcelana ma również niskie własności.

Ze względu na większą plastyczność masy technologia wyrobu odbiega od stosowanej w przypadku porcelany. Mianowicie przy formowaniu można stosować mniej pracochłonne, umożliwiający większe zmechanizowanie, proces wyprasowywania zgrubnych kształtów i dopiero następne ich obtaczanie. Z innych różnic należy wymienić dłuższy okres suszenia wyrobów kamionkowych, niższą temperaturę wypalania — 1200° w porównaniu z 1410° dla porcelany, jak również możliwość wypalania bez osłon w przypadku stosowania solnej polewy.

Zestawienie przeciętnych własności mechanicznych porcelany i dobrej kamionki podaje tabl. I.

Tablica I. Własności mechaniczne porcelany i kamionki

	Porcelana	Kamionka
Wytrzymałość na rozciąganie (kg/cm²)	250—400	300
„ na zginanie „	600	700
„ na ściskanie „	4000—5000	5000

5. Część doświadczalna.

Cel i zakres pracy. Problem zastąpienia deficytowej porcelany materiałami z surowca krajowego został zamieszczony w tematyce planu prac szczególnie ważnych P.A.N.

Dla zbadania przydatności kamionki krajowej do celów elektrotechniki podjęto pracę w dotacji Wydziału IV P.A.N. w roku 1953. Celem jej było ustalenie doboru właściwych surowców i najlepszych zestawów mas, opracowanie technologii wyrobu izolatorów, określenie zakresu ewentualnego stosowania kamionki.

Praca była wykonywana w Katedrze Techniki Wysokich Napięć Politechniki Wrocławskiej, przy współudziale Zakładu Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki we Wrocławiu i Ziębickich Zakładów Ceramicznych.

Surowce. Polska posiada dużo dobrych glin kamionkowych, głównie w Kieleckiem i na Dolnym Śląsku, tak np. według źródeł niemieckich gliny dolnośląskie należą do najlepszych w Europie. Wyzyskanie tych bogatych zasobów jest jednak jeszcze stosunkowo słabe. Są one obecnie eksploatowane do wyrobu materiałów ogniotrwałych, urządzeń sanitarnych, kanalizacyjnych, kwasoodpornych oraz artykułów gospodarstwa domowego.

Przy opracowywaniu kamionki dla elektroenergetyki wybrano — ze względu na znajomość ich własności i stosunkowo dobre warunki eksploatacyjne — następujące gliny:

a) glina z kopalni Irena w Łuknicy koło Żar w woj. zielonogórskim, wydobywana przez Bolesławieckie Kopalnie Glin Ceramicznych; dotychczasowy urobek kopalni nie jest sortowany; do próbnych zestawów glina była sortowana, wybierano glinę szarą;

Tablica II

Surowce	Oznaczenie masy												
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
Glina Irena	60	—	—	30	—	30	—	40	50	—	—	—	60
„ Maria II	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
„ Baranów	—	—	60	30	30	—	40	—	—	50	—	—	—
„ Mroczków	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—	—
„ Zagnańsk	—	60	—	—	30	30	—	—	—	—	—	—	—
Skaleń Strzeblów	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30	20	20	20
Mułek kwarc. Rejowiec	—	—	—	—	—	—	—	—	20	20	—	—	—
Złom kwasoodporny	10	10	10	10	10	10	30	30	—	—	—	—	—
Złom porcelanowy	10	10	10	10	10	10	—	—	—	—	20	20	20

Tablica III. Średnie własności mechaniczne i fizyczne próbek odlewanych

Masa	R_r (kg/cm²)	R_g (kg/cm²)	R_u (kg/cm²)	Cięż. objęt. (g/cm³)	Nasiąkalność wodna (%)
E1	180	390	1,94	2,07	1,15
E2	250	700	2,19	2,26	0,11
E3	170	680	2,22	2,16	0,47
E4	220	490	2,12	2,15	1,82
E5	180	600	2,22	2,29	0,38
E6	240	380	2,13	2,14	2,46
E7	250	410	2,1	2,24	0,54
E8	145	320	—	2,12	4,69
E9	175	340	2,0	2,20	2,13
E10	250	570	2,2	2,28	0,31

Tablica IIIa. Średnie własności elektryczne próbek odlewanych

Masa	K_o (kV/mm)	ρ ($\Omega cm \cdot 10^{12}$)	tg δ
E1	7	0,05	0,6
E2	23	0,009	0,4
E3	25	105,0	0,017
E4	21	120,0	0,016
E5	20	154,0	0,016
E6	11	0,004	0,41
E7	16	17,0	0,05
E8	6	0,04	0,52
E9	6	0,9	0,48
E10	10	0,5	0,40

Uwaga do tablic III i IIIa. Przy oględzinach przełomu próbek stwierdzono obecność jam usadowych, dziur, szczelin.

b) glina Maria II/A/S wydobywana przez Bolesławieckie Kopalnie Glin Ceramicznych;

c) glina Baranów Biała z Suchedniowa koło Kielc, wydobywana przez Zakłady Wyrobów Kamionkowych „Marywil";

d) glina z kopalni Mroczków koło Opoczna, kopalnia podlega Centr. Zarz. Mat. Ogniotrwałych;

e) glina z kopalni kwarcytów w Zagnańsku koło Kielc, podległej Centr. Zarz. Przem. Mat. Ogniotrwałych.

W skład kamionki, jak wiadomo, poza glinami wchodzą materiały schudzające i skaleńie. Wybrano na nie:

1) skaleń strzeblowski, wydobywany w kopalni Strzeblów w woj. wrocławskim;

2) materiały schudzające: a) złom mielony z kamionki kwasoodpornej, b) złom mielony porcelanowy, c) mułek kwarcowy z Rejowca.

Z powyższych surowców wykonano 13 próbnych zestawów o procentowych składach wagowych podanych w tabl. II.

W doborze surowców kierowano się zawartością Fe_2O_3, nasiąkliwością wodną i ogniotrwałością. Masy były mielone tak, żeby mieliwo przechodziło przez sito o 6400 oczek/cm. Ilości w tabl. II są podane w częściach wagowych surowców wysuszonych przy 105°C.

Masy mielono w młynkach laboratoryjnych kulowych na mokro do uziarnienia założonego wyżej. Technologię wypału utrzymano taką samą, jak dla kamionki sanitarnej, tj. palono je w piecach produkcyjnych, umieszczając je w osłonach dla ochrony przed popiołem i szkliwem solnym. Ziębickie Zakłady Ceramiczne posiadają piece okresowe, komorowe, z płomieniem opadającym. W zależności od wielkości i grubości wypalanych wyrobów stosuje się kilka krzywych palenia z czasem wypału od 128 do 168 godzin. Wypał kończy się po położeniu się 8 stożka S, umieszczonego na wysokości 1,20 m pieca. Próbki umieszczono na wysokości 2,3 m. Czas studzenia pieca wynosi 5 do 7 dni. Jak sprawdzono według stożków kontrolnych, próbki wypalone zostały na 9 stożek S (1280°C). Czerep miały szary, spieczony.

Badanie mas kamionkowych. W celu określania własności i przydatności kamionki do produkcji izolatorów elektroenergetycznych należało przeprowadzić badania własności najpierw samych mas, a następnie gotowych wyrobów. Do badania mas kamionkowych przystąpiono tak, jak do badania porcelany elektrotechnicznej, wykonując z wybranych zestawów próbki do następujących oznaczeń:

1) wytrzymałość na rozciąganie (R_r),
2) „ na ściskanie (R_c),
3) „ na zginanie (R_g),
4) „ na udar (R_u),
5) „ dielektryczna (K_o),
6) oporność skrośna (ϱ),
7) stratność dielektryczna (tgδ).

Kształtki wykonano według obowiązującej dla porcelany elektrotechnicznej normy resortowej, przy czym ilość próbek dla każdego oznaczenia wynosiła od 5 do 10 i nawet więcej sztuk.

W celu sprawdzenia wpływu sposobu formowania na własności wykonano kształtki na dwa wchodzące w rachubę przy produkcji izolatorów sposoby — przez odlewanie i przez formowanie. Należało się spodziewać, że technologia nie będzie bez wpływu na ostateczne własności wyrobów.

Badania własności przygotowanych próbek wykonano zgodnie z normą resortową i metodami stosowanymi w Instytucie Elektrotechniki dla porcelany elektrotechnicznej. Nie wykonywano jedynie badań na ściskanie ze względu na nierównoległość powierzchni próbek. Zestawienie otrzymanych wyników podają tabl. III, IIIa, IV i IVa.

Z porównania wyników tabl. III i IIIa z normowanymi własnościami porcelany elektrotechnicznej okazuje się, że pod względem mechanicznym zbliżone własności do porcelany mają masy E2, E7, E10, natomiast pod względem elektrycznym masy E3, E5, E4, a więc żadna z badanych partii próbek nie

Tablica IV. Średnie własności mechaniczne i fizyczne próbek formowanych

Masa	R_r (kg/cm²)	R_g (kg/cm²)	R_u (kg/cm²)	Cięż. objęt. (g/cm³)	Nasiąkalność wodna (%)
E11	300	600	2,1	2,33	0,124
E12	350	570	2,1	2,27	0,003
E13	270	700	2,2	2,26	0,02

Tablica IVa. Średnie własności elektryczne próbek formowanych

Masa	K_o (kV/mm)	ρ ($\Omega \cdot cm \cdot 10^{12}$)	tg δ
E11	23	68,0	0,022
E12	16	16,0	0,076
E13	17	95,0	0,015

spełnia warunków materiału zastępczego porcelany. Mogło to być spowodowane nieodpowiednimi własnościami składników mas albo nieodpowiednią technologią wykonanych próbek.

Przy oględzinach przełomów okazało się, że próbki miały pory i jamy powstałe przy odlewaniu. Wobec tego próbę powtórzono i próbki zaformowano w masie plastycznej (formierskiej) — odpowietrzanej z braku odpowiedniego urządzenia — w sposób prymitywny, w rękach. Próbki formowano przez ręczne wyciskanie w formach gipsowych. Poza tym technologia wykonania mas i wypału była taka sama, jak poprzednio.

Wyjaśnienie daje porównanie wyników otrzymanych dla masy E1f z wynikami masy E13 (tabl. IV i IVa). Pod względem składu masy te są prawie identyczne, natomiast zmieniono technologię — próbki E13 formowano. Zmiana technologii spowodowała dwukrotny wzrost wytrzymałości na rozciąganie, półtorakrotny wzrost wytrzymałości na zginanie, 10 razy większą oporność skrośną właściwą. Porównując również wyniki, otrzymane dla masy E11 zbliżonej pod względem składu do mas E3 i E7, stwierdzono, że własności mechaniczne i elektryczne są dużo lepsze. Wynika z tego, że niskie wartości otrzymane przy próbkach odlewanych spowodowane zostały nie tyle złymi własnościami mas, ile wadliwą technologią. Wynika z tego wniosek na przyszłość, że przy dalszym prowadzeniu badań kierować się trzeba wynikami uzyskanymi dla próbek formowanych i jedynie przy rozpatrywaniu możliwości odlewania izolatorów należy brać wyniki otrzymane na próbkach odlewanych.

W sprawie analizy wyników badania próbek formowanych można stwierdzić, że wszystkie próbki spełniają całkowicie wymagania mechaniczne stawiane porcelanie elektrotechnicznej, również wielkość oporności właściwej jest odpowiednia, natomiast nie są odpowiednie: wytrzymałość dielektryczna, stratność i nasiąkliwość. Jeżeli jednak uwzględnić to, że również produkowana obecnie porcelana elektrotechniczna ma przeważnie wytrzymałość dielektryczną zawartą w granicach 20—30 kV/mm, a stratność dochodzącą nawet do 0,03 i wyżej (tabl. V) można stwierdzić, że otrzymane wyniki można uznać za dodatnie.

Tablica V. Przeciętne własności produkcyjnych mas porcelanowych na podstawie badań Zakładu Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki

Typ masy	R_r (kg/cm²)	R_g (kg/cm²)	R_u (kg/cm²)	K_o (kV/mm)	ρ (Ω cm $\times 10^{12}$)	tgδ
A	390	700	2,25	30	40	0,024
B	340	630	2,00	23	10	0,025
C	380	780	2,00	23	9,5	0,034
D	380	710	2,00	23	46	0,021
E	440	647	2,00	18	8,3	0,040
F	340	640	2,10	22	11,0	0,034

Tak więc pod względem własności badanych mas jedynie nasiąkalność jest większa niż porcelany, zmniejszyć ją jednak będzie można przez należyte odpowietrzenie masy, co jednocześnie również polepszy inne własności.

Ciekawe jest porównanie otrzymanych wyników z danymi podawanymi w literaturze niemieckiej dla kamionki stosowanej do wyrobu osłon wysokiego napięcia (tabl. VI).

Tablica VI. Własności kamionki stosowanej w przemyśle elektrotechnicznym *)

Własność		Rok 1921	Rok 1927	Rok 1945
		1	2	3
R_r	(kg/cm²)	103	287	122
R_g	(kg/cm²)	370	953	395
R_u	(kg/cm²)	1,5	3,08	—
K_o	(kV/mm)	—	—	18

*) Singer F. Steinzeug als Werkstoff der Elektrotechnik (Elektrojournal, 10 — 1 i 2) oraz Imhoff A. Elektrische Isolierstoffe (1946 — 3).

W powyższej tablicy rzuca się w oczy wielka rozbieżność wartości podanych przez poszczególnych autorów; szczególnie interesujące jest to, że Imhoff, który dysponował nowszymi danymi podał tak niskie wartości wytrzymałości. Z porównania tabl. VI z otrzymanymi wynikami okazuje się, że Imhoff podał wartości wyraźnie za niskie.

Jako rezultat wyników otrzymanych z badania mas na próbkach można stwierdzić, że przy zastosowaniu odpowiedniego składu i starannego procesu technologicznego można z surowców krajowych otrzymać kamionkę o własnościach odpowiednich do wyrobu izolatorów elektroenergetycznych. Można nawet spodziewać się własności nie tylko nie ustępujących obecnie stosowanym masom porcelanowym, ale nawet lepszych zwłaszcza pod względem mechanicznym.

Próby wykonania izolatorów kamionkowych. Po pozytywnym wyniku badań nad masami można było przystąpić do badań gotowych wyrobów, a mianowicie izolatorów kamionkowych. Rozpatrując cały szereg różnych typów izolatorów produkowanych obecnie z porcelany wybrano w pierwszej kolejności, jako ewentualnie nadające się do zastąpienia kamionkowymi, te, od których wymaga się raczej lepszych własności mechanicznych niż elektrycznych. Takimi izolatorami są: 1) osłony wysokiego napięcia, 2) izolatory niskiego napięcia, 3) izolatory dwukołpakowe (również długopniowe), 4) izolatory trakcyjne, 5) izolatory stojące i wsporcze — typ wzmocniony, oraz ewentualnie 6) izolatory wiszące jednokołpakowe i 7) sprzęt drobny prasowany.

Problem produkcji osłon wysokonapięciowych i izolatorów niskiego napięcia z kamionki można właściwie uważać za całkowicie rozwiązany na skalę półtechniczną. Własności otrzymanych mas znacznie przewyższają wartości podane przez Imhoffa (tabl. IV) dla tego rodzaju wyrobów. Uruchomienie produkcji w kraju jest obecnie całkowicie uzależnione od władz przemysłowych, od wyboru odpowiedniego zakładu i od przeszkolenia załogi. Kwestia polew też w tym wypadku nie powinna nastręczyć większych trudności, gdyż przy należycie opanowanym procesie wypalania wystarczająca może będzie dla tego rodzaju wyrobów polewa solna.

Próby wypalania i formowania osłon typu stosowanego w wyłącznikach małoolejowych, wykonane w Ziębickich Zakładach Ceramicznych wykazały, że technologicznie nie ma tu żadnych trudności, przeciwnie — proces wyrobu łatwiejszy niż w przypadku porcelany.

Inaczej sprawa przedstawia się przy zagadnieniu wprowadzenia do produkcji pozostałych typów izolatorów. Nie wystarcza w tym przypadku ograniczenie się do określenia własności samych mas, należy również przeprowadzić badania gotowych wyrobów. Do próbnej produkcji wybrano następujące typy izolatorów: dwukołpakowe, trakcyjne i wiszące (K3), jako podstawową masę wybrano E13.

Dla polepszenia jakości zastąpiono w masie E1 złom kwasoodporny innym składnikiem — złomem porcelanowym. Skład masy izolatorowej ustalono zatem następujący:

glina „Irena" szara sortowana 60 cz. wag.
skaleń Strzeblów „7000" 20 cz. wag.,
złom porcelanowy 20 cz. wag.

Przy formowaniu zastosowano proces technologiczny stosowany przy wyrobie izolatorów porcelanowych — toczenie w formach. Całkowite zastosowanie procesu, przyjętego przy formowaniu izolatorów porcelanowych, okazało się w konsekwencji niewłaściwe: gotowe izolatory miały dziury spowodowane nienależytym odpowietrzeniem, wystąpiły również pęknięcia spowodowane zbyt szybkim jak na kamionkę suszeniem. Wyniki wytrzymałości na rozciąganie podaje tabl. VII.

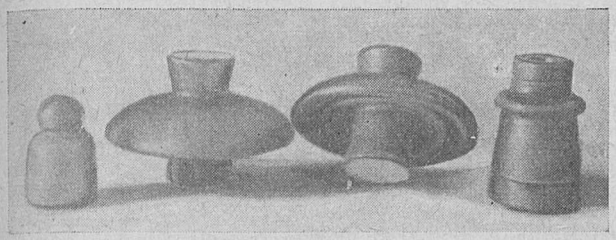
Pierwsze wyniki otrzymane przy wykonaniu izolatorów w sposób jeszcze niedoskonały pozwalają przypuszczać, że po opanowaniu metody technologicznej wyniki będą dobre.

Dla sprawdzenia na większą skalę — na podstawie zebranego doświadczenia — przystąpiono do wykonania serii po kilkadziesiąt sztuk izolatorów wiszących jednokołpakowych, dwukołpakowych i trakcyjnych oraz osłon do wyłączników (rys. 1, 2, 3).

Tablica VII. Naciąg zrywający dla próbnych izolatorów kamionkowych

Izolator	Naciąg zrywający (kg)	Uwagi
K3-wiszący jednokołpakowy	11000	Oględziny zewnętrzne stwierdziły obecność pęknięć i niedostateczne odpowietrzenie.
VK75-dwukołpakowy	3000	

Jednocześnie są opracowywane szkliwa, ponieważ obecnie stosowane w przemyśle kamionkowym są nieodpowiednie. Zachodzi potrzeba opracowania szkliwa o większej gładkości i odpowiedniej barwie. Dotychczasowe wyniki pozwalają przypuszczać, że można będzie otrzymać szkliwo oparte na surowcu



Rys. 1. Próbne izolatory kamionkowe — teletechniczny, trakcyjne i wsporczy

krajowym (gliny z Nietkowa k. Zielonej Góry) i odpowiadające wymaganiom, które stawiamy izolatorom. Gliny te dają szkliwo brązowe z dobrym połyskiem. Analiza chemiczna tych glin wykonana przed wojną jest podana w tabl. VIII.

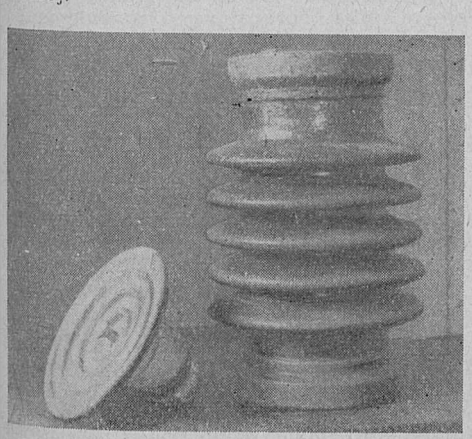
Tablica VIII. Analiza chemiczna glin

Składniki	Glina żółta ze Starego Młyna	Glina niebieska ze Starego Młyna	Glina żółta z cegielni Nietków
Strata prażenia	11,1	11,2	11,3
SiO_2	55,1	57,7	56,1
Al_2O_3	14,7	12,9	13,2
FiO_2	1,0	1,0	1,0
Fe_2O_3	4,9	3,8	4,6
CaO	7,4	6,9	7,9
MgO	2,5	2,7	2,9
K_2O	2,6	3,1	2,7
Na_2O	0,5	0,5	0,7
$CaCO_3$	18,5	12,2	15,5
Skurczliwość wysychania	7,5	5,9	6,4
Punkt topliwości	5a	5a	5a
Kolor wypalania	brunatno-czerwony	brązowy	czerwono-brązowy

Izolatory te były wykonane z dotacji P.A.N. w Ziębickich Zakładach Ceramicznych przy współpracy Zakładów Porcelany Elektrotechnicznej „Zofiówka". Wyniki były na tyle zachęcające, że za zgodą P.K.P.G. Ministerstwo Przemysłu Maszynowego poleciło przystąpić do próbnej produkcji jeszcze w br.

6. Możliwości zastosowania opracowanych mas kamionkowych.

Jak wynika z wyżej zreferowanych badań otrzymane zestawy mas w zakresie własności mechanicznych nie ustępują najlepszym masom porcelanowym (jeżeli nie przewyższają ich) pod względem zaś własności dielektrycznych są na poziomie przeciętnych obecnie stosowanych mas porcelany elektrotechnicznej.



Rys. 2. Próbne izolatory kamionkowe — wiszący i osłona do wyłącznika

Porównanie obu materiałów z uwzględnieniem innych czynników — technologicznych i ekonomicznych — wypada na korzyść kamionki, jak wynika z następującego zestawienia.

1. Surowce. Porcelana elektrotechniczna — zwłaszcza wysokonapięciowa — produkowana jest z surowców w większości zagranicznych, produkcja zaś kamionki całkowicie opiera się na surowcach krajowych i to nieraz zalegających w pobliżu fabryki. Surowce te są poza tym tańsze od porcelanowych (np. tona gliny kosztuje 75 do 150 zł, kaolinu — 500 zł). Glin ogniotrwałych nadających się do produkcji kamionki mamy pod dostatkiem.

2. Wypalanie odbywa się przy niższej temperaturze (ok. 1280° wobec 1410° dla porcelany). Stąd mniejsze zużycie opału i znacznie mniejsze zużycie materiałów ogniotrwałych (pieca i kapsli).

3. Proces technologiczny wyrobu kamionki jest łatwiejszy i nadaje się do wydatnej mechanizacji, co jest całkowicie opanowane np. w produkcji kamionki chemicznej i sanitarnej. Zwłaszcza większe przedmioty, np. osłony, izolatory wsporcze wys. nap. przy niewielkich zmianach konstrukcyjnych pozwolą na mechanizację procesu produkcyjnego. W przypadku zaś porcelany proces wciąż jest raczej rękodzielniczy niż fabryczny; stąd znacznie większe koszty wyrobu i trudności w razie konieczności powiększania produkcji; porcelana bywa tu często wąskim gardłem dla przemysłu aparatów elektrycznych.

4. Kamionka ma mniejszy niż porcelana skurcz przy wypalaniu, co pozwala na lepsze dotrzymanie wymiarów.

5. Kamionka daje mniejszy procent braków przy wewnątrzzakładowym transporcie wysuszonych wyrobów dzięki większej wytrzymałości masy suchej.

6. Możność wypalania bez kapsli przy zastosowaniu polewy solnej.

7. Kamionka pozwala na wykonywanie i wypalanie w grubych czerepach wielkich obiektów, po kilkaset kilogramów w jednej sztuce, co nastręcza wielkie trudności w przypadku porcelany. Jest to bardzo ważne dla konstrukcji izolatorów do aparatury najwyższych napięć — wyłączników, ochronników, przepustów transformatorowych.



Rys. 3. Łańcuch izolatorów kamionkowych K—3

8. Większa odporność na uderzenie gotowych wyrobów.

Z powyższego wynika, że gotowy wyrób kamionkowy może być tańszy i trwalszy od porcelanowego. Wszystko to przemawia za tym, żeby i u nas przystąpić do zamiany porcelany kamionką w tej dziedzinie. Korzyści takiej zamiany są oczywiste, czego najlepszym dowodem jest to, że i w innych krajach, a nawet w warunkach kapitalistycznych konkurencji potężnego przemysłu porcelanowego, kamionka znalazła zastosowanie.

Zakres stosowania powinien objąć przede wszystkim wielkie obiekty (ceramikę do aparatury najwyższych napięć, zwłaszcza 220 kV), a następnie inne działy wymagające dużej wytrzymałości mechanicznej.

Można przewidywać, że przy istniejącym — dobrze rozbudowanym — przemyśle kamionkowym zastąpienie porcelany kamionką do wyrobu większości izolatorów elektroenergetycznych byłoby opłacalne. Niestety, nie ma u nas zakładu kamionkowego, który by bez większych inwestycji mógł przystąpić do tego rodzaju produkcji. Łatwiejsze byłoby przystosowanie jakiegoś już istniejącego zakładu porcelanowego, gdyż w zasadzie technologia dobrej kamionki jest zbliżona do porcelany.

Szczególną grupę elektrotechnicznych wyrobów ceramicznych, w których zastosowanie kamionki wydaje się bardziej celowe niż zastosowanie porcelany, stanowi sprzęt instalacyjny. Od materiałów na te wyroby wymaga się przede wszystkim dużej odporności na uderzenia i możliwie małego skurczu, a właśnie kamionka ma w stosunku do porcelany te własności

bezsprzecznie lepsze. Technologia formowania nie odbiegałaby od stosowanej przy porcelanie: prasowanie z mas półsuchych lub suchych i odlewanie.

Zakres przejścia na kamionkę wymaga przestudiowania strony ekonomicznej zwłaszcza dlatego, że istnieje u nas uzasadniona dążność wprowadzenia jeszcze innego materiału zastępczego — szkła *).

Oczywiście, w obecnym stadium nie można — ze względu na brak ściśle opracowanego przebiegu technologicznego produkcji — mówić o dokładnych danych porównawczych. Te jednak, które już posiadamy, przemawiają za kamionką.

1. Porównanie kosztów surowców na masy porcelanowe i kamionkowe.

Skład przeciętny masy na porcelanę elektrotechniczną:

kaolin „Oka"	15	cz. wag.
„ „Sedlice"	15	„
„ „Imperial"	10	„
skaleń „Strzeblów"	15	„
„ skandynawski	15	„
piasek płukany z Tomaszowa Mazowieckiego	30	„
	100	cz. wag.

Ceny poszczególnych składników masy są następujące:

kaolin „Oka"	378.—	zł/t
„ „Imperial"	504.—	„
„ „Sedlice"	589.—	„
skaleń „Strzeblów"	290.10	„
„ skandynawski	390.—	„
piasek płukany z Tomaszowa Mazowieckiego	111.—	„

Wobec powyższego 1 tona surowców na masę porcelanową kosztuje 330,75 zł.

Skład masy na kamionkę elektrotechniczną — E1:

glina „Irena" sortowana, szara	60	cz. wag.
skaleń „Strzeblów"	20	„
złom porcelanowy	20	„

Ceny poszczególnych składników masy przedstawiają się jak następuje:

glina „Irena"	150.—	zł/t
skaleń „Strzeblów"	290.10	„
złom porcelanowy	270.—	„

Wobec tego 1 t surowców wg składu kamionkowego, doliczając wilgotność gliny „Irena", którą przyjmujemy przeciętnie 13%, kosztuje 213,70 zł. Oszczędność na tonie samych tylko surowców wynosi 117,05 zł, tj. 35,4%.

2. Następną wyraźną oszczędność uzyskuje się na węglu opałowym pieców produkcyjnych.

Na wypał 1 t netto wyrobów porcelanowych zużywa się przeciętnie 4,5 t węgla sortowanego — miał płukany w cenie 47 zł/t. Odpał 1 t porcelany kosztuje zatem $47 \times 4{,}5 = 211{,}50$ zł.

Jeżeli przyjmiemy dla izolatorów kamionkowych ten sam załadunek na 1 m^3 pieca, jak dla porcelany, tzn. 80 kg, mniej ta sama ilość braków, jak dla porcelany, tzn. 15%, wtedy załadunek netto na 1 m^3 pieca wyniesie 68 kg. Zużycie węgla na 1 t netto wsadu — przy utrzymaniu dotychczasowej krzywej wypału tzn. 168 godz. — wyniesie 2,7 t. Koszt wypału 1 t netto wyniesie — przy założeniu, że zużyjemy 10% węgla kamiennego (kęsy) w cenie 93 zł/t i 90% węgla kamiennego (miał płukany) w cenie 47 zł/t — 139,60 zł.

Oszczędność na wypale 1 t kamionki przy założeniu — z braku danych doświadczalnych — takich wskaźników technicznych, jak dla porcelany, co musi ulec zmianie na korzyść kamionki, wyniesie 72 zł. W stosunku do porcelany daje to 34,2% oszczędności.

3. Przyjmuje się, że izolatory kamionkowe będą wypalane jak porcelanowe — w kapslach szamotowych. Temperatura wypału izolatorów porcelanowych wynosi 1410°C. Temperatura wypału izolatorów kamionkowych 1280°C. Jest rzeczą jasną, że zużycie kapsli przy produkcji izolatorów kamionkowych będzie znacznie mniejsze niż przy porcelanie. Z braku danych nie możemy tu podać oszczędności na kapslach w cyfrach.

4. Należy uwzględnić jeszcze inne czynniki, jak mniejszy procent braków przy produkcji i transporcie.

5. Znacznego obniżenia kosztów produkcji można się spodziewać dzięki możliwości mechanizacji produkcji dużych przedmiotów kamionkowych.

*) Por. S k o w r o ń s k i J. Szkło izolatorowe (str. 674 niniejszego zeszytu).

Jak wspomniano wyżej, rozpoczęcie produkcji elektrotechnicznej w którymkolwiek z istniejących zakładów kamionkowych wymagałoby pewnych niezbędnych inwestycji. Przede wszystkim potrzebne byłoby wyposażenie w maszyny do przerobu masy, analogiczne do stosowanych w fabrykach porcelany, dla możności otrzymania masy czystej, jednolitej i odpowietrzonej (bez pęcherzy). Dalej należałoby wyposażyć fabrykę w maszyny i narzędzia stosowane do formowania izolatorów itd.

Prawdopodobnie prostsze i tańsze byłoby przejście w istniejącej fabryce porcelany na kamionkę.

W zasadzie przestawienie produkcji fabryki izolatorowej z porcelany na kamionkę nie nastręcza trudności. Przy tym samym procesie wyrobu izolatorów z masy plastycznej przez formowanie, toczenie lub przez odlewanie zmiana tworzywa nie wprowadza żadnych istotnych zmian. Próby takie robiliśmy z dobrym wynikiem. W fabryce porcelanowej wykonano izolatory różnych typów z masy kamionkowej bez żadnych trudności. Proces schnięcia jest podobny lecz dłuższy. Natomiast wypalanie jest znacznie korzystniejsze, bo odbywa się dla kamionki przy niższej temperaturze, co poza oszczędnością na opale zmniejsza ogromnie zużycie materiałów ogniotrwałych.

Przejście na kamionkę w fabryce porcelany mogłoby się odbyć, jak widać z powyższego, bez dłuższego przestoju i konieczności większych zmian. Jedynie formy musiałyby ulec zmianie ze względu na inny (mniejszy) skurcz kamionki. Jednak formy gipsowe do formowania i odlewania i tak ulegają częstej wymianie, więc ta zmiana nie pociągnęłaby za sobą większych kosztów inwestycyjnych.

Największą trudnością niewątpliwie byłoby przestawienie się całej załogi produkcyjnej — poczynając do kadr inżynierskich i technicznych fabryki (a nawet Centralnego Zarządu) kończąc na palaczach i brakarzach — na materiał o odmiennych właściwościach technologicznych, na inne parametry procesu wypalania itd.

Konieczność doboru najkorzystniejszych warunków procesów produkcyjnych wymagałoby dłuższych prób. Trzeba jednak podkreślić, że i obecnie przemysł ceramiki szlachetnej jest ciągle w stadium eksperymentowania — w doborze składu mas, trybu palenia, sposobów formowania.

Poza tym nieco odmienne właściwości technologiczne kamionki wymagają również nieco innego projektowania przedmiotów. Wskutek tego w wielu wypadkach trzeba będzie zmienić kształty konstrukcyjne izolatorów. Nie będą to zresztą zmiany daleko idące, dotyczyć będą raczej grubości ścianek i kloszy; zasadnicze wymiary konstrukcyjne pozostaną bez zmian.

7. Wytyczne do dalszych prac.

a) Należy przestudiować całokształt zagadnienia opłacalności zastosowania różnych tworzyw przy produkcji rozmaitych rodzajów i typów izolatorów elektroenergetycznych, biorąc pod uwagę porcelanę, kamionkę i szkło. Należy przy tym uwzględniać koszty produkcji, konieczności importowe i inwestycyjne, potrzebę przeszkolenia kadr, jak również ewentualne przestoje związane z przejściem na nową produkcję, możliwości rozwojowe przemysłu w danej dziedzinie, jego rozmieszczenie itd. Jedynie takie opracowanie zagadnienia pozwoli ustalić najracjonalniejszy zakres zastosowania kamionki wobec dwóch pozostałych materiałów.

b) Dla opanowania trudności technologicznych i uniknięcia zasadniczych błędów oraz celem opracowania typów i kształtów, które najbardziej będą się nadawać na wykonywanie z kamionki, należy przeprowadzić studia i próby na skalę techniczną w wyznaczonej do tego celu fabryce.

c) W przypadku pomyślnych wyników badań powyższych najpilniejszym zadaniem jest prowadzenie prac, zmierzających do uruchomienia w kraju produkcji osłon kamionkowych. Konieczne w tym celu jest przekonstruowanie niektórych typów osłon, opracowanie dokumentacji wyposażenia i onarzędziowania, opracowanie szczegółowe procesów technologicznych.

d) Z innych potrzebnych badań należy wymienić dalsze kontynuowanie prac nad izolatorami liniowymi i zainstalowanie próbnej partii na doświadczalnym odcinku linii wysokiego napięcia, jak również zapoczątkowanie prac, zmierzających do wyeliminowania porcelany przy produkcji sprzętu instalacyjnego.

PROF. DR INŻ. M. MAZUR
Instytut Elektrotechniki

Ceramika elektrotermiczna

621.315.612.002.637(438)

Treść. Przyczyny niedostatecznej jakości krajowych materiałów ogniotrwałych i termoizolacyjnych, stosowanych do budowy urządzeń elektrotermicznych. Środki zaradcze.

1. Ogólny przegląd materiałów ceramicznych, stosowanych w grzejnictwie elektrycznym.

Materiały ceramiczne znajdują zastosowanie w elektrycznych urządzeniach grzejnych jako materiały izolacyjne, przy czym należy rozróżniać materiały: ogniotrwałe, termoizolacyjne i elektroizolacyjne.

W produkcji krajowej powyższe grupy materiałów obejmują znacznie szerszy zakres, niż to jest potrzebne do celów elektrotermicznych, materiały bowiem ogniotrwałe i termoizolacyjne stosuje się również do nieelektrycznych urządzeń grzejnych, np. materiały ogniotrwałe do hutniczych pieców płomieniowych, a materiały termoizolacyjne — jako otulina cieplna — do rozmaitych urządzeń grzejnych. Materiały elektroilozacyjne są, oczywiście, stosowane we wszystkich innych urządzeniach elektrycznych, nie służących do celów grzejnych.

Ceramiczne materiały elektrotermiczne, jakkolwiek obejmują tylko pewien wycinek wspomnianego wyżej zakresu zastosowań, odróżniają się od reszty szczególnymi wymaganiami, wynikającymi ze skojarzenia zjawisk elektrycznych i cieplnych. Tak np. od materiałów ogniotrwałych wymaga się niejednokrotnie małej przewodności elektrycznej, a od materiałów elektroizolacyjnych — dużej odporności na wysokie temperatury. To właśnie skojarzenie i związane z nim wymagania są podstawowym motywem odrębnego traktowania materiałów ceramicznych, służących do budowy elektrycznych urządzeń grzejnych.

Jakkolwiek grupa ceramiki elektrotermicznej obejmuje stosunkowo wiele materiałów, znaczenie ich jest niejednakowe z uwagi na obecny stan przemysłu elektrotermicznego. Chodzi tu o rolę poszczególnych urządzeń w krajowej gospodarce przemysłowej oraz rozmiary ich produkcji. Z tego względu pewnym zagadnieniom, związanym z ceramiką elektrotermiczną, należy dać pierwszeństwo, inne zaś uznać za mniej pilne.

W grupie materiałów ogniotrwałych za najważniejszą należy uważać szamotę, stanowiącą podstawowy materiał do wyrobu pieców oporowych, produkowanych u nas w dużych ilościach dla potrzeb krajowych i nawet na eksport, a ponadto stosowaną w pewnym zakresie w innych piecach elektrycznych.

Dynas i magnezyt, stosowane w piecach łukowych, mają — pomimo poważnej roli tych pieców w produkcji stali — małe znaczenie ilościowe, gdyż krajowa produkcja tych pieców dopiero się rozpoczyna i przez dłuższy czas będzie się ograniczała do rozmiarów jednostkowych.

W grupie materiałów termoizolacyjnych głównym materiałem elektrotermicznym jest tzw. „termalit", wytwarzany z ziemi okrzemkowej (diatomitu) jako podstawowego surowca.

Mniejszą rolę odgrywają szamota porowata i waty termoizolacyjne (mineralna, żużlowa i szklana).

I wreszcie w grupie materiałów elektroizolacyjnych największe znaczenie przemysłowe ma szamota, służąca w piecach oporowych nie tylko jako wyprawa ogniotrwała, lecz zarazem jako izolator elektryczny przewodów grzejnych.

Mikanit grzejnikowy i steatyt znajdują zastosowanie głównie w produkcji przyrządów i narzędzi grzejnych.

Porcelana, jako materiał mało odporny na zmiany temperatury, nie jest stosowana w grzejnictwie elektrycznym.

Na podstawie powyższego pobieżnego przeglądu można stwierdzić, że w obecnej chwili największe znaczenie dla produkcji przemysłowych urządzeń elektrotermicznych mają: szamota — z grupy materiałów ogniotrwałych oraz termalit — z grupy materiałów termoizolacyjnych.

Obydwa te materiały są u nas wyrabiane, mają jednak poważne braki jakościowe, co wymaga bliższego omówienia.

2. Szamota.

Spośród wielu gatunków szamoty do celów elektrotermicznych, a w szczególności do budowy pieców oporowych, nadaje się szamota zawierająca co najmniej 40% tlenku glinu (Al_2O_3).

Głównym czynnikiem, zmniejszającym przydatność szamoty do celów elektrotermicznych, są zanieczyszczenia tlenkami żelaza, ponieważ pogarszają one własności elektroizolacyjne szamoty. Obecność tych zanieczyszczeń łatwo stwierdzić na podstawie rdzawych plam występujących w materiale. Skargi przemysłu elektrotermicznego na jakość szamoty nie przyczyniły się do jej poprawy poza tym jedynie, że wytwórnie szamoty starają się o większe rozdrobnienie surowca. Wskutek tego szamota uzyskuje barwę bardziej jednolitą, brak rdzawych plam ma utrudnić odbiorcy natychmiastowe wykrycie zanieczyszczeń.

Z innych mankamentów można wymienić zanieczyszczenia tlenkiem krzemu (SiO_2). Oddziaływają one szkodliwie na kanthalowe przewody grzejne w wysokich temperaturach (powyżej 1100°C).

Niedostateczną jakość szamoty krajowej wykazały badania przeprowadzone w Zakładzie Grzejnictwa Elektrycznego Politechniki Łódzkiej. Próby nad kształtkami szamotowymi, stosowanymi do budowy rurowych elementów grzejnych przeznaczonych do wanien solnych, wykazały tak znaczne prądy upływowe (w warunkach zaostrzonych, gdy przewody grzejne różnej biegunowości były przewleczone przez sąsiednie otwory w kształtkach), że wskutek ich działania cieplnego szamota ulegała stopieniu.

3. Termalit.

Głównym brakiem termalitu krajowego jest zbyt duża przewodność cieplna. W warunkach roboczych powinna ona być co najwyżej rzędu 0,2 kcal/h.m.°C, natomiast w rzeczywistości osiąga niejednokrotnie wartości rzędu 1 kcal/h.m.°C. Taki stan rzeczy prowadzi do konstruowania ścian komory grzejnej o nadmiernej grubości i do zmniejszenia sprawności cieplnej pieców. Zdarzały się też przypadki, że w piecu — o wymiarach zaprojektowanych na wzór urządzenia zagranicznego — nie można było osiągnąć temperatury roboczej z powodu nadmiernego upływu ciepła przez ściany pieca.

Stwierdzono, że przyczyną zbyt dużej przewodności cieplnej termalitu krajowego jest niewłaściwy jego wyrób, zwłaszcza szwankuje wypalanie cegieł termalitowych. Zdarzają się cegły, wykonane z termalitu krajowego, w których tylko przypowierzchniowa warstwa była właściwie wypalona, natomiast w środku cegły trociny były zaledwie zwęglone. Oczywiście, tak wykonane cegły nie mogą mieć należytej jakości, skoro własności termoizolacyjne nadaje im jedynie cienka warstwa przypowierzchniowa. Nierzadko też cegły termalitowe zawierają kamienie rozmaitej wielkości.

4. Przyczyny niedostatecznej jakości materiałów.

Ogólnie biorąc, przyczyny niedostatecznej jakości omawianych materiałów można sprowadzić do dwóch grup: nieodpowiedni dobór surowców oraz niewłaściwe wykonanie.

Sprawy surowcowe w odniesieniu do tych materiałów są niedość jasne. Wytwórnie urządzeń elektrotermicznych nie mają do czynienia bezpośrednio z wytwórniami materiałów, lecz z instytucjami centralnymi, jak Centralny Zarząd Przemysłu Wyrobów Ogniotrwałych (szamota) lub Biuro Zbytu Papy i Materiałów Izolacyjnych (termalit). Na dobór surowców wytwórnie elektrotermiczne nie mają wpływu, co najwyżej udaje im się w niektórych przypadkach uzyskać ulokowanie zamówienia w tej wytwórni materiałów, która pozyskała ich zaufanie, wyróżniając się spośród innych lepszym gatunkiem poprzednich dostaw.

Wykonanie cegieł szamotowych i termalitowych ulega rozmaitym fluktuacjom nawet w obrębie tej samej wytwórni. Odczuwa się tu dotkliwie brak przepisów odbiorczych. Dotychczasowa praktyka zdaje się również wskazywać na brak fabrycznej kontroli jakości wyrobu. W zasadzie o zgodności dostarczanych materiałów z zamówieniem świadczy jedynie nazwa materiału. Wytwórnie materiałów nie dostarczają odbiorcy metryk (atestów) z danymi liczbowymi, określającymi podstawowe własności dostarczonej partii materiałów.

Należy nadmienić, że materiały elektrotermiczne mają mały udział w ogólnej produkcji materiałów ogniotrwałych i termoizolacyjnych. Przy tym, jak to wynika z dotychczasowych rozważań, wytwórnie urządzeń elektrotermicznych stawiają większe wymagania co do jakości materiałów niż inni odbiorcy. Biorąc te okoliczności pod uwagę, łatwo dojść do wniosku, że dla przemysłu produkującego omawiane materiały wytwórnie urządzeń elektrotermicznych są odbiorcą uciążliwym ze względu na wymagania i zbyt mały udział w ogólnym obrocie tego przemysłu, ażeby warto było dla niego modyfikować system produkcji. Nastawienie to powoduje, że wytwórnie urządzeń elektrotermicznych często znajdują się wobec możliwości

wyboru — otrzymać materiały niedostatecznej jakości lub nie otrzymać ich wcale — i z konieczności wybierają pierwszą z tych możliwości.

5. Wnioski.

Omawiany stan rzeczy wymaga zastosowania środków zaradczych natury zarówno organizacyjnej, jak i naukowej.

Jako środki organizacyjne można wskazać:

1) utworzenie zakładów wytwórczych, produkujących materiały ogniotrwałe i termoizolacyjne wyłącznie do celów elektrotermicznych, a przynajmniej wydzielenie odpowiednich działów w istniejących wytwórniach;

2) ustalenie możliwie jednoznacznej receptury surowcowej wyrobu, uzgodnionej z przemysłem elektrotermicznym;

3) opracowanie warunków odbiorczych na wyroby z ceramiki elektrotermicznej;

4) wprowadzenie kontroli fabrycznej jakości wyrobów i metrykowanie (atestowanie) każdej dostarczanej partii.

Zastosowania środków naukowych w postaci odpowiednich badań laboratoryjnych wymaga w zasadzie tylko szamota (do uzyskania odpowiedniej jakości termalitu powinny wystarczyć same środki organizacyjne). W szczególności potrzebne byłoby rozwiązanie następujących zagadnień:

1) zbadanie i ustalenie najkorzystniejszego składu szamoty, przeznaczonej do pracy w piecach o elementach grzejnych wykonanych z różnych materiałów oporowych;

2) przeprowadzenie badań przewodności elektrycznej szamoty w zależności od jej składu i od temperatury.

Pierwszy z tych tematów powinien być opracowany przez jedną z instytucji naukowych, zajmujących się materiałami ogniotrwałymi, we współpracy z Zakładem Grzejnictwa Elektrycznego Politechniki Łódzkiej, jako najbliżej związanym terenowo i tematycznie z Zakładem Wytwórczym M 14 w Łodzi, produkującym piece prototypowe.

Drugi temat mógłby być rozwiązany przez jeden z trzech naukowych ośrodków elektrotermicznych: Zakład Elektrotermii Instytutu Elektrotechniki, Zakład Grzejnictwa Elektrycznego Politechniki Warszawskiej lub Zakład Grzejnictwa Elektrycznego Politechniki Łódzkiej. Wchodziłby tu w grę również Zakład Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki.

Badania powyższe, w połączeniu z wymienionymi wyżej posunięciami organizacyjnymi, powinny zaspokoić najpilniejsze potrzeby grzejnictwa elektrycznego w zakresie ceramiki elektrotermicznej.

LITERATURA

S w i e n c z a n s k i A. D. Elektriczeskije promyszlennyje pieczi (Goseniergoizdat, 1948)
M a z u r M. Elektryczne urządzenia grzejne (PWT, 1953)
S o c h o r B. Elektryczne urządzenia grzejne oporowe w przemyśle (PWT, Warszawa)

MGR INŻ. ZBIGNIEW GUZEK,
MGR INŻ. ZBIGNIEW ŚWIĘCKI
Politechnika Wrocławska
Katedra Ceramiki

Elektrotechniczne spoiwa nieorganiczne

621.326.63:546:621.3

T r e ś ć. Własności kitów z cementów portlandzkiego, glinowego, hutniczego i innych oraz ich przystosowanie do celów elektrotechniki. Dobre własności elektrotechniczne przy wysokim napięciu kitów z cementu portlandzkiego z grysem porcelanowym. Do innych celów najlepsze wydają się kity z siarczanu wapnia.

1. Wstęp.

Proces łączenia części ceramicznych z metalowymi odgrywa ważną rolę w przemyśle elektrotechnicznym. Mimo stosowania go od dziesiątków lat do dziś nie znalazł on właściwego rozwiązania, zwłaszcza jeśli chodzi o połączenia w urządzeniach, którym stawia się duże wymagania co do wytrzymałości elektrycznej i mechanicznej. Przyczyną tego stanu rzeczy jest szczególny charakter połączenia, które wiąże części sporządzone z różnych tworzyw o krańcowo odmiennych własnościach fizycznych. Część ceramiczna, najczęściej porcelanowa, stanowi materiał bardzo twardy, kruchy, o niewielkim współczynniku rozszerzalności cieplnej, trudno dający się obrabiać, natomiast drugi element — metal — jest o wiele bardziej miękki, ciągliwy, o znacznym współczynniku rozszerzalności cieplnej, łatwo dający się obrabiać.

Trudność obróbki mechanicznej materiału ceramicznego wyklucza prawie całkowicie możliwość łączenia części ceramicznych z metalowymi przez pasowanie. Niedokładne dopasowanie części powoduje powstawanie nacisku punktowego na część ceramiczną, co nawet przy niewielkich obciążeniach prowadzi do jej zniszczenia.

Łączenie części ceramicznych z metalowymi może być wykonane przy pomocy spoiwa, wprowadzonego między powierzchnie styku obu części, trwale je wiążącego i przenoszącego równomiernie obciążenia z jednej części na drugą. Spoiwo takie, aby mogło właściwie spełniać swoje zadanie, powinno mieć następujące właściwości:

1) odpowiednią wytrzymałość mechaniczną po stwardnieniu, nie zmniejszającą się z czasem;

2) stałą objętość (spoiwo nie powinno pęcznieć ani kurczyć się z biegiem czasu);

3) współczynnik rozszerzalności cieplnej spoiwa powinien być zbliżony do współczynnika rozszerzalności cieplnej czerepu ceramicznego;

4) po stwardnieniu spoiwo powinno mieć taką elastyczność, aby powstające w nim ewentualnie naprężenia nie powodowały uszkodzeń części ceramicznej;

5) spoiwo powinno być bierne chemicznie w stosunku zarówno do części metalowej, jak i ceramicznej;

6) samo spoiwo nie powinno ulegać wpływom otoczenia (wilgoć, CO_2, olej, wahania temperatury), w którym ma pracować;

7) spoiwo powinno wykazywać dobrą przyczepność do części ceramicznej i metalowej, a plastyczność jego w czasie łączenia powinna pozwalać na dokładne wypełnienie przestrzeni między częściami;

8) czas wiązania i twardnienia spoiwa powinien być dostosowany do technologii montażu;

9) praca przy spoiwie nie powinna być szkodliwa dla zdrowia;

10) spoiwo powinno być łatwo dostępne na rynku krajowym i tanie.

Tak przedstawiałyby się wymagania, które stawia się spoiwu do celów elektrotechnicznych. Żadne ze stosowanych u nas spoiw nie spełnia wszystkich tych warunków, co jest niejednokrotnie powodem uszkodzeń urządzeń energetycznych (np. izolatory wiszące, aparaty) i stwarza konieczność opracowania odpowiedniego kitu.

2. Spoiwa cementowe.

Najłatwiej dostępnymi i powszechnie u nas stosowanymi spoiwami nieorganicznymi są kity cementowe. Zatrzymamy się na ich własnościach ważnych z punktu widzenia użycia w przemyśle elektrotechnicznym.

W ł a s n o ś c i k i t u z c e m e n t u p o r t l a n d z k i e g o (350). Cement portlandzki zarobiony wodą pozwala uzyskać masę plastyczną lub półpłynną (w zależności od ilości użytej wody). Masa ta, wprowadzona między powierzchnie styku części ceramicznej i metalowej, po związaniu i stwardnieniu łączy je trwale. Czas wiązania spoiwa: początek najwcześniej po upływie 40 minut od chwili zarobienia cementu wodą, koniec wiązania przed upływem 10 godzin. Wytrzymałość na ściskanie wynosi: po 7 dniach co najmniej 225 kG/cm^2, po 28 dniach co najmniej 350 kG/cm^2.

Poważną wadą kitu z cementu portlandzkiego jest znaczna różnica w liniowych współczynnikach rozszerzalności cieplnej porcelany i kitu. Współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej kitu cementowego wynosi na 1°C około $11{,}5.10^{-6}$, porcelany zaś $3{,}5.10^{-6}$. Przy wahaniach temperatury mogą wskutek tego powstawać w tworzywie porcelanowym naprężenia, które mogą doprowadzić do zniszczenia części porcelanowej. Zjawisko to groźne jest zwłaszcza przy powstawaniu naprężeń rozciągających, wytrzymałość bowiem porcelany na rozciąganie jest stosunkowo mała — wynosi dla porcelany nieszkliwionej 250—350 kG/cm^2 (szkliwionej 300—500 kG/cm^2).

Drugą wadą kitu z cementu portlandzkiego jest pęcznienie, powolny wzrost objętości spoiwa, który może następować w ciągu długiego okresu czasu i bywa niejednokrotnie powodem uszkodzenia części ceramicznych izolatorów (rozsadzenie główek izolatorów kołpakowych). Kit pęcznieje wskutek obecności w nim niekorzystnych odmian jednego ze składników cementu portlandzkiego, a mianowicie ortokrzemianu dwuwapniowego $2\,CaO.SiO_2$. Jak wiadomo, zasadniczymi składnikami cementu portlandzkiego są: krzemian trójwapniowy

3 $CaO.SiO_2$ i ortokrzemian dwuwapniowy 2 $CaO.SiO_2$ znany w kilku odmianach alotropowych. Z odmian tych teoretycznie jedyną odmianą trwałą poniżej temperatury 850°C jest γ —2 $CaO.SiO_2$. W używanym do kitów cemencie mogą znajdować się jednak również alotropowe nietrwałe odmiany ortokrzemianu α' i β, mające tendencję do przejścia w odmianę trwałą γ. Inwersja odmian $\alpha' \xrightarrow{(\beta)} \gamma$ połączona jest ze wzrostem objętości o ~ 12%. Powolna lecz ciągła przemiana, połączona ze wzrostem objętości, może być powodem zniszczenia części ceramicznej połączenia, dopiero po dłuższym okresie czasu. W zależności od ilości nietrwałej odmiany ortokrzemianu dwuwapniowego w cemencie portlandzkim i szybkości przechodzenia jej w odmianę trwałą skutek szkodliwego działania można obserwować w różnych odstępach czasu po wykonaniu połączenia.

Własności kitu z cementu hutniczego (250). Cement hutniczy jest tworzywem wiążącym, które otrzymuje się przez zmielenie 30% klinkieru cementowego i 70% żużla wielkopiecowego.

Kit z cementu hutniczego ma własności zbliżone do kitu z cementu portlandzkiego. Wytrzymałość na ściskanie wynosi po 7 dniach 130 kG/cm², a po 28 dniach 250 kG/cm².

Zaletą tego kitu w stosunku do kitu z cementu portlandzkiego jest zmniejszenie niebezpieczeństwa szkodliwego działania pęcznienia ze względu na mniejszą ilość cementu portlandzkiego w kicie, a — co za tym idzie — i mniejszą zawartość α'—2 $CaO.SiO_2$, wadą natomiast jest stosunkowo mała wytrzymałość mechaniczna.

Własności kitu z cementu glinowego. Cement glinowy jest tworzywem wiążącym hydraulicznym, otrzymywanym przez wypalenie wapna i boksytu zmielonych i wymieszanych w odpowiednim stosunku lub przez stapianie tych surowców niezmielonych. Kit sporządzony z cementu glinowego cechują następujące własności: początek wiązania po 1 godzinie od chwili zarobienia cementu glinowego wodą, koniec wiązania przed upływem 10 godzin. Kit ten twardnieje o wiele szybciej niż kit z cementu portlandzkiego i już po 24 godzinach wykazuje dużą wytrzymałość mechaniczną. Wytrzymałość na ściskanie po upływie 1 doby wynosi około 400 kG/cm², po trzech zaś dniach 500 kG/cm².

Podczas zarabiania cementu glinowego wodą wydzielają się znaczne ilości ciepła, co pozwala na używanie kitu z cementu glinowego również przy pracach wykonywanych w niskich temperaturach, wiąże on bowiem nawet na mrozie. Z drugiej strony ogrzewanie się masy kitu w czasie wiązania i ochładzanie w czasie twardnienia, a więc i kurczenie się kitu, może być powodem osłabienia połączenia części ceramicznej z metalową. Charakterystyczne dla kitu z cementu glinowego jest łuszczenie się cienkiej zewnętrznej warstwy kitu po jego stwardnieniu.

W kraju produkowany był do roku 1950 cement glinowy przez Zakłady Elektro w Łaziskach Górnych, znany pod nazwą „alka-elektro-cement". W chwili obecnej w kraju cementu glinowego nie wytwarza się.

Wspólną ujemną cechą wszystkich kitów cementowych jest usztywnianie się ich w miarę starzenia się. Moduł sprężystości spoiwa w ciągu lat wzrasta, staje się ono coraz mniej elastyczne, co — przy znacznych różnicach w liniowych współczynnikach rozszerzalności cieplnej — wpływa dodatkowo na powstawanie naprężeń w tworzywie ceramicznym.

Z podanych powyżej własności spoiw cementowych wynika, że nie nadają się one do bezpośredniego stosowania do celów montażowych w elektrotechnice. Aby mogły one być użyte, należy wyeliminować z nich lub zmniejszyć do granic nieszkodliwości niepożądane zjawiska pęcznienia spoiwa, różnice we współczynnikach liniowej rozszerzalności cieplnej kitu i tworzywa ceramicznego oraz sztywnienie masy kitu cementowego (wzrost modułu sprężystości).

3. Przystosowanie kitów cementowych do celów elektrotechnicznych.

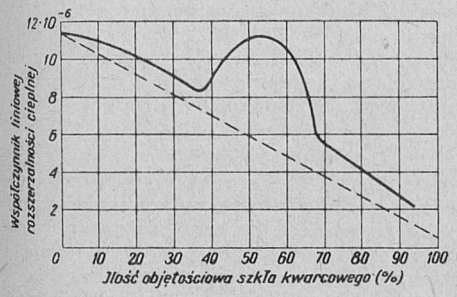
Przez schudzenie masy kitu cementowego materiałem o niższym współczynniku rozszerzalności cieplnej uzyskuje się poprawę własności kitu idącą w dwóch kierunkach:

1) współczynnik rozszerzalności cieplnej nowego spoiwa może być zmniejszony przez dodanie materiału schudzającego;

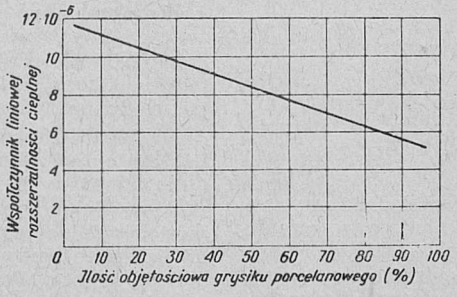
2) ilość cementu w kicie zmniejsza się i — co za tym idzie — proporcjonalnie zmniejsza się zawartość szkodliwego składnika cementu portlandzkiego α' (β) — 2 $CaO \cdot SiO_2$. Warunkiem użycia materiału schudzającego jest to, żeby jego dodatek nie powodował obniżenia wytrzymałości mechanicznych spoiwa.

Fabryka Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren opracowała i zastosowała do montażu izolatorów spoiwo cementowe, w którym jako materiału schudzającego użyto szkła kwarcowego. Spoiwo to znane było pod nazwą „teleokitt". Przez dodanie szkła kwarcowego, którego współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej na 1°C wynosi $0{,}5.10^{-6}$, a więc mniej niż porcelany ($3{,}5—4{,}5.10^{-6}$) do cementu o współczynniku rozszerzalności cieplnej $11{,}5.10^{-6}$ uzyskano spoiwo o rozszerzalności zbliżonej do porcelany. Zmiany współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej kitu cementowego z dodatkiem szkła kwarcowego, w zależności od stopnia schudzenia przedstawiono na rys. 1.

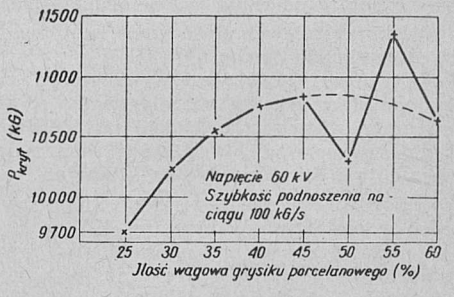
Przebieg współczynnika rozszerzalności cieplnej teleokitu przy schudzeniu w granicach 40—70% tłumaczy się w sposób następujący: przy zwiększonej ilości szkła kwarcowego zaczynają występować znaczne siły, wyrywające ziarna szkła kwarcowego z masy cementowej, a wynikające z dużej różnicy współczynników rozszerzalności szkła kwarcowego i cementu portlandzkiego, przy czym spoiwo rozszerza się tak, jakby było czysto cementowe z wewnętrznymi porami. Poczynając od ~ 70% zawartości szkła kwarcowego w masie spoiwo wykazuje regularny spadek współczynnika rozszerzalności cieplnej, gdyż na skutek zmniejszającej się ilości cementu w spoiwie warstewki cementu, otaczające ziarna szkła kwarcowego, stają się coraz cieńsze i słabsze, zaczyna więc przeważać wpływ własności szkła kwarcowego.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

Podana na rys. 1 krzywa zmiany współczynnika rozszerzalności cieplnej dotyczy obserwacji w zakresie temperatur od 20 do 200°C. Przy mniejszych wahaniach temperatury — wskutek mniejszych naprężeń wewnętrznych — obszar anormalnego zachowania się współczynnika rozszerzalności przesuwa się w kierunku większych schudzeń.

Mimo wielu zalet „teleokitt" jednak nie nadaje się, gdyż okazało się, że w ciągu kilku lat cement wchodzi w reakcję chemiczną z materiałem schudzającym, powodując zmiany w spoiwie. Zawarte w cemencie alkalia w ilości 0,5—1,5% atakują kwarc bezpostaciowy powodując niszczenie kitu.

Nad przystosowaniem kitu z cementu portlandzkiego do montażu izolatorów prowadzono prace również w Zakładzie Materiałoznawstwa Elektrycznego IEl. Badano tu własności kitu cementowego z dodatkiem grysiku porcelanowego. Użycie grysiku porcelanowego jako środka schudzającego nie pozwala co prawda tak znacznie obniżyć współczynnika rozszerzalności cieplnej kitu, jak w przypadku stosowania szkła kwarcowego, pozwala jednak zmniejszyć różnicę współczynników rozszerzalności z $7{,}5.10^{-6}$ do 5.10^{-6}, a nawet 4.10^{-6} na 1°C.

Na rys. 2 przedstawiono zależność między współczynnikiem liniowej rozszerzalności cieplnej kitu cementowego a stopniem schudzenia kitu przy pomocy grysiku porcelanowego.

W skład kitu cementowego z grysikiem porcelanowym wchodzą:

a) cement portlandzki szybkosprawny „400";

b) grysik porcelanowy uzyskiwany przez rozdrabnianie złomu porcelanowego na frakcje od 0,1 do 1,0 mm; ziarna powinny mieć kształt ostrokrawędziowy, otrzymywany przez rozdrabnianie na łamaczach szczękowych, a następnie oddzielanie odpowiednich frakcji; ziarna grubsze utrudniają montaż, drobniejsze zaś tworzą w masie kitu skupiska obniżające wytrzymałość mechaniczną kitu;

c) woda używana do zarobienia nie może zawierać zanieczyszczeń mechanicznych ani chemicznych; podwyższona temperatura wody zarobowej (30—40°C) wpływa dodatnio na wytrzymałość mechaniczną kitu.

Własności spoiwa cementowego z grysikiem porcelanowym charakteryzują w pewnym stopniu wyniki badań wytrzymałości elektromechanicznej izolatorów liniowych wiszących typu „K", montowanych przy użyciu tego spoiwa w Zakładzie Porcelany Elektrotechnicznej „Zofiówka". Badane izolatory montowali pracownicy „Zofiówki" w normalnych warunkach pracy, stosując jedynie spoiwa o odpowiedniej zawartości grysiku porcelanowego. Wyniki badań, przedstawiające zależność pomiędzy stopniem schudzenia spoiwa cementowego grysikiem porcelanowym a wytrzymałością elektromechaniczną, przedstawiono na rys. 3.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, wprowadzenie grysiku porcelanowego do spoiwa cementowego nie obniża jego wytrzymałości elektromechanicznej, a nawet ją podwyższa. Względy konstrukcyjne ograniczają ilość dodawanego grysiku porcelanowego, do 40—50%. Spoiwo o większej zawartości grysiku jest mało plastyczne, co utrudnia umieszczenie i centryczne ustawienie trzonków, a poza tym konsystencja takiego spoiwa nie pozwala odprowadzić baniek powietrza zawartego w znacznych ilościach w masie spoiwa.

Najkorzystniejsza ilość wody zarobowej wynosi około 33% w stosunku do cementu.

Dotychczas brak jeszcze danych o zachowaniu się kitu z dodatkiem grysiku porcelanowego w ciągu dłuższego okresu czasu. Uzyskać je będzie można dopiero po dostatecznie długiej obserwacji izolatorów zamocowanych przy zastosowaniu tego kitu, a więc za kilka lat.

Dalsze prace nad spoiwem cementowym z dodatkiem grysiku porcelanowego powinny iść w kierunku podwyższenia jego elastyczności, co poprawiłoby jeszcze znacznie jego własności. Należy przypuszczać, że wprowadzenie do spoiwa materiału o budowie włóknistej (np. azbestu) mogłoby wpłynąć dodatnio na jego elastyczność.

Obecnie nasze fabryki porcelany elektrotechnicznej, stosujące kity cementowe schudzane grysikiem porcelanowym, używają — ze względu na znaczną sztywność tego kitu (jak wszystkich kitów cementowych) — podkładek elastycznych (płótno nasycane bituminami), umieszczanych między kitem a porcelaną.

S k r ó c e n i e c z a s u w i ą z a n i a i t w a r d n i e n i a k i t u c e m e n t o w e g o. Kity cementowe mają stosunkowo długi czas wiązania i twardnienia. Wiążą one bowiem około 10 godzin, twardnieją zaś w ciągu kilku lub kilkunastu dni. W wielu wypadkach przedłuża to okres montażu oraz zmniejsza przepustowość poszczególnych stanowisk roboczych. Prace w kierunku przyspieszenia czasu wiązania i twardnienia spoiw cementowych mają na celu otrzymanie spoiwa, uzyskującego w czasie możliwie krótkim taką wytrzymałość mechaniczną, która pozwalałaby na dalsze operacje technologiczne przy zmontowanym izolatorze po kilku lub kilkunastu minutach od chwili zmontowania. Pełne stwardnienie może następować w okresie późniejszym.

Z prób nad przyspieszaniem czasu wiązania i twardnienia kitów cementowych — przez wprowadzanie do masy kitu przyspieszaczy chemicznych — pewne pozytywne wyniki otrzymano przy stosowaniu chlorku glinu. Chlorek glinu ($AlCl_3$) dodawano wraz z wodą zarobową w ilości 5% w stosunku do użytej wody. Uzyskano częściowe skrócenie czasu twardnienia kitu do 4 godzin, przy czym wytrzymałość po trzech dniach od chwili zarobienia kitu wodą wynosiła:

na rozciąganie	R_r	= 18,0 kG/cm²,
na zginanie	R_g	= 36,5 kG/cm²,
na ściskanie	R_s	= 163 kG/cm².

W Zakładzie Materiałoznawstwa IEl opracowano spoiwo szybkowiążące, w którego skład wchodzi obok cementu portlandzkiego cement glinowy. Kit ten w zależności od stosunku ilościowego obu cementów pozwala uzyskiwać różne czasy wiązania. Np. przy zawartości 1 części wagowej cementu glinowego na 3 części wagowe cementu portlandzkiego kit tężeje w ciągu 9 minut; przy stosunku ilości cementów — glinowego do portlandzkiego 1:5 spoiwo tężeje w przeciągu 17 minut. Podane wyniki dotyczą prób wykonanych z cementem portlandzkim i polskim cementem glinowym „alka-elektro-cement".

Wytrzymałość mechaniczna szybkowiążącego spoiwa z cementów portlandzkiego i glinowego jest nieco niższa od normalnie wiążącego kitu cementowego, znajduje się jednak w granicach pozwalających na jego zastosowanie przy wielu procesach montażowych w przemyśle elektrotechnicznym.

Spoiwo szybko wiążące — mimo dużego zainteresowania się nim przemysłu elektrotechnicznego — nie jest u nas dotychczas zastosowane ze względu na brak w kraju cementu glinowego (wstrzymana produkcja „alka-elektro-cementu").

4. Inne spoiwa nieorganiczne.

Powszechnie do niedawna używanym spoiwem do łączenia części w izolatorach wsporczych i przepustowych był kit glejtowo-glicerynowy. Obok takich zalet, jak duża przyczepność, wytrzymałość mechaniczna, duża szybkość wiązania, ma on jednak wady, które zadecydowały o konieczności wycofania go. Najważniejsze wady kitu glejtowo-glicerynowego: 1) jest on materiałem drogim i deficytowym, 2) stwarza niebezpieczeństwo zatrucia zatrudnionych przy nim pracowników (częste wypadki ołowicy), 3) jest mało ekonomiczny w użyciu, gdyż przy montażu pozostaje duży procent odpadów, 4) wykazuje małą odporność na działanie oleju.

Spoiwem zastępującym kit glejtowo-glicerynowy jest kit o podstawie cynkowej „Brzezinka". Własności tego spoiwa są następujące: czas wiązania około 11 minut, wytrzymałość mechaniczna po trzech dniach: na rozciąganie R_r = = 9,0 kG/cm², na zginanie R_g = 31,0 kG/cm², na ściskanie R_s = 198,0 kG/cm². Przyczepność do części ceramicznej i metalowej dobra. Odporność na działanie oleju dobra, gorsza jest natomiast odporność kitu „Brzezinka" na działanie wody.

Jak wynika z przytoczonych wyżej własności, kit „Brzezinka" może być stosowany do montażu izolatorów wsporczych i przepustowych, pracujących w warunkach wnętrzowych oraz w oleju. Pewne zastrzeżenia można natomiast wysunąć w stosunku do tego kitu ze względu na jego małą odporność na działanie wody. Działanie wody może zmniejszać wytrzymałość spoiwa „Brzezinka", a więc osłabiać połączenie z dwóch powodów: a) woda obniża bezpośrednio wytrzymałość kitu, gdyż wymywa niektóre składniki spoiwa; b) woda, zawierająca rozpuszczone w ten sposób substancje, może z kolei oddziaływać korodująco na metalową część połączenia i powodować powstawanie na granicy styku spoiwa i metalu warstwy skorodowanego metalu, obniżającej przyczepność kitu do części metalowej.

Drugim zastrzeżeniem w stosunku do kitu „Brzezinka" jest jego mniejsza przydatność do montażu izolatorów pracujących przy zmiennych obciążeniach mechanicznych, stwierdzona na pracujących już urządzeniach.

Najwłaściwszymi spoiwami do łączenia części ceramicznych z metalowymi — przy produkcji izolatorów wsporczych i przepustowych — są kity o podstawie siarczanu wapnia, łączą one bowiem w sobie wiele zalet, które powinny mieć spoiwa do tego celu, a mianowicie: a) odpowiedni czas wiązania i twardnienia, b) dużą wytrzymałość mechaniczną, c) odpowiednią odporność na działanie wody i oleju, d) niską cenę oraz możliwość produkowania ich z surowców krajowych. Niestety, spoiwa tego typu nie są w Polsce produkowane.

Dalsze prace nad znalezieniem najodpowiedniejszego spoiwa dla izolatorów wsporczych i przepustowych powinny iść — zdaniem autorów — w kierunku opracowania kitu o podstawie siarczanu wapnia. Własności niemieckich kitów tego typu (Hoeber) są następujące:

	kit B	kit R
czas wiązania	20÷30 min.	około 2 godz.
wytrzymałość po 3 dniach:		
na zginanie	R_g = 73 kG/cm²,	R_g = 108 kG/cm²,
na rozciąganie	R_r = 28 kG/cm²,	R_r = 39 kG/cm²,
na ściskanie	R_s = 316 kG/cm²,	R_s = 450 kG/cm².

LITERATURA

G r ü n R. Der Zement, 1927
Hescho-Metteilungen, 1937 i 1924
K ü h l H. Zementchemie, II, 1951

MGR INŻ. ZBIGNIEW ŚWIĘCKI
Politechnika Wrocławska
Katedra Ceramiki

Zwiększanie zawartości mulitu w wyrobach ceramicznych przez zmianę procesu technologicznego

621.315.612.001.5:621.315.612.2:621.3

Treść. Przegląd zagadnienia na podstawie literatury z przedstawieniem sprzecznych wypowiedzi różnych badaczy. Własne badania teoretyczne, z których wynika, że mulit tworzy się w kaolinicie w temperaturze raczej ok. 1000°C niż 1200°C. Badania własne na masach kamionkowych i szamotowych wykazały wzrost odporności chemicznych przy zmianie zwykłego procesu technologicznego. Sprawa wykorzystania uzyskanego materiału doświadczalnego w technologii porcelany elektrotechnicznej.

1. Wstęp.

Mulit jest to faza krystaliczna o składzie stechiometrycznym $3Al_2O_3.2SiO_2$ występująca w obrębie diagramu fazowego Al_2O_3—SiO_2. Większość wyrobów ceramicznych opiera się na masach, które po wypaleniu składają się pod względem chemicznym (wyrażonym w tlenkach) przeważnie z SiO_2 i Al_2O_3 z dodatkowym udziałem takich tlenków, jak CaO, MgO, Fe_2O_3, TiO_2, K_2O, Na_2O, działających jako topniki. Należy więc liczyć się w tych wyrobach z udziałem mulitu jako wyosobnionej fazy krystalicznej, przy czym udział tej fazy w czerepach wyrobów ceramicznych może być bardzo duży. Wchodzą tu w rachubę wyroby ceglarskie, klinkierowe, kamionkowe, fajansowe, porcelanowe, szamotowe i specjalne wyroby ogniotrwałe o dużej zawartości Al_2O_3, przy czym im wyższa jest temperatura wypalania wyrobów, im mniejsza liczba topników, a większa zawartość Al_2O_3 w masie, tym wyraźniej zaznacza się wpływ mulitu na strukturę czerepu i własności danego wyrobu ceramicznego. Należy dodać, że wpływ ten jest na ogół korzystny, przeważnie bowiem dzięki mulitowi uzyskuje się podwyższenie wytrzymałości mechanicznej czerepu, wzrost odporności na działania chemiczne, a także podwyższenie temperatury mięknienia (wzrost ogniotrwałości). Ten ostatni warunek wynika automatycznie z dużej ogniotrwałości czystego mulitu, który topi się w warunkach normalnych niekongruentnie w temperaturze 1810°C z wydzieleniem korundu.

Zagadnienie wytwarzania mulitu w wyrobach ceramicznych oraz forma, w której on występuje, jest więc rzeczą zasadniczą z punktu widzenia własności tych wyrobów. Referat niniejszy, podający nieogłoszone prace autora na ten temat, ma na celu wskazanie możliwości zwiększenia mulityzacji wyrobów ceramicznych z teoretycznego punktu widzenia reakcji w fazach stałych z uwzględnieniem praktycznego zastosowania wynikających stąd wniosków.

2. Badania teoretyczne.

Omówienie zagadnienia na podstawie literatury. Liczba badaczy zajmujących się problemem mulityzacji była i jest bardzo duża. Powszechnie dyskutowanym problemem jest np. sprawa wyjaśnienia zjawiska egzotermicznego, które powstaje przy ogrzewaniu większości minerałów ilastych, a w szczególności kaolinitu, w temperaturach 940 — 980°C. Jedna hipoteza utrzymuje, że jest on wynikiem krystalizacji γ — Al_2O_3 ze zniszczonej w tej temperaturze sieci krystalicznej kaolinitu, druga przypisuje go bezpośredniej krystalizacji mulitu, to jest reakcji chemicznej, dokonywającej się w fazie stałej. Reakcję tę można ująć równaniem:

$$\underset{\text{„metakaolinit"}}{3(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2)} \xrightarrow{940 - 980^\circ C} \underset{\text{mulit}}{3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2} + \underset{\text{krzemionka bezpostaciowa}}{4SiO_2}$$

Wiadomo, że dla kaolinitu, minerału ilastego najbardziej rozpowszechnionego w kaolinach i glinach, występuje stadium wolnego γ — Al_2O_3 w temperaturach niższych od 940°C przy długotrwałym ogrzewaniu preparatów oraz w temperaturach właściwych zjawisku egzotermicznemu przy szybkim ogrzewaniu preparatów. Stwierdzono to sposobem rentgenograficznym. Ale stwierdzono również drogą rentgenograficzną z całą pewnością, że przy temperaturze $\sim$ 1000°C pojawiają się na rentgenogramie wypalanego kaolinitu linie mulitu, znikają zaś gwałtownie linie γ — Al_2O_3. Według autora referatu prawdopodobne jest tłumaczenie, że zjawisko egzotermiczne w temperaturze 940 — 980°C jest związane z mulityzacją kaolinitu z dwu względów:

1) przemiany fazowe (krystalizacja z formy żelowej) związane są raczej z mniejszymi zmianami energetycznymi niż reakcja chemiczna, która przy przeciwnym poglądzie musi się dokonać bez widocznego udziału ciepła, gdyż mulit jest już utworzony w uchwytny sposób powyżej 1000°C;

2) na podstawie teorii przebiegu reakcji w fazach stałych należy oczekiwać, że ewentualna krystalizacja γ — Al_2O_3 powinna wywołać natychmiastową reakcję z SiO_2 i dać ostatecznie glinokrzemian.

To stanowisko zostało przyjęte jako podstawa wyjściowa wykonanej pracy, ale było też stale sprawdzane w czasie tej pracy. Zachodziła jeszcze wątpliwość, czy mulit wytwarza się od razu w całości, to jest praktycznie momentalnie w pewnej temperaturze, czy też stopniowo — zależnie od temperatury i czasu ogrzewania. Badania o charakterze technologicznym przemawiają za przyjęciem tej drugiej hipotezy. Krause i Keetman (1937) podali nawet wzór matematyczny na obliczenie wzrostu mulityzacji:

$$l = b \cdot \lg z,$$

gdzie l — średnia długość kryształu mulitu po czasie z utrzymywania w określonej temperaturze,
b — współczynnik zależny od temperatury i warunków lokalnych.

Wzór ten autorzy wyprowadzili na podstawie obserwacji mikroskopowych wypalonych próbek z mas porcelanowych i fajansowych.

Budnikow w czasach powojennych — w związku z ostatnimi pracami uczonych radzieckich nad przebiegiem reakcji w fazach stałych — traktuje mulityzację jako reakcję monomolekularną w środowisku homogenicznym.

Jednakże technolodzy uznają istnienie mulitu dopiero wtedy, kiedy zjawi się on w postaci uchwytnej przez mikroskop, a może to być przecież proces narastania kryształów mulitu poprzednio wytworzonego w postaci podmikroskopowej, czyli zanik dużej liczby bardzo drobnych kryształów (niemniej dających się odróżnić drogą rentgenograficzną) na korzyść mniejszej liczby większych kryształów. Ponieważ technolodzy przytaczają wysokie temperatury mulityzacji wyrobów ceramicznych (np. porcelany powyżej 1300°C, gliny ogniotrwałej na ogół powyżej 1350°C, a bardzo czystych kaolinów i glin powyżej 1500°C), a pierwsze linie mulitu pojawiają się na rentgenogramach, jak to wyżej wzmiankowano, już po wypaleniu tych materiałów do 1000°C, hipoteza powyższa może być usprawiedliwiona.

Przy wykonywaniu niniejszej pracy przyjęto, że zachodzi stopniowa mulityzacja i można mówić o jej wzroście lub osłabieniu, natomiast w końcowej części referatu przedyskutowano w świetle uzyskanych wyników problem narastania kryształów po pierwszym ewentualnym stadium natychmiastowego utworzenia krystalitów mulitu.

Badania własne. Istotnym celem badań własnych z punktu widzenia referatu była próba przyspieszenia mulityzacji kaolinu przy pomocy reakcji w fazach stałych w temperaturach niższych od stosowanych technologicznie do tego celu. Opierając się na teorii reakcji chemicznych, dokonywających się wyłącznie w stanach stałych, przypuszczano, że reakcja mulityzacji może przebiec z dużą intensywnością we względnie wąskim zakresie temperatur szczególnej aktywacji substratów reakcji. Zakres ten odpowiada prawdopodobnie temperaturom zjawisk egzotermicznych ogrzewanego kaolinu, a mianowicie 940 — 980°C, względnie 1180 — 1220°C, albowiem za tymi zjawiskami powinna się ukrywać jakaś przemiana wewnętrzna, wpływająca dodatnio na mulityzację. Przy tym zgodnie z Hedvallem (1937) przypuszczano, że temperatura maksymalnego przebiegu reakcji powinna przypadać nieco powyżej temperatury, przy której występują zjawiska cieplne. Dlatego wybrano jako temperatury wypalania próbek 1000 i 1250°C.

Aby uwidocznić w formie możliwie czystej wpływ przetrzymywania w temperaturach wymienionych zjawisk cieplnych, nie dodawano topników do badanych mas, natomiast (a) zastosowano znaczne ciśnienie przy prasowaniu próbek z badanych mas (3140 i 10450 kG/cm²), (b) zastosowano surowce

silnie rozdrobnione (przesiane przez sito 0,075 mm), (c) użyto kaolinu „Sedlice Prima", wyprażonego do 720°C, gdyż w tej postaci jest najbardziej aktywny chemicznie.

Aby uniknąć nadmiaru krzemionki w stosunku do składu chemicznego mulitu, dodawano tlenku glinu, uzyskanego przez prażenie hydralgilitu do 600°C, biorąc za punkt wyjścia mieszaniny odpowiadające składowi mulitu po usunięciu przez prażenie części lotnych w czasie doświadczeń.

Do pewnych mas wprowadzono zalążki krystalicznego preparatu mulitu i badano jego wpływ na mulityzację próbki, stawiając tym samym hipotezę, że jak w roztworach przesyconych zalążki krystaliczne powinny i tu podwyższać stopień krystalizacji (wskazuje na to Hüttig, 1943 r.).

Próbki preparatów uzyskanych przez ogrzewanie w podanych wyżej temperaturach badano przez mikroskop, stosując światło spolaryzowane i zabarwiając część próbek, oraz chemicznie przez określenie odporności na działanie kwasu fosforowego. Zrobiono również zdjęcia rentgenograficzne kilku próbek. Metoda chemiczna polegała na działaniu stężonego kwasu fosforowego w temperaturze 250 — 260°C w ciągu 5 minut na badaną próbkę o określonym stopniu rozdrobnienia. Następnie rozcieńczano całość wodą destylowaną w stosunku 1 : 12 i sączono przez podwójny sączek w próżni; sączek spalano i określano ciężar pozostałości, co było miarą odporności na działanie kwasu. Metoda została opracowana na podstawie danych Hirscha i Dawihla (1932) dotyczących oznaczania kwarcu w glinach.

Badaniom poddano następujące preparaty:

I — preparaty mające po wyprażeniu skład stechiometryczny mulit (+ zanieczyszczenia),

II — preparaty zawierające 95% wagowych preparatu I oraz 5% wagowych krystalicznego preparatu mulitu,

M — preparaty zawierające tylko kaolin wyprażony do 720°,

A — preparaty zawierające tylko hydralgilit (tlenek glinu), wyprażony do 600°C.

Wyniki badań mikroskopowych podane są w tabl. I, wyniki badań chemicznych w tabl. II.

Tablica I. Wyniki badań mikroskopowych

Lp.	Preparat	Ciśnienie prasowania (kG/cm²)	Temperatura wypalania (°C)	Czas wypalania (godz.)	Wyniki obserwacji mikroskopowej wypalonych próbek
1	I	3140	1000	7	Brak kryształów mulitu
2	I	10450	1000	7	
3	I	3140	1000	70	
4	I	10450	1000	70	
5	II	3140	1000	7	Niewielka ilość kryształów mulitu[1])
6	II	10450	1000	7	
7	II	3140	1000	70	
8	II	10450	1000	70	
9	I	3140	1250	10	Bardzo dużo drobnych igieł krystalicznych o wymiarach na granicy rozdzielczej obiektywu[2])
10	I	10450	1250	10	
11	II	3140	1250	10	
12	II	10450	1250	10	

[1]) Mulit został początkowo wprowadzony do tych mas jako zalążek krystaliczny w ilości 5% wagowych.

[2]) Charakterystyczny jest zanik pierwotnie wprowadzonego dla serii II preparatu mulitu (w ilości 5% wagowych), którego większość kryształów była dużo większa niż uzyskiwano po wypaleniu w 1250°C. Zauważono jeden rozpadający się większy kryształ pierwotnie wprowadzonego mulitu przy prażeniu tylko przez 5 godzin.

Wyniki badań rentgenograficznych są następujące:

1) preparat kaolinu: stwierdzono obecność kaolinitu i ślady kwarcu (skalenia nie wykryto);

2) preparat mulitu: stwierdzono zniekształconą strukturę mulitu (słaby roztwór obcych pierwiastków w niewielkiej ilości);

3) preparat I — 3140 kG/cm² — 1000°C — 70 h: stwierdzono obecność γ — Al_2O_3 i mulitu;

4) preparat II — 3140 kG/cm² — 1000°C — 70 h: stwierdzono obecność γ — Al_2O_3 i mulitu (więcej niż w poprzednim przypadku).

Z powyższych badań o charakterze teoretycznym można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W temperaturze 1000°C występuje na pewno reakcja chemiczna między tlenkiem glinu a wyprażonym do tej temperatury kaolinem, na co wskazuje porównawcze zestawienie odporności na działanie kwasu fosforowego.

Tablica II. Wyniki badań chemicznych

Lp.	Preparat	Ciśnienie prasowania (kG/cm²)	Temperatura wypalania (°C)	Czas wypalania (godz.)	Pozostałość po rozpuszczaniu (%)	Hipotetyczna mulityzacja[1]) (%)
1	I	3140	1000	7	0,5	5
2	I	10450	1000	7	0,7	8
3	I	3140	1000	70	1,7	18
4	I	10450	1000	70	2,1	23
5	II	3140	1000	7	2,0	21
6	II	10450	1000	7	2,9	31
7	II	3140	1000	70	4,5	48
8	II	10450	1000	70	7,5	80
9	preparat mulitu	—	—	—	9,3	100
10	M	10450	1000	70	16,8	—
11	A	10450	1000	70	11,5	7
12	M	10450	1000	7	6,5	—
13	A	10450	1000	7	1,5	—
14	I	3140	1250	10	0,0	—
15	I	10450	1250	10	1,5	—
16	II	3140	1250	10	1,2	—
17	II	10450	1250	10	3,5	—

[1]) Mulityzację obliczono przy pomocy wzoru:

$$\% \text{ mulitu} = \frac{a}{b} 100,$$

gdzie a — pozostałość po działaniu kwasu na daną próbkę,

b — pozostałość po działaniu kwasu na preparat mulitu, zakładając, że zawartość mulitu jest proporcjonalna do wykazywanej odporności chemicznej. Z tego względu obliczone wyniki muszą być za niskie, bo mulit w próbkach jest bardziej drobnoziarnisty, wskutek czego o wiele większa jego powierzchnia jest wystawiona na działanie czynników chemicznych.

Na przykład, preparat I — 10450 kG/cm² — 1000°C — 70 h

a) rzeczywista pozostałość po rozpuszczeniu = 2,1%,

b) pozostałość po rozpuszczeniu, gdyby reakcja nie zaszła = 0,53 M + 0,47 A = 0,53 . 16,8 + 0,47 . 11,5 = 14,3%

gdzie M — pozostałość po rozpuszczeniu próbki z samego kaolinu po analogicznym traktowaniu,

A — pozostałość po rozpuszczeniu próbki z tlenku glinu po tym samym postępowaniu doświadczalnym.

Wszystkie inne próbki poddane działaniu tej temperatury zachowują się wobec kwasu fosforowego w ten sam sposób.

2. Wprowadzenie zalążków krystalicznego mulitu sprzyja wzrostowi mulityzacji, co wynika z badań chemicznych (najlepiej widać to z porównania procentowych zawartości hipotetycznego mulitu) oraz rentgenograficznych.

3. Porównanie zestawień odporności na działanie kwasu fosforowego, względnie hipotetycznych mulityzacji, prowadzi do wniosku, że przetrzymanie w temperaturze 1000°C wypalanych próbek jest bardziej skuteczne niż przetrzymanie w 1250°C, jeżeli nie zastosuje się bardzo wysokiego ciśnienia prasowania próbek. Można przypuszczać na tej podstawie, że mulityzacja kaolinitu, a prawdopodobnie również innych minerałów ilastych grupy kaolinitu, jest związana ze zjawiskiem egzotermicznym, występującym przy temperaturze ok. 1000°C a nie ze zjawiskiem egzotermicznym występującym ok. 1250°C jak to utrzymuje część technologów. Potwierdza to założenie wyjściowe autora przed wykonaniem opisanej wyżej pracy.

3. Badania technologiczne.

Opracowanie danych teoretycznych do celów technologicznych. Przytoczone wyżej wnioski o charakterze teoretycznym przeważnie nie mogą być bezpośrednio zastosowane w technologii ceramicznej. W skróceniu stwierdzają one, że zwiększenie mulityzacji masy ceramicznej, zawierającej minerały ilaste, powinno być zastąpione:

a) przetrzymywaniem wypalanych wyrobów dłuższy czas w temperaturze około 1000°C,

b) wprowadzeniem do mas zalążków krystalicznych mulitu,

c) wstępnym przygotowaniem surowców, aby były chemicznie jak najbardziej aktywne.

Punkty b) i c) nasuwają zastrzeżenia natury technologicznej, gdyż przygotowanie krystalicznego mulitu, jak również uaktywnianie surowców przez wstępne wyprażanie do niskich

temperatur oraz dokładne mielenie są kłopotliwe i kosztowne w normalnej produkcji ceramicznej. Ponieważ wyprażone minerały ilaste tracą plastyczność, zastosowanie ściśle tego warunku jest w ogóle niemożliwe. Dlatego próba zastosowania wniosków, wypływających z wyżej wymienionych badań teotycznych, może być tylko kompromisowa. Kompromis taki może być zdaniem autora ujęty w postaci następujących zaleceń:

1) przetrzymać możliwie jak najdłużej wypalane wyroby w temperaturze 1000°C;

2) wprowadzać do mas ceramicznych w małych ilościach drobno zmielony szamot, porcelanę itp., to jest odpadki ceramiczne zawierające w sobie mulit;

3) częściowo wyprażać surowce ilaste do 700 — 800°C, ale w ramach koniecznej plastyczności całej masy;

4) stosować możliwie dokładne mieszanie i rozdrabnianie składników masy.

Wymienione poprzednio wnioski charakteru teoretycznego mogą być sprawdzane w różny sposób dla różnych materiałów ceramicznych zależnie od przyjęcia lub nieprzyjęcia kompromisowych wytycznych autora. Poniżej podane są wyniki dwu własnych prac doświadczalnych autora, dotyczących produkcji wyrobów kamionkowych oraz szamotowych.

B a d a n i a m a s k a m i o n k o w y c h. Na masę próbną użyto następujących surowców:

1) skaleń „Strzeblów" — 15%,
2) glina „Zelczów" — 10%,
3) glina „Bolko BAS" — 60%,
4) glina „Bolko BAS" prażona 3 godziny w 720°C — 15%,
5) szamot mielony — 5%.

Wszystkie wyżej wymienione surowce rozdrobniono i przesiano przez sito 4900 oczek/cm². Glinę „Zelczów" stosowano jako środek częściowo schudzający, ponieważ zawiera ona znaczną ilość drobnego kwarcu.

Z wymienionej wyżej masy — po zarobieniu z wodą na masę plastyczną — uformowano kształtki. Kształtki te suszono na powietrzu i w suszarce w temperaturze 105 — 110°C, a następnie wypalano dwoma sposobami:

I) jedną część przygotowanych kształtek wypalano w piecu sylitowym w temperaturze 980 — 1000°C; temperaturę tę utrzymywano przez 5 godzin, następnie piec ostudzono; po raz drugi wypalono kształtki w temperaturze do 1300°C, utrzymując maksymalną temperaturę przez 15 minut;

II) drugą część przygotowanych kształtek wypalono nagrzewając je bezpośrednio do 1300°C i przetrzymując w tej temperaturze przez 30 minut.

Osiągnięto następujące wyniki na kształtkach surowych i wypalonych:

woda zarobowa (na mokrą masę)	34,0%
skurczliwość wysychania	5,7%
skurczliwość wypalania do 1000°C (na suchą masę)	1,1%
skurczliwość wypalania do 1300°C (na suchą masę)	10,3% dla I
skurczliwość wypalania do 1300°C (na suchą masę)	9,4% dla II
nasiąkliwość po wypaleniu do 1300°C	0,0% dla I
" " " " "	0,0% dla II
wytrzym. na ściskanie po wypal. do 1300°C	476 kG/cm² dla I
" " " " "	585 kG/cm² dla II
kwasoodporność po wypal. do 1300°C. wg GOST 473-41	98,3% dla I
kwasoodporność po wypal. do 1300°C. wg GOST 473-41	97,0% dla II

Powyższe wyniki wskazują, że dłuższe przetrzymywanie wypalonego wyrobu kamionkowego w temperaturze maksymalnej (1300°C) podwyższa jego wytrzymałość mechaniczną i nie ma znaczniejszego wpływu na wzrost kwasoodporności. Natomiast dłuższe wypalanie mas w temperaturze 1000°C, a nawet krótsze w temperaturze maksymalnej, podwyższa znacznie kwasoodporność, co można wytłumaczyć tylko zwiększeniem zawartości mulitu lub jego lepszym wykształceniem — w całkowitej zgodności z przewidywaniami teoretycznymi autora.

B a d a n i a m a s s z a m o t o w y c h. Sporządzono następującą masę:

glina „Jaroszów" G 2	45%
glina „Parszów" G 4, prażona 3 godziny w temperaturze 720°C	50%
szamot wysokopałowy mielony	5%
	100%

Wszystkie wymienione składniki dozowano w stanie rozdrobnionym po przesianiu przez sito o 4900 oczek na 1 cm² i wymieszano na sucho w młynie kulowym. Zarobiono je następnie z wodą na masę plastyczną i uformowano kształtki. Kształtki te suszono początkowo w atmosferze powietrza, a później w suszarce w temperaturze 105 — 110°C. Kształtki te wypalano dwoma sposobami:

A) część przygotowanych kształtek wypalono do temperatury 980 — 1000°C, którą utrzymywano przez 5 godzin, a następnie piec studzono; kształtki wypalono ponownie grzejąc je do 1350°C i przetrzymując w maksymalnej temperaturze przez 15 minut;

B) drugą część kształtek wypalono grzejąc je bezpośrednio do 1350°C i przetrzymując przez 15 minut w końcowej temperaturze.

Uzyskane kształtki surowe i wypalone poddano badaniom w celu określenia własności masy wyrobów i osiągnięto następujące wyniki:

woda zarobowa (w przeliczeniu na suchą masę)	31,8%
skurczliwość wysychania	7,0%
skurczliwość wypalania do 1000°C całkowita	8,6%
skurczliwość wypalania do 1350°C całkowita	16,8% dla A
" " " " "	14,8% dla B
nasiąkliwość po wypaleniu do 1000°C	17,5%
nasiąkliwość po wypaleniu do 1350°C	0,5% dla A
" " " " "	1,3% dla B
odporność na działanie szkła sodowo-wapniowego (żużloodporność) w ciągu 1 godz. w temperaturze 1310—1330°C	tygle nie wykazały śladów zaatakowania
odporność na działanie stopionej sody	96,5% dla A
" " " " "	94,7% dla B
wytrzym. na ściskanie po wypal. do 1350°C przeciętnie	312 kG/cm² dla A
wytrzym. na ściskanie po wypal. do 1350°C przeciętnie	209 kG/cm² dla B

Odporność chemiczną określano jako żużloodporność przez wytapianie w tyglach z badanych materiałów szkła sodowego, następnie przecięcie tygla i określenie wizualne stopnia zaatakowania, oraz przez stopienie z sodą rozdrobnionego materiału (próba autora wzorowana na określaniu kwasoodporności według normy radzieckiej). To ostatnie oznaczenie przeprowadzono w sposób następujący: rozdrobniono materiał tak, aby przechodził w całości przez sito o prześwicie 1,0 mm, i brano frakcję, która pozostawała na sicie 0,2 mm; przemywano tę frakcję, aby uwolnić ją od pyłu, i stapiano około 1 grama z 6 gramami sody w tyglu platynowym w określonych warunkach przez 20 minut; następnie gotowano zawartość w wodzie, neutralizowano kwasem, kilka razy dekantowano wodą i wreszcie wymywano na sicie 0,09 mm. Pozostałość ważono i podano w procentach pierwotnego ciężaru, co było miarą odporności na działania alkaliczne, porównywalną do pewnego stopnia z żużloodpornością, cechą ważną dla własności materiałów szamotowych.

Uzyskane wyniki wskazują, że przetrzymywanie w czasie wypalania wyrobów szamotowych w temperaturze 1000°C ma doniosły wpływ na własności tych wyrobów. Wpływ ten należy uważać za dodatni, na co wskazuje podwyższenie wytrzymałości mechanicznej, spadek nasiąkliwości i wzrost odporności na działania alkaliczne, który można by uważać za miarę ilościową żużloodporności. Ta ostatnia cecha jest szczególnie interesująca z punktu widzenia niniejszego referatu, można bowiem wytłumaczyć ją tylko wzrostem zawartości mulitu w wyrobach — w zupełnej zgodzie z przewidywaniami uzyskanymi na podstawie badań teoretycznych autora.

4. Możliwości zastosowania uzyskanego materiału doświadczalnego w technologii wytwarzania porcelany elektrotechnicznej.

Zagadnienie to jest ściśle uzależnione od wymagań, które ma spełniać dany gatunek porcelany. Wzrastają one w dużym stopniu, gdy przechodzi się od porcelany niskonapięciowej do wysokonapięciowej, w tym drugim bowiem przypadku

izolatory porcelanowe pracują w warunkach dużych obciążeń mechanicznych i elektrycznych. Zatrzymując się na porcelanie wysokonapięciowej można wskazać kilka ogólnych właściwości, które ona powinna mieć. Są to: 1) duża wytrzymałość mechaniczna (na ściskanie, ścinanie, zginanie, rozciąganie); 2) duża wytrzymałość na przebicie elektryczne; 3) duży opór elektryczny w temperaturze normalnej (20 ± 5°C) względnie podwyższonej, co w warunkach pracy izolatorów może się zdarzyć.

Omawianie tych cech pod kątem widzenia struktury czerepu porcelanowego oraz jego składu chemicznego byłoby zbyt obszerne i mijałoby się z celem referatu. Należy jednak zaznaczyć, że istnieje tu wiele kwestii spornych. Do nich przypuszczalnie należy również sprawa zawartości mulitu w czerepach izolatorów porcelanowych. Ograniczymy się tu do przedstawienia pokrótce poglądu autora na sprawę.

Ogólnie wiadomo, że wytrzymałość mechaniczna tworzywa tlenkowego jest większa wówczas, gdy występuje ono w formie krystalicznej, niż wtedy, kiedy ma formę bezpostaciową (szkła itp.). Stojąc na stanowisku, że mulit tworzy się przy wypalaniu porcelany nie momentalnie, lecz w odpowiednim zakresie temperatury i czasu, należy uznać powyższe stwierdzenie za jednoznaczne z przyjęciem, że wzrost jego zawartości podwyższa wytrzymałość mechaniczną tworzywa porcelanowego. Gdyby natomiast reakcja mulityzacji przebiegała bardzo prędko w wąskim zakresie temperatury, co doprowadzałoby do wytworzenia krystalitów, to dalsze podwyższenie temperatury, konieczne do utworzenia pewnej ilości fazy szklistej w tworzywie porcelanowym, powinno spowodować redukcję liczby krystalitów na korzyść wzrostu tworzących się kryształów. Tym samym stopień jednorodności czerepu porcelanowego zostałby zmniejszony, co mogłoby wpłynąć na zmniejszenie jego wytrzymałości mechanicznej. Niezależnie od tego, czy uzna się drugi pogląd za słuszny, czy też nie, nie można nie liczyć się z faktem, że kryształy mulitu zwiększają się w czasie wypalania porcelany, na co wskazuje choćby to, że przy niższych temperaturach wypalania (1000 — 1100°C) mas porcelanowych próbki niedopalonej porcelany wykazują mulit tylko rentgenograficznie, a w gotowym wyrobie porcelanowym można go również wykryć przez mikroskop. Zagadnienie największej jednorodności tworzywa porcelanowego staje się może dlatego problemem zasadniczym dla jego wytrzymałości mechanicznej. Przy wypalaniu masy porcelanowej powyżej temperatury pojawienia się fazy ciekłej, pochodzącej głównie od stopionego skalenia (według Krausego już od 1000°C), zachodzą z punktu widzenia jednorodności czerepu dwa przeciwne sobie procesy:

1) tworzenie się widzialnych przez mikroskop igieł mulitu (wzrost kryształów);

2) rozpuszczanie się krzemionki w stopionej masie zastygającej po ochłodzeniu pod postacią szkła (zmniejszanie kryształów).

Oczywiście, można teoretycznie przewidzieć granicę wypalania, przy której oba rodzaje kryształów — pomijając ich odmienny kształt — będą miały porównywalne ze sobą wymiary. Wtedy należałoby oczekiwać największej jednorodności czerepu. Występuje tu jednak czynnik trzeci zasadniczy, mianowicie porowatość. W miarę tego, jak stopiona faza ciekła wypełnia pory uformowanego wyrobu porcelanowego, ogólna jego porowatość spada. Nie należy jednak przypuszczać, że wzrost temperatury wypalania, zwiększający zawartość fazy ciekłej i obniżający jej lepkość, prowadzi zawsze do zmniejszenia porowatości czerepu. Jest rzeczą stwierdzoną, że w wyższych temperaturach wypalania stopiony skaleń odgazowuje się, tworząc po ostygnięciu pory zamknięte, to jest powiększając porowatość bezwzględną wyrobu. Według Krausego odgazowywanie stopionego skalenia w masie porcelanowej zaczyna się już od 1350°C, to jest w granicach technicznego wypału porcelany elektrotechnicznej. Obniżenie temperatury wypalania — z ewentualnym przedłużeniem czasu wypalania i dokładniejszym rozdrobnieniem składników masy — mogłoby temu zaradzić, ale z drugiej strony okazuje się, że na wytrzymałość mechaniczną gotowego wyrobu porcelanowego w dużym stopniu wpływa jego szkliwo, przy czym najlepiej działają szkliwa o małej zawartości topników, to znaczy wymagające wysokich temperatur wypalania. Narasta więc cały szereg przeciwdziałających sobie czynników, komplikujących całość zagadnienia. Autor pragnie jedynie zwrócić uwagę na to, że zgodnie z wynikami jego prac mulityzację wyrobów ceramicznych można podwyższyć przez przetrzymanie wypalanych wyrobów w temperaturze około 1000°C, względnie umożliwić tą drogą wytworzenie większej ilości mulitu o mniejszych kryształach, przetrzymywanie bowiem masy ceramicznej w tej temperaturze powinno spowodować powstanie większej liczby lepiej wykształconych krystalitów, co w konsekwencji daje większą ilość kryształów o mniejszych wymiarach. Wydaje się, że na tej drodze można osiągnąć pewne zwiększenie jednorodności struktury porcelany. Dalej idące wnioski można by jednak wyciągnąć dopiero po dokładnym zbadaniu uzyskanego na tej drodze tworzywa porcelanowego.

Wytrzymałość na przebicie elektryczne jest prawdopodobnie związana w dużym stopniu z małą porowatością porcelany zarówno względną, jak i bezwzględną, oraz z jednorodnością struktury czerepu. Dlatego przytoczone wyżej uwagi, dotyczące wpływu na wytrzymałość mechaniczną, mogą się stosować i do tego zagadnienia. Również więc i z tego punktu widzenia wydaje się korzystne przetrzymanie wypalanych wyrobów z mas elektrotechnicznych w temperaturze około 1000°C, jak to wynika z przytoczonych wyżej prac autora.

Opór elektryczny tworzywa tlenkowego jest większy dla stanu krystalicznego niż dla stanu szklistego tego samego ciała. Z tego względu wytworzenie w czerepie porcelanowym mulitu w postaci dobrze wykształconych kryształów powinno zwiększyć opór elektryczny tworzywa. Ponieważ przy przetrzymaniu masy porcelanowej w czasie wypalania w temperaturze 1000°C należy przewidywać raczej utworzenie większej liczby drobnych kryształów mulitu w produkcie końcowym, niż mniejszej liczby większych kryształów, należałoby jeszcze rozpatrzyć, jaki ma to wpływ na przewodność elektryczną czerepu — dodatni czy ujemny. Wydaje się, że ten wpływ powinien być dodatni, gdyż zagadnienie sprowadza się do rozdziału cząstek gorzej przewodzących (kryształy) w ośrodku lepiej przewodzącym (szkło). Jeżeli cząstki gorzej przewodzące są drobniejsze, to w dowolnym kierunku przepływu prądu napotyka się większą ich liczbę i gęstsze ułożenie, czyli prawdopodobieństwo przepływu prądu przez dłuższy odcinek wyłącznie środowiska lepiej przewodzącego (szkła) maleje. Prąd napotyka na swej drodze na przemian kryształy i fazę szklistą. To może osłabić przewodnictwo elektryczne tworzywa, jednocześnie zaś zmniejszenie przewodnictwa lokalnego powinno podwyższać wytrzymałość tworzywa na przebicie.

Jeżeli po tych rozważaniach przyjmiemy pogląd, że podwyższenie zawartości mulitu w czerepach porcelanowych jest korzystne z punktu widzenia zastosowań w technice wysokich napięć, to, oczywiście, należy uważać także za słuszne wprowadzenie do tych mas zalążków krystalicznych mulitu w postaci drobno zmielonego złomu porcelanowego lub kaolinu wypalonego do wysokich temperatur. Chociaż wymiary takich zalążków krystalicznych są różne, co może prowadzić do większego rozrzutu wymiarów wytwarzanego mulitu, wątpliwe jest, aby odbiło się to wyraźnie na własnościach wypalonego tworzywa, a w każdym razie powinien być ten wpływ mniejszy niż korzyści płynące ze zwiększenia ilości mulitu.

Podsumowując powyższe wywody należy stwierdzić, że rozważania teoretyczne, oparte na materiale doświadczalnym prac autora, otwierają pewne perspektywy polepszenia jakości porcelany elektrotechnicznej przez nieznaczną zmianę dotychczasowej technologii wytwarzania, przy czym punktem zasadniczym jest przetrzymywanie przez pewien przeciąg czasu wypalanych wyrobów w temperaturze około 1000°C. Ten ostatni warunek nie powinien nasuwać specjalnych trudności technologicznych. Dalsze prace badawcze nad tym zagadnieniem powinny określić jego przydatność technologiczną w zakresie produkcji tworzyw elektroceramicznych.

LITERATURA

Kartoteka Litinskiego: N-38 (1933), N-153 (1933), N-228 (1933), N-408 (1933), N-491 (1932), N-1807 (1935), N-1995 (1935), N-2229 (1935), N-3038 (1935), N-5553 (1938), N-5727 (1937).
Funk W. Die Rohstoffe der Feinkeramik, 1933, 112—114, 159—160.
Tscheischwili L., Büssem W., Weyl W. Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellsch., 1939, 20, 165—180.
Eitel W. Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellsch., 1937, 18, 2—11.
Skola Vl. Keramische Rundschau, 1937, 188—190.
Hedvall A. Reaktionsfähigkeit fester Stoffe, 1933.
Meier F. W. Sprechsaal, 1940, 69—71.
Searle A. B. Refractory Materials, 1940, 147—148.
Keler A., Leonow W. Uspiechi Chimii, 1953, XXII, 334-354.
Jewstropiew K. S., Toropow I. A. Chimia kriemnia i fiziczeskaja chimia silikatow, 1950, 254—258.
Johns D. The Mineralogical Magazine, 1953, 30—35.

MGR INŻ. JERZY RANACHOWSKI
Zakład Wysokich Napięć IEI
MGR INŻ. JERZY WEHR
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Zastosowanie defektoskopii ultradźwiękowej do prób ceramicznych izolatorów wysokonapięciowych

621.317.3:66.084:621.315.62

Treść. Fizyczne podstawy defektoskopii ultradźwiękowej w zakresie promieniowania fal ultradźwiękowych, rozchodzenia się ich, oraz odbijania. Różne metody stosowane w defektoskopii ultradźwiękowej ze szczególnym uwzględnieniem metody impulsowej (echowej). Prace własne nad zastosowaniem metod ultradźwiękowych do badania tworzywa ceramicznego i gotowych wyrobów. W wyniku badań stwierdzono przydatność metody do wykrywania wtrąceń i nieciągłości w izolatorach wysokonapięciowych, możliwość wykrywania wadliwie wykonanych klejeń izolatorów oraz możliwość badania stanu dopalenia i wytrzymałości mechanicznej tworzywa ceramicznego.

1. Wstęp.

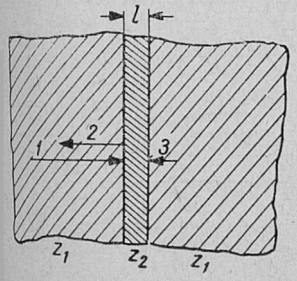
W ostatnich latach obserwujemy wzrost zainteresowania metodami defektoskopii ultradźwiękowej w odniesieniu do badania materiałów i kontroli produkcji. Szybki rozwój tych metod i osiągnięte wyniki w przemyśle metalowym przyczyniły się do rozszerzenia zakresu defektoskopii ultradźwiękowej również na tworzywa ceramiczne.

W ZSRR pierwsze badania nad możliwością zastosowania defektoskopii ultradźwiękowej do wyrobów ceramicznych, szczególnie izolatorów wysokiego napięcia, wykonane były już w latach 1938—1939; prace te, przerwane w latach wojny, zostały wznowione po jej zakończeniu [1]. Ostatnio metoda defektoskopii ultradźwiękowej została wprowadzona w Niemczech jako jedna z prób wyrobu liniowych izolatorów typów nieprzebijalnych (VDE 0446/55).

Badania nad zastosowaniem defektoskopii ultradźwiękowej do prób krajowego tworzywa ceramicznego oraz gotowych wyrobów porcelanowych (izolatorów) rozpoczęto w 1954 roku w Zakładzie Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki przy współpracy Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk i Zakładu Elektroakustyki Politechniki Warszawskiej.

2. Fizyczne podstawy defektoskopii ultradźwiękowej.

Większość metod defektoskopii ultradźwiękowej oparta jest na zjawisku odbijania się fal ultradźwiękowych od napotkanych na swej drodze niejednorodności ośrodka (np. wtrąceń, zanieczyszczeń, pęknięć i rozwarstwień).



Rys. 1. Warstwa materiału o grubości l i oporności falowej akustycznej Z_2 umieszczona w ośrodku o oporności Z_1
1 — energia padająca fal ultradźwiękowych
2 — energia odbita fal ultradźwiękowych
3 — energia przechodząca fal ultradźwiękowych

Współczynnik odbicia energii płaskiej fali dźwiękowej, padającej prostopadle na granicę dwu ośrodków nieskończenie rozciągłych o opornościach falowych akustycznych Z_1 i Z_2, wyraża się wzorem:

$$b = \left[\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right]^2. \tag{1}$$

W przypadku przechodzenia fali przez warstwę materiału o grubości l i oporności falowej akustycznej Z_2 umieszczonej w ośrodku o oporności Z_1 (rys. 1) współczynnik odbicia wynosi [8]:

$$b = \frac{(m^2-1)^2}{4m^2 \cdot \operatorname{ctg}\frac{2\pi l}{\lambda_2} + (m^2+1)^2}, \tag{2}$$

gdzie $m = Z_2/Z_1$,
λ_2 — długość fali w ośrodku o oporności Z_2.

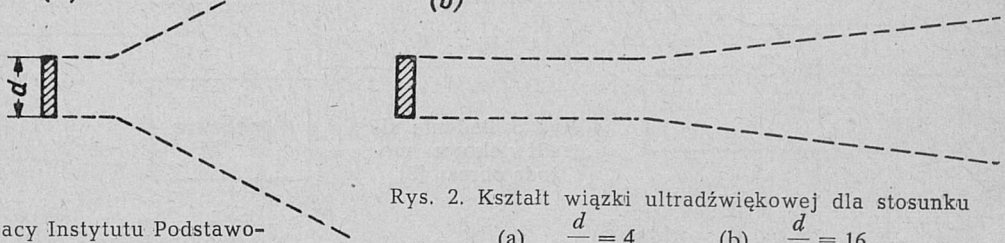
Oporność falowa akustyczna danego ośrodka jest

$$Z = p/v = \rho c \cong \sqrt{E\rho},$$

gdzie p — składowa zmienna ciśnienia pola akustycznego,
v — prędkość drgań cząstek ośrodka,
ρ — gęstość materiału,
c — prędkość rozchodzenia się fal dźwiękowych w danym materiale,
E — moduł sprężystości Younga.

Ze wzoru (2) wynika, że najcieńsze spotykane w praktyce szczeliny powietrzne w ośrodkach stałych (grubość kilku mikronów) powodują prawie całkowite odbicie fal ultradźwiękowych o częstotliwościach stosowanych w defektoskopii ultradźwiękowej (rzędu 10^6 Hz).

Stosowanie w defektoskopii wielkich częstotliwości korzystne jest ze względu na możliwość otrzymania odbicia od małej niejednorodności, co — na skutek zjawiska ugięcia — byłoby niemożliwe w przypadku zastosowania fal długich. Przy zastosowaniu dużych częstotliwości otrzymujemy równocześnie lepsze możliwości wykrycia miejsca odbijającego. Uwarunkowane jest to większym skupieniem wiązki fal ultradźwiękowych. Wiązka ma w przybliżeniu kształt



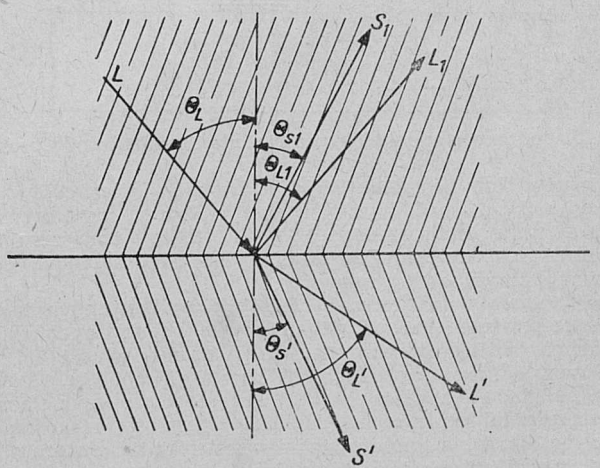
Rys. 2. Kształt wiązki ultradźwiękowej dla stosunku
(a) $\frac{d}{\lambda} = 4$ (b) $\frac{d}{\lambda} = 16$
λ — długość fali w ośrodku badanym

stożka ściętego, rozszerzającego się od powierzchni przetwornika ultradźwiękowego (rys. 2).

Charakterystyka kierunkowości dla fal podłużnych w ciałach stałych określona jest [2] równaniem:

$$\frac{v_\Theta}{v_{\Theta=0}} = \frac{2\mathcal{J}_1\left(\frac{\omega a_0}{c}\cdot\sin\Theta\right)}{\frac{\omega a_0}{c}\cdot\sin\Theta}\cdot\cos\Theta, \tag{3}$$

gdzie v_Θ — prędkość cząstkowa w kierunku tworzącym kąt Θ z kierunkiem osi symetrii przetwornika kwarcowego,
$v_{\Theta=0}$ — prędkość cząstkowa w kierunku osi symetrii,
$\mathcal{J}_1$ — funkcja Bessela I rzędu,



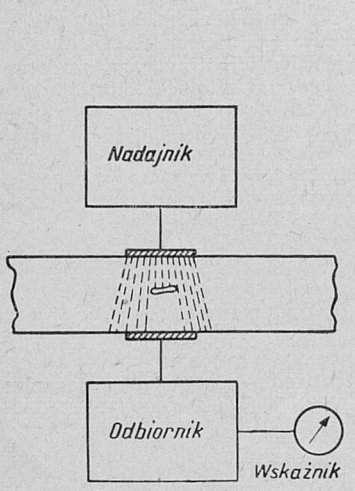
Rys. 3. Schemat rozszczepienia fali na składowe [1]
Θ_L — kąt padania fali podłużnej
$\Theta_{L'}$ — kąt załamania fali podłużnej
Θ_{L1} — kąt odbicia fali podłużnej
$\Theta_{s'}$ — kąt załamania fali poprzecznej
Θ_{s1} — kąt odbicia fali poprzecznej

ω — $2\pi f$ (f — częstotliwość),
a_0 — promień przetwornika,
c — prędkość rozchodzenia się fal w rozważanym ośrodku,
Θ — kąt między rozważanym kierunkiem a osią główną.

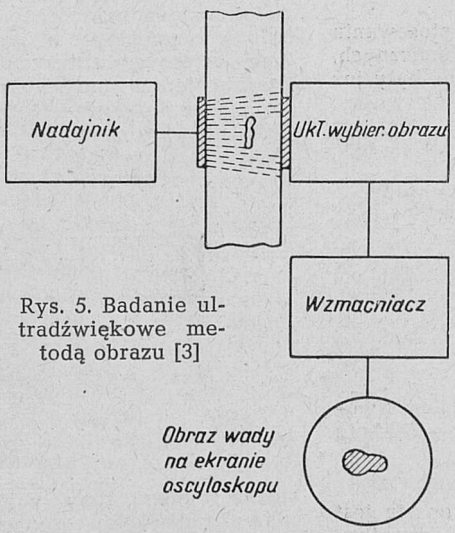
Stosowanie jednak zbyt wielkich częstotliwości jest niepożądane ze względu na możliwość odbić w badanym materiale od większych kryształów oraz na tłumienie fal ultradźwiękowych, zwiększające się ze wzrostem częstotliwości.

Wymienione wyżej okoliczności określają wybór najkorzystniejszych częstotliwości pracy zależnie od badanego tworzywa. W przypadku ceramiki technicznej stosuje się najczęściej częstotliwości od 1 do 4 MHz (dla betonu 50 kHz, dla stali 1 do 6 MHz).

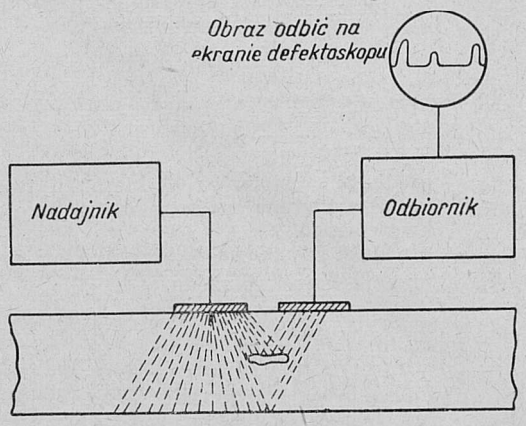
Drgania ultradźwiękowe o częstotliwościach rzędu kilku megaherców wytwarza się przy pomocy przetworników piezoelektrycznych — zwykle w postaci płytek z kwarcu kry-



Rys. 4. Badanie ultradźwiękowe metodą prześwietlania [3]



Rys. 5. Badanie ultradźwiękowe metodą obrazu [3]



Rys. 7. Badanie ultradźwiękowe metodą impulsów odbitych [3]

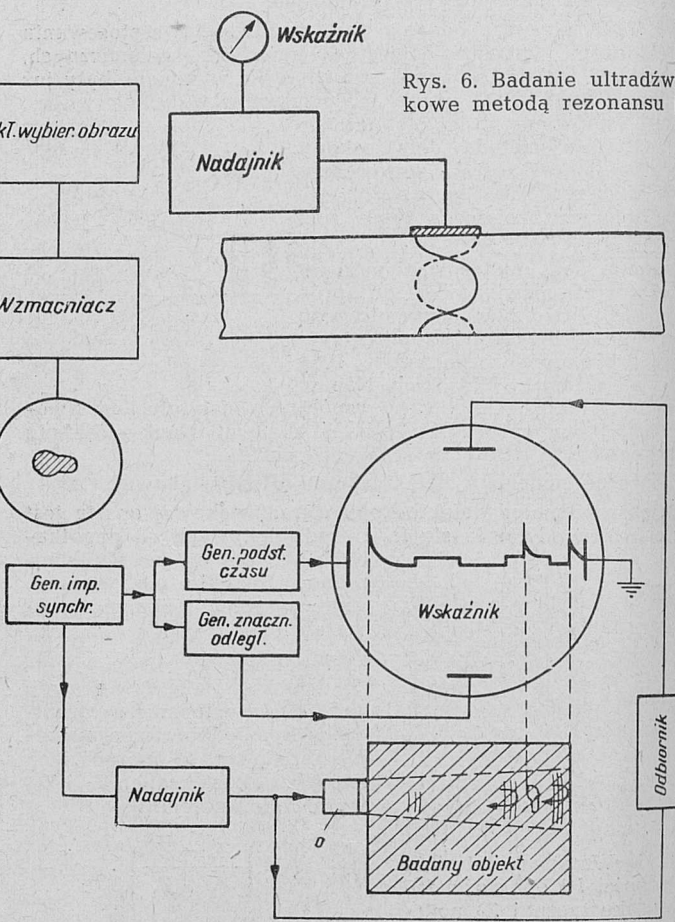
stalicznego lub tytanianu baru, które mają własność wykonywania drgań mechanicznych pod wpływem wytworzonego w nich pola elektrycznego. Płytki takie umieszcza się w głowicach, do których doprowadza się napięcie elektryczne kablem ekranowanym.

Do badania obiektów o bardziej skomplikowanych kształtach często zachodzi potrzeba użycia specjalnych głowic skośnych, pozwalających na wprowadzenie wiązki fal pod pewnym kątem do powierzchni badanego obiektu. Głowica taka składa się z przetwornika kwarcowego oraz obsady pryzmatycznej. Różnica między głowicą prostą i skośną polega na sposobie umieszczenia przetwornika kwarcowego. Przetwornik w głowicy zwykłej ustawia się równolegle do badanej płaszczyzny, w głowicy zaś skośnej jest on nachylony względem niej. Fala akustyczna podłużna padając skośnie na granicę dwu ośrodków sprężystych ulega rozszczepieniu na składowe — podłużną i poprzeczną. Na rys. 3 przedstawiono schemat rozszczepienia fali na składowe. Składowe podłużna i poprzeczna rozchodzą się w nowym ośrodku z różnymi prędkościami (por. wzory 6 i 7) i pod różnymi kątami. Związki między prędkościami rozchodzenia się składowych i kątami ich załamań określa zależność:

$$\frac{\sin\Theta_L}{c_L} = \frac{\sin\Theta_{L'}}{c_{L'}} = \frac{\sin\Theta_{s'}}{c_{s'}}, \tag{4}$$

gdzie c_L — prędkość padającej fali podłużnej,
$c_{L'}$ i $c_{s'}$ — prędkości załamanej fali podłużnej i poprzecznej.

Przenikanie przez materiał badany równocześnie dwu rodzajów fal — podłużnych i poprzecznych — o różnych prędkościach rozchodzenia się utrudniałoby znacznie badania, dlatego też konstruuje się głowice skośne w taki sposób, aby do badanego tworzywa wnikała tylko załamana fala poprzeczna. Uzyskamy to przez odpowiedni dobór kąta nachylenia przetwornika oraz materiału głowicy. Kąt między składową podłużną fali padającej i prostopadłą do powierzchni musi być większy od kąta całkowitego odbicia dla składowe



Rys. 6. Badanie ultradźwiękowe metodą rezonansu [3]

Rys. 7a. Układ blokowy defektoskopu ultradźwiękowego DI-4a konstrukcji Zakładu Elektroakustyki Politechniki Warszawskiej

Gen. imp. synchr. — generator impulsów synchronizujących wytwarzający impulsy, które wyzwalają synchronicznie generator podstawy czasu, nadajnik i generator znaczników czasu.
Gen. podst. czasu — generator podstawy czasu wytwarzający napięcie odchylające, doprowadzane do płytek lampy oscyloskopowej wskaźnika.
Gen. znaczn. odległ. — generator znaczników odległości służący do otrzymania na ekranie lampy oscyloskopowej wskaźnika podziałki w postaci odcinków równomiernie rozłożonych i przesuniętych względem siebie pionowo.
Nadajnik — wytwarza impulsy wielkiej częstotliwości, doprowadzane do przetwornika piezoelektrycznego nadawczego (lub wspólnego nadawczo-odbiorczego).
o — sondy — w skład sond wchodzą:
a) przetworniki piezoelektryczne, zmieniające drgania elektryczne na mechaniczne i odwrotnie,
b) głowice, służące jako osłony i uchwyty przetworników,
c) kable, łączące nadajnik i odbiornik z przetwornikami.
Odbiornik — wzmacnia doprowadzone do niego z przetwornika drgania elektryczne.
Wskaźnik — lampa oscyloskopowa, na której ekranie uwidocznione są impulsy elektryczne wzmocnione przez odbiornik oraz podziałka znaczników odległości.

podłużnej. Najczęściej stosowanym materiałem na głowice skośne są szkła organiczne o stosunkowo małym tłumieniu przy małej prędkości rozchodzenia się fal. Ułatwia to wyeliminowanie fal podłużnych i daje możliwość „płytkiego" prowadzenia fal poprzecznych w badanym materiale [3].

Badania przy pomocy ultradźwięków dostarczają nam również wiadomości o strukturze wewnętrznej tworzywa. Na przykład badając prędkość rozchodzenia się oraz tłumienia fal ultradźwiękowych, można określić stopień dopalenia oraz własności mechaniczne tworzywa ceramicznego.

3. Metody defektoskopii ultradźwiękowej.

W defektoskopii ultradźwiękowej istnieją cztery metody wykrywania wad w badanym obiekcie: 1) metoda prześwietlania, 2) metoda obrazu, 3) metoda rezonansu, 4) metoda impulsów odbitych.

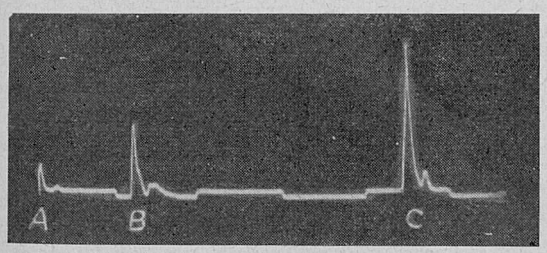
Metoda prześwietlania przedstawiona na rys. 4 opiera się na zasadach analogicznych do prześwietlania rentgenowskiego. Do badanego obiektu wprowadza się fale ultradźwiękowe i odbiera się je z przeciwległej strony. W przypadku wewnętrznej niejednorodności materiału część wiązki fal ulega odbiciu i energia fal, która dotrze do odbiornika, będzie mniejsza od energii fal przechodzących przez materiał jednorodny. Stosunek tych wielkości może być wskaźnikiem istnienia nieciągłości wewnątrz materiału.

Wadą metody prześwietlania jest jej stosunkowo mała czułość. Przyczyna tego jest następująca: wiązka fal ultradźwiękowych wewnątrz badanego materiału ma w przybliżeniu kształt stożka ściętego, wychodzącego z nadajnika piezoelektrycznego o średnicy zwykle około 20 mm; nachylenie tworzących stożka wynosi w typowych przypadkach od 5° do 20°. Wtrącenia lub nieciągłości w materiale o powierzchni znacznie mniejszej od przekroju wiązki tłumią tylko małą część energii fal ultradźwiękowych. Dodatkową trudność przy stosowaniu metody prześwietlania stanowi konieczność dopasowywania obu głowic do kształtu powierzchni badanych obiektów lub badanie w kąpieli.

Metoda obrazu (rys. 5) jest udoskonaleniem metody prześwietlania. Metoda ta jest podobna do telewizji i polega na uwidocznianiu poszczególnych wiązek ultradźwiękowych, przepuszczanych przez materiał. Aparatura potrzebna do metody obrazu jest jednak bardzo skomplikowana w porównaniu z aparaturą stosowaną przy innych metodach.

Ujemną stroną obu podanych wyżej metod jest trudność określenia odległości miejsca wady od tych powierzchni badanego przedmiotu, do których przykładamy przetworniki, oraz, jak już podano, stosunkowo niewielka czułość.

Metoda rezonansowa (rys. 6) stosowana jest do wykrywania wad w obiektach ograniczonych powierzchniami równoległymi przy grubości obiektu nie przekraczającej około 200 mm (płyty, blachy itp.). Polega ona na do-



Rys. 8. Oscylogram odbicia fal ultradźwiękowych w materiale mającym wadę technologiczną

A — impuls wysłany
B — impuls odbity od części wadliwej
C — impuls odbity od dna przedmiotu
Widoczne są schodkowe znaczniki odległości

braniu takiej częstotliwości drgań, aby w badanym materiale wystąpił rezonans fali stojącej. Nastąpi to w przybliżeniu wówczas, gdy grubość materiału badanego jest równa połowie długości fali lub jej wielokrotności. Dla częstotliwości rezonansowej moc wypromieniowana z nadajnika jest największa, co można stwierdzić przy pomocy odpowiednio przystosowanego wskaźnika rezonansu. Znając częstotliwość rezonansową i prędkość rozchodzenia się fal w danym ośrodku, możemy wyznaczyć grubość materiału lub określić miejsce nieciągłości. Metoda ta jest stosunkowo mało czuła i stosowana prawie wyłącznie do kontroli powłok jednostronnie dostępnych (sprawdzenie stanu niedostępnej powierzchni) [4].

Najbardziej czuła oraz najmniej zależna od kształtu badanego przedmiotu jest metoda impulsów odbitych (rys. 7 i 7a), przy której wytwarza się krótkie impulsy elektryczne, zamieniane przez przetwornik piezoelektryczny na impulsy fal ultradźwiękowych. Wiązka fal ultradźwiękowych odbita od nieciągłości ośrodka ponownie przetwarza się na impuls elektryczny, który kieruje się na płytki oscyloskopu. Odległość na ekranie oscyloskopu między impulsem wysłanym a odbitym jest miarą czasu, który upłynął od chwili wysłania wiązki do chwili jej powrotu. Znając prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w materiale można określić odległość, z której nastąpiło odbicie fal, czyli odległość nieciągłości materiału od powierzchni przyłożonego przetwornika. Zwykle na ekranie oscyloskopu otrzymuje się duży wyraźny impuls, będący odbiciem wiązki od dna badanego przedmiotu, w przypadku zaś istnienia wady występuje trzeci impuls między impulsem wysłanym a impulsem odbitym od dna, świadczący o istnieniu wady wewnątrz tworzywa (rys. 8). Znając prędkość rozchodzenia się fal można wyskalować podstawę czasu oscyloskopu w jednostkach długości tak, że odległość miejsca uszkodzonego można odczytywać bezpośrednio na ekranie.

Metoda impulsów odbitych ma nad innymi metodami defektoskopii ultradźwiękowej znaczną przewagę ze względu na swą czułość, co wynika z uwidocznienia na ekranie oscyloskopu rozdzielonych w czasie impulsów — odbitego od wady i odbitego od dna przedmiotu. Metoda impulsów odbitych nadaje się najlepiej ze wszystkich metod do badania przedmiotów o nierównej powierzchni zewnętrznej.

Przy badaniu tą metodą nie można o wielkości wady wewnątrz tworzywa sądzić wyłącznie na podstawie amplitudy odbitego impulsu. Amplituda impulsu odbitego zależy bowiem od szeregu czynników, co określa wzór na wykrywalność wad metodą impulsową [5]:

$$(5) \qquad W \equiv \frac{P_e}{P_{e\,\min}} = k \cdot \frac{U^2 r_o}{P_{e\,\min}} \cdot f^6 \cdot F^4 \cdot \mu^2 \cdot e^{-2\beta(f)\cdot 1} \cdot l^{-4} \cdot A,$$

gdzie
W — wykrywalność,
P_e — moc (w impulsie) elektrycznego sygnału wchodzącego na odbiornik defektoskopu,
$P_{e\,\min}$ — minimalna moc odpowiadająca elektrycznej czułości odbiornika defektoskopu (uzależniona od konstrukcji obwodu i stopnia wejściowego),
k — stała konstrukcyjna i materiałowa przetwornika piezoelektrycznego,
U — napięcie doprowadzone do przetwornika,
r_o — elektryczna oporność wejściowa odbiornika defektoskopu,
f — częstotliwość drgań ultradźwiękowych,
F — powierzchnia czołowa przetwornika nadawczo-odbiorczego,
μ — współczynnik zależny od konstrukcji osłon przetwornika nadawczo-odbiorczego,
$\beta(f)$ — energetyczny współczynnik tłumienia fal ultradźwiękowych w badanym ośrodku będący funkcją częstotliwości,
l — odległość wady od przetwornika,
A — efektywna powierzchnia wady.

Wzór (5) obowiązuje w przypadku stosowania przetworników kwarcowych pracujących w rezonansie. Dla wad małych w porównaniu z długością fali odległość występuje w potędze —4, natomiast dla wad dużych, gładkich i prostopadłych do kierunku wiązki ultradźwiękowej w potędze —2 (odbicie od dna); wykrywalność nie zależy wówczas od A.

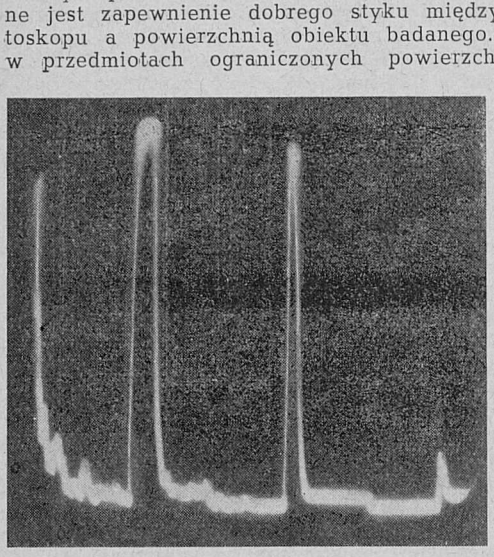
W każdym przypadku seryjnej kontroli ultradźwiękowej metodą impulsów odbitych należy ustalić zależność między wielkością obserwowanych odbić a własnościami materiału i rodzajem występujących w nim wad. Niezbędne jest do tego przeprowadzenie dodatkowych badań innymi metodami niszczącymi lub nieniszczącymi, jak np. prześwietlanie promieniami X, badania nasiąkliwości, wytrzymałości itp.

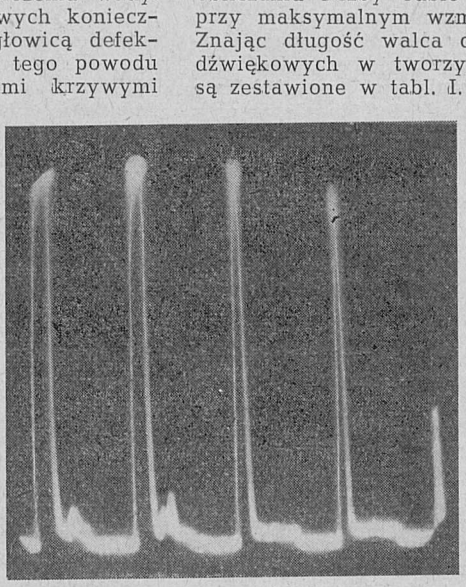
W porównaniu z metodą rentgenowską defektoskopia ultradźwiękowa odznacza się większym zasięgiem (do kilku metrów w stali i materiałach ceramicznych) oraz możliwością wykrywania pęknięć bardzo cienkich, prostopadłych do kierunku prześwietlania. Stanowi to zaletę w porównaniu z metodą rentgenowską, przy której grubość szczeliny dającej się wykryć musi wynosić 2÷5% grubości prześwietlanego materiału.

Ujemną cechą metody ultradźwiękowej jest nieco trudniejsze ustalenie miejsca wady w płaszczyźnie rzutu przedmiotu, niż przy metodzie rentgenowskiej, natomiast dodatnią cechą jest łatwe ustalenie głębokości położenia wady.

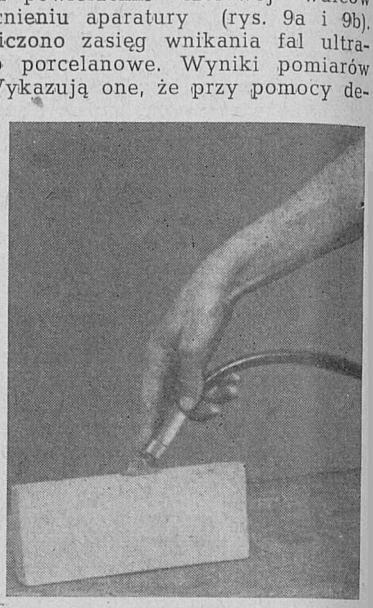
Przy wprowadzeniu wiązki fal ultradźwiękowych konieczne jest zapewnienie dobrego styku między głowicą defektoskopu a powierzchnią obiektu badanego. Z tego powodu w przedmiotach ograniczonych powierzchniami krzywymi głowice powinny mieć kształt odpowiadający tym powierzchniom.

Dla zapewnienia dobrego styku między głowicą defektoskopu a powierzchnią przedmiotu badanego, powierzchnię tę smaruje się gęstym olejem, towotem itp.





Rys. 9. Obraz kolejnych odbić w walcu porcelanowym
a — przy częstotliwości fal ultradźwiękowych 4 MHz b — przy częstotliwości fal ultradźwiękowych 2,5 MHz



Rys. 10. Sposób ustawienia głowicy skośnej przy wyznaczaniu prędkości rozchodzenia się ultradźwiękowych fal poprzecznych

4. Wstępne prace nad zastosowaniem defektoskopii ultradźwiękowej do badania tworzywa ceramicznego i gotowych wyrobów.

Zakres prac wykonywanych w roku 1954 — 55 przez Zakład Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki przy współudziale Zakładu Badania Drgań Instytutu Podstawowych Problemów Techniki P. A. N. i Zakładu Elektroakustyki Politechniki Warszawskiej obejmował następujące badania:

a) określenie zasięgu pomiarowego w zależności od częstotliwości oraz dobór najwłaściwszej częstotliwości do badania porcelany;

b) pomiary prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w porcelanie;

c) badanie możliwości wykrywania wad w izolatorach porcelanowych w postaci nieciągłości, wtrąceń i wadliwie wykonanych klejeń;

d) badanie zależności tłumienia fal ultradźwiękowych w materiale ceramicznym od własności mechanicznych.

Badanie zasięgu pomiarowego. Określenie zasięgu pomiarowego dla tworzywa ceramicznego o składzie masy, stosowanym do produkcji izolatorów wysokiego napięcia przez krajowe zakłady porcelany elektrycznej, wykonano przy pomocy defektoskopu ultradźwiękowego typu DI 4-a konstrukcji Zakładu Elektroakustyki P. W. na trzech zakresach częstotliwości: 4 MHz, 2,5 MHz oraz 2 MHz. Do pomiaru użyto walców o różnych średnicach i długościach. Pomiarów dokonano metodą kolejnych odbić, polegającą na obliczaniu liczby odbić od powierzchni czołowej walców przy maksymalnym wzmocnieniu aparatury (rys. 9a i 9b). Znając długość walca obliczono zasięg wnikania fal ultradźwiękowych w tworzywo porcelanowe. Wyniki pomiarów są zestawione w tabl. I. Wykazują one, że przy pomocy defektoskopii ultradźwiękowej mogą być badane izolatory i osłony o wymiarach osiowych sięgających do 4 m.

Tablica I. Zasięg wnikania fal ultradźwiękowych w tworzywo porcelanowe

Średnica walca (mm)	Długość walca (mm)	Liczba kolejnych odbić	Zasięg (mm)	Średni zasięg (mm)	Częstotliwość (MHz)
150	500	3	1500		
61	150	12	1800	1665	4
20	130	13	1690		
150	500	5	2500		
61	150	16	2400	2370	2,5
20	130	17	2210		
150	500	8	4000		
61	150	27	4050	4085	2
20	150	28	4200		

Pomiar prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych podłużnych i poprzecznych w tworzywie porcelanowym. Prędkość fali podłużnej zależna jest od gęstości badanego materiału ρ, modułu sprężystości E oraz liczby Poissona σ i wyraża się wzorem [8]

(6)
$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$$

lub w przybliżeniu dla $\sigma < 0{,}2$ (w przypadku materiałów ceramicznych)

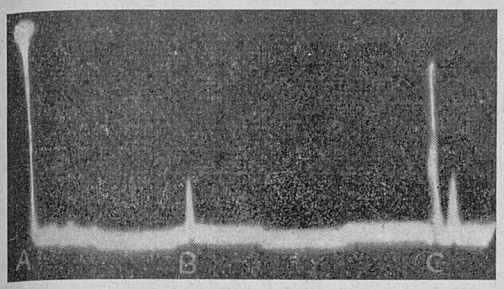
$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}};$$

dla porcelany gęstość ρ wynosi 2,4 ÷ 2,5 g/cm^3, a moduł Younga $E = (7 \div 8) \cdot 10^5$ kG/cm^2. Z obliczeń wynika, iż prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w porcelanie winna zawierać się w granicach od 5240 do 5715 m/s.

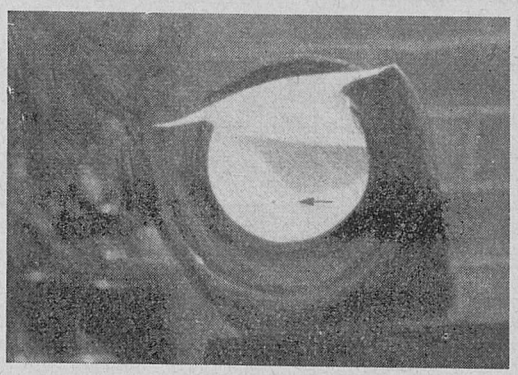


Rys. 11. Sposób przykładania głowicy defektoskopu do izolatora wsporczego typu FS 60 kV

Pomiar prędkości rozchodzenia się fal podłużnych w tworzywie porcelanym wykonano na walcu o średnicy 150 mm i długości 50 cm. Prędkość wyznaczona ze wzoru $c = l/t$, gdzie l — długość walca, a t — czas przejścia fali ultradźwiękowej przez walec, wynosiła 5570 m/s. Wynik ten pokrywa się z wynikiem otrzymanym ze wzoru (6). Przy pomiarach prędkości rozchodzenia się ultradźwiękowych fal podłużnych w wyrobach dobrze dopalonych pochodzących z różnych krajowych fabryk ceramicznych nie stwierdzono różnic prędkości.

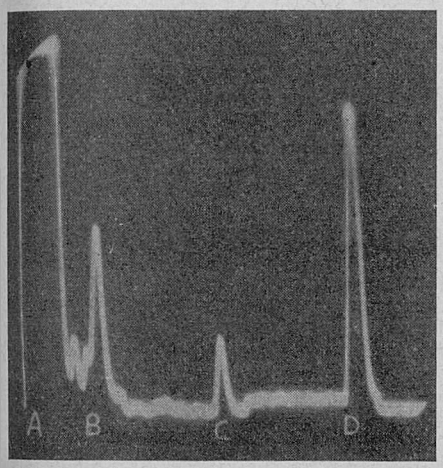


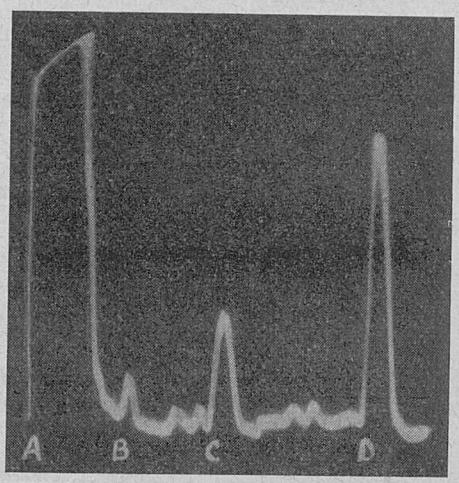
Rys. 12. Oscylogram izolatora pełnopniowego z niewielkim wtrąceniem
A — impuls wysłany
B — impuls odbity od wtrącenia
C — impuls odbity od dna izolatora



Rys. 13. Widok izolatora w miejscu odpowiadającym impulsowi *B* na rys. 12; strzałka wskazuje wykryte wtrącenie

Jak podaje literatura [6], prędkość rozchodzenia się fali podłużnej w źle dopalonej i porowatej porcelanie wynosi około 4300 m/s, prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej może więc być wskaźnikiem stopnia dopalenia porcelany.



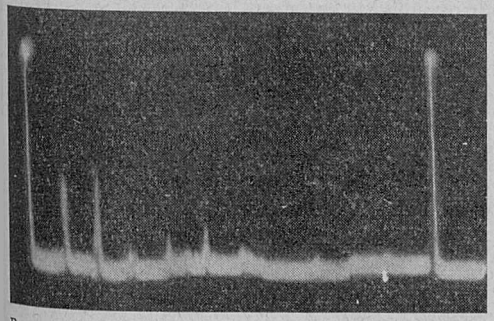


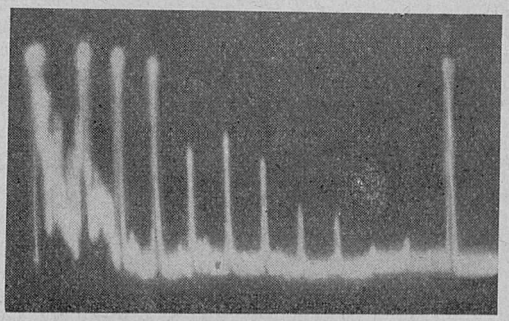
Rys. 14a i 14b. Oscylogramy izolatora typu FS 60 kV, widoczne dwa klejenia i dno izolatora
A — impuls wysłany
B — impuls odbity od pierwszego klejenia
C — impuls odbity od drugiego klejenia
D — impuls odbity od dna izolatora

Prędkość rozchodzenia się fal sprężystych poprzecznych zależy od gęstości ośrodka, w którym rozchodzi się fala i modułu sprężystości poprzecznej *G*, i wyraża się wzorem:

$$c_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \tag{7}$$

Z obliczeń teoretycznych wynika, że prędkość ta wynosi około 3200 m/s.





Rys. 15. Oscylogramy osłony przekładnika 110-kilowoltowego, sklejonej z 11 segmentów
(a) częstotliwość 1,5 MHz (b) częstotliwość 3 MHz

Do pomiaru prędkości rozchodzenia się ultradźwiękowych fal poprzecznych zastosowano głowice skośne ze szkła organicznego zamieniające fale ultradźwiękowe podłużne na czyste fale poprzeczne w porcelanie. Prędkość c_s wyznaczono ze wzoru:

$$c_s = \frac{c_L \sin \Theta_s}{\sin \Theta_L}, \tag{8}$$

gdzie c_L — znana prędkość ultradźwięków w szkle organicznym wynosząca 2800 m/s,
Θ_L — kąt między kierunkiem padającej wiązki fal ultradźwiękowych a pionem (wartość tego kąta wynika z danych konstrukcyjnych głowicy skośnej),
Θ_s — kąt wyznaczony z pomiarów.

Do pomiaru kąta Θ_s użyto prostopadłościanu porcelanowego o wymiarach 20 mm × 100 mm × 250 mm. Głowicę ustawiono na prostopadłościanie jak na rys. 10.

Maksymalny sygnał odbity wystąpi wówczas, gdy wiązka fal poprzecznych odbija się od krawędzi prostopadłościanu. Znając odległość środka głowicy od krawędzi oraz wysokość prostopadłościanu, możemy wyznaczyć kąt załamania wiązki fal poprzecznych. Zmierzony kąt załamania fal poprzecznych dla porcelany wynosił 73°, obliczona zaś z wzoru (8) prędkość wynosiła 3280 m/s.

Badania możliwości wykrywania wad technologicznych w izolatorach porcelanowych. Celem przygotowania przyszłej metodyki eksploatacyjnej prób wyrobu przy pomocy ultradźwięków przeprowadzono szereg badań na niektórych typach izolatorów oraz osłon. Na rys. 11 przedstawiono sposób przykładania do izolatora głowicy nadawczo-odbiorczej defektoskopu ultradźwiękowego. Dalsze rysunki podają wyniki ciekawszych badań przy pomocy ultradźwięków.

Rys. 12 przedstawia oscylogram izolatora pełnopniowego z niewielkim wtrąceniem wewnątrz (ob. rys. 13). O tym, iż wykryta wada ma niewielkie wymiary, świadczą: duża amplituda impulsu odbitego od dna oraz stosunkowo niewielka amplituda impulsu odbitego od wady.

Szczególnie dobre wyniki otrzymano badając metodą ultradźwiękową jakość wykonanych klejeń. Próby przeprowadzano na izolatorach wsporczych typu FS 60 kV oraz na dużych osłonach do przekładników prądowych i napięciowych 110-kilowoltowych. Stwierdzono, iż przy prawidłowym wykonaniu sklejenia otrzymuje się odbicie części energii fal ultradźwiękowych na każdym ze klejeń. Przy prawidłowo wykonanych sklejeniach większość energii przechodzi jednak do końca izolatora i daje wyraźny impuls odbity od dna (rys. 14a i b). W przypadku źle wykonanego sklejenia impuls odbity od dna znika na ekranie oscyloskopu. Impulsy odbite od pierwszego i drugiego klejenia ukazują się — zależnie od miejsca przyłożenia głowicy ultradźwiękowej na obwodzie izolatora — w różnych proporcjach, co świadczy o nierównomiernym klejeniu. Obecność impulsu odbitego od dna izolatora świadczy jednak o tym, że klejenie nie ma poważniejszej nieciągłości.

Rys. 15a i b przedstawiają oscylogramy prześwietlania osłony przekładnika 110-kilowoltowego klejonej z wielu segmentów. Widoczne są wyraźne odbicia od poszczególnych klejeń, a jednocześnie duży impuls odbity od dna osłony. Pomiary osłon wykonano przy dwóch częstotliwościach — 3 MHz oraz 1,5 MHz. Amplitudy impulsów odbitych od poszczególnych klejeń przy częstotliwości 1,5 MHz są znacz-

Tablica II

Średnica próbki (mm)	Siła łamiąca (kG)	Pochodzenie próbki	Wskaźnik tłumienia ultradźwięków	Wytrzymałość na zginanie R_g (kG/cm²)
19,75	200	„Zofiówka"	~ 0,5	649,3
19,65	180	„		593,1
20,49	190	„		552,3
19,20	195	„Boguchwała"	~ 0,2	689,5
19,27	210	„		734,2
18,95	200	„		734,8
19,15	210	„		747,8
19,00	190	„		692,6

nie mniejsze ze względu na dłuższą falę, co wynika ze wzoru (2).

Badanie zależności tłumienia ultradźwięków w materiale ceramicznym od własności mechanicznych tworzywa ceramicznego. Badanie zależności tłumienia fal ultradźwiękowych od wytrzymałości mechanicznej przeprowadzono na okrągłych walcach porcelanowych. Walce te były wykonane zgodnie z wymaganiami Projektu Normy „Elektroizolacyjne Materiały Ceramiczne" dla próbek do badania wytrzymałości na zginanie, wymiary ich wynosiły: długość 120 mm, średnica 20 mm. Część badanych walców pochodziła z Zakładów Elektrotechnicznych „Boguchwała", część z Zakładów „Zofiówka". Badanie tłumienia wykonano na defektoskopie ultradźwiękowym typu DI4. Badania wykazały, iż prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych jest w obu przypadkach jednakowa i równa 5500 m/s. Świadczy to o dobrym spieczeniu masy. Badanie tłumienia fal ultradźwiękowych pozwoliło na ujawnienie ciekawej zależności wytrzymałości mechanicznej porcelany od stopnia tłumienia.

Tłumienie fal ultradźwiękowych w obu rodzajach próbek, zmierzone przy częstotliwości około 4 MHz, było różne — wałki porcelanowe pochodzące z Zakładów „Zofiówka" wykazały znacznie silniejsze tłumienie w porównaniu z wałkami pochodzącymi z fabryki „Boguchwała". Tłumienie badano opisaną wyżej metodą odbić kolejnych. Po wykonaniu badań ultradźwiękowych wykonano badania wytrzymałości na zginanie. Wyniki pomiarów zestawiono w tabl. II. Wskaźnikiem tłumienia ultradźwięków nazwano odwrotność liczby odbić w próbce przy ustalonym wzmocnieniu, jednakowym dla wszystkich pomiarów.

Z tabl. II wynika, iż wytrzymałość mechaniczna na zginanie próbek wykazujących większe tłumienie ultradźwięków jest mniejsza i wynosi około 80% wytrzymałości próbek wykazujących mniejsze tłumienie. Otrzymany wynik pozwala sądzić, że po przeprowadzeniu dalszych badań da się wyznaczyć zależność między tłumieniem fal ultradźwiękowych w tworzywie ceramicznym a jego wytrzymałością mechaniczną.

5. Porównanie metody ultradźwiękowej z dotychczas stosowanymi metodami prób izolatorów porcelanowych.

Stosowanie metody ultradźwiękowej do prób izolatorów ceramicznych pozwala na dokładniejszą selekcję sztuk z wadami technologicznymi, które dają się wykryć przy pomocy obecnie stosowanych prób wyrobu. Przede wszystkim jednak metoda ultradźwiękowa pozwala na badanie własności, które dotychczas można było sprawdzić jedynie przy pomocy prób niszczących. Zaliczyć tu należy przede wszystkim nasiąkliwość i porowatość.

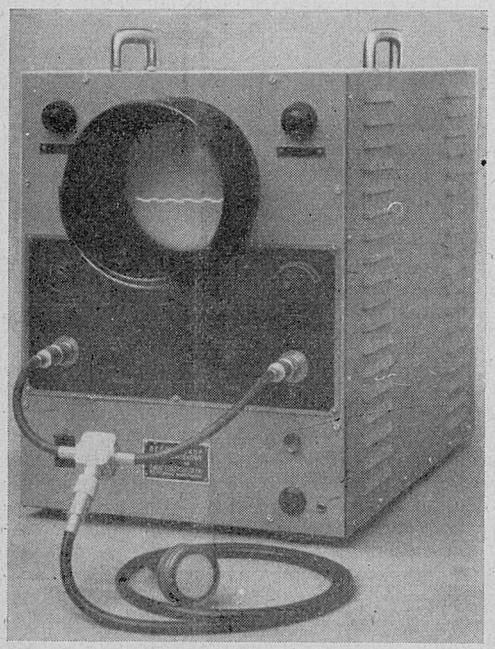
Próbę nasiąkliwości i porowatości, którą wykonuje się na potłuczonych kawałkach badanego izolatora, zastąpi próba ultradźwiękowa, polegająca na pomiarze prędkości rozchodzenia się oraz współczynnika tłumienia fal ultradźwiękowych. Znajomość stopnia nasiąkliwości i porowatości izolatora jest ważna, wskazuje bowiem na stan spieczenia czerepu porcelanowego oraz odpowietrzenia masy, co odpowiednio wiąże się z własnościami mechanicznymi i elektrycznymi. Dotychczas pewne informacje o tych cechach otrzymywano drogą pomiarów współczynnika strat tg δ. Pomiar tg δ jest jednak — jako próba wyrobu — uciążliwy i nie zawsze daje wystarczające informacje [6].

Również wykrywanie takich uchybień technologicznych, jak wadliwe klejenie, wtrącenia, pęcherze powietrzne, których wykrycie było możliwe przy pomocy elektrycznej próby pospołowej, da się przeprowadzić znacznie łatwiej i pewniej metodą ultradźwiękową, praktyka bowiem wykazuje, iż zdarzają się wypadki przedostawania się do eksploatacji izolatorów wadliwych, które jednak przeszły próbę pospołową z wynikiem dodatnim. Może to zdarzyć się wówczas, gdy jednocześnie z wadliwą ścianką izolatora naprężona jest podczas próby pospołowej znaczna warstwa powietrza.

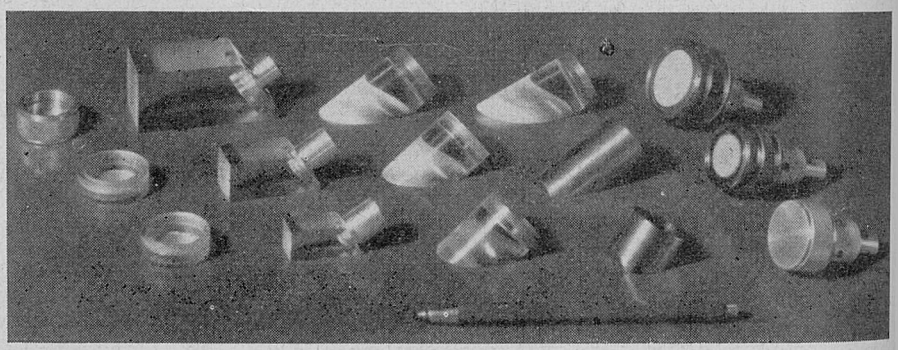
Najszersze zastosowanie znalazła obecnie za granicą metoda ultradźwiękowa przy badaniu izolatorów długopniowych oraz pełnordzeniowych. W izolatorach tych typów wykrycie wad w postaci nieciągłości, skrętów masy itp. jest drogą prób elektrycznych niemożliwe [6].

Dotychczas stosowana próba mechaniczna jako jedyna próba wyrobu izolatorów długopniowych i pełnordzeniowych nie zawsze prowadzi do wykrycia wad technologicznych. Dokładniejszą selekcję sztuk wadliwych dałoby w tym przypadku stosowanie dużych naciągów probierczych. Nie można jednak tego zalecać ze względu na możliwość powstawania w czasie próby w izolatorze drobnych rys, które powiększają się w eksploatacji. Zjawisko to zaobserwowano na izolatorach liniowych wiszących typu K, gdzie wielkość występujących rys była proporcjonalna do zastosowanych sił probierczych.

Metoda ultradźwiękowa pozwala na określenie nieciągłości w izolatorze, jak również stwierdzenie stanu jego dopalenia, co umożliwia odrzucenie sztuk wadliwych jeszcze przed okuwaniem.



Rys. 16. Defektoskop ultradźwiękowy typu DI-5 konstrukcji Zakładu Elektroakustyki Politechniki Warszawskiej



Rys. 17. Różne typy głowic, stosowane w defektoskopii ultradźwiękowej (opracowania Zakładu Badania Drgań IPPT PAN)

Wprowadzenie kontroli ultradźwiękowej przez zakłady wytwórcze porcelany jest ułatwione dzięki temu, iż opracowano w kraju prototypy oraz zorganizowano produkcję impulsowych defektoskopów ultradźwiękowych (rys. 16 i 17), umożliwiających skuteczne badanie tworzywa i wyrobów ceramicznych [7].

6. Wnioski końcowe.

Przeprowadzone badania wstępne tworzywa ceramicznego oraz izolatorów metodą ultradźwiękową wykazały:

1) przydatność tej metody do wykrywania wtrąceń i nieciągłości w izolatorach wysokiego napięcia,

2) możliwość wykrywania wadliwie wykonanych klejeń izolatorów,

3) możliwość badania stanu dopalenia oraz wytrzymałości mechanicznej tworzywa ceramicznego.

Przeprowadzone badania były badaniami wstępnymi. Dalsze próby powinny być przeprowadzone w kierunku powiązania amplitudy odbitego impulsu z wielkością istniejącej wewnątrz izolatora wady. Pozwoli to na stwierdzenie, w jakim przypadku badany obiekt można zdyskwalifikować jako wadliwy. Ważnym zagadnieniem jest ustalenie zależności między wytrzymałością mechaniczną a tłumieniem fal ultradźwiękowych.

LITERATURA

[1] Szczepietow W. N. Ultrazwukowoj sposob opriedielenja diefiektow w krupnogabaritnych izolatorach (Elektriczestwo, 1954, 12)
[2] Filipczyński L. Przetwarzanie elektromechaniczne i promieniowanie przetwornika piezoelektrycznego (Materiały Konferencji Elektrotechniki Teoret. P. A. N. w Karpaczu, wrzesień 1954)
[3] Wehr J. Zastosowanie fal poprzecznych i fal stojących w defektoskopii ultradźwiękowej (Zesz. Nauk. Politechniki Warszawskiej, Elektryka, 1955, nr 8)
[4] Wehr J. Rezonansowa metoda defektoskopii ultradźwiękowej. Materiały Konfer. techniki ultradźwiękowej P. A. N., listopad 1953 (PWN, Warszawa, 1955)
[5] Filipczyński L. Analiza wykrywalności wad przy użyciu impulsowej defektoskopii ultradźwiękowej — Materiały Konfer. techniki ultradźwiękowej P. A. N., listopad 1953 (PWN, Warszawa, 1955)
[6] Reverey G. Die zerstörungsfreie Prüfung von Isolatoren (Elektr. Zeitschr., Ausg. A, 1952, 14)
[7] Filipczyński L. Defektoskop ultradźwiękowy DI-4 (Przegl. Telekomun., 1955, 5)
[8] Bergmann L. Der Ultraschall (Zurich, 1949)
[9] Norma VDE 0446/55

VII. MATERIAŁY CERAMICZNE I MINERALNE DLA TELEELEKTRYKI

MGR INŻ. L. BADIAN
Przemysł. Inst. Telekom.

Dielektryki ceramiczne w technice wielkiej częstotliwości

621.315.612.001.5;621,3—018.4.029;621.315.61

Treść. Obecny stan badań oraz problemów związanych z pracami w dziedzinie dielektryków ceramicznych wielkiej częstotliwości. Analiza własności różnych materiałów oraz wymagania stawiane przez radiotechnikę dielektrykom w. cz. Klasyfikacja istniejących materiałów. Ogólny stan prac z zakresu dielektryków w. cz. ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięć krajowych, przypadających na okres ostatniego 10-lecia. Uruchomienie produkcji szeregu ważnych dielektryków ceramicznych stanowi duży dorobek krajowego przemysłu telekomunikacyjnego. Zagadnienia naukowe i techniczne, których rozwiązanie jest warunkiem dalszego postępu prac nad dielektrykami ceramicznymi w. cz., a więc problemy związane z technologią zastosowań i produkcji, zagadnienia kontroli i normalizacji oraz potrzeby jednostek badawczych i produkcyjnych. Wytyczne i dezyderaty dotyczące dalszych prac badawczych i produkcyjnych. Wytyczne i dezyderaty dotyczące dalszych prac badawczych nad dielektrykami.

1. Charakterystyka dielektryków stosowanych w przemyśle telekomunikacyjnym.

Podział dielektryków. Tematem niniejszego referatu są niektóre specjalne dielektryki ceramiczne używane w przemyśle telekomunikacyjnym jako materiały izolatorowe i kondensatorowe. Podział ten jest kwestią raczej umowną i wynika z dwóch podstawowych zastosowań dielektryków w urządzeniach prądów wielkiej częstotliwości: a) możliwie całkowite ograniczenie przepływu energii elektrycznej, kiedy to stosuje się materiały izolatorowe; b) możliwie duża akumulacja energii w polu elektrycznym z równoczesnym ograniczeniem jej przepływu dla napięć stałych, kiedy to stosuje się materiały kondensatorowe.

Powyższy podział dielektryków wiąże się z wartościami charakteryzujących je współczynników, jak podano w tabl. I,

Tablica I

Typ materiału	ε	$TK\varepsilon$	tgδ	ϱ
Izolatorowy	małe	małe	mały	duży
Kondensatorowy	duże	małe lub duże	mały	duży

gdzie wielkości $TK\varepsilon$ i ϱ oznaczają odpowiednio — cieplny współczynnik przenikalności dielektrycznej i oporność właściwą izolacji.

Osobną grupę dielektryków stanowią materiały pochłaniające fale elektromagnetyczne. Cechuje je duży współczynnik strat. Tworzywa tego typu znajdują ważne zastosowanie w dziedzinie techniki mikrofalowej.

Z punktu widzenia składu chemicznego dielektryki można podzielić na dwie grupy: a) mineralne i b) organiczne. Niekiedy tę drugą grupę nazywa się — niezupełnie słusznie — dielektrykami syntetycznymi.

Stałe dielektryki mineralne można z kolei podzielić na (a) krystaliczne, (b) bezpostaciowe i (c) ceramikę.

Typowymi przedstawicielami dielektryków krystalicznych są kwarc i mika. Materiały te odznaczają się bardzo małymi stratami dielektrycznymi; ich tgδ nie przekracza wartości 10^{-3}. Pomimo małych strat zastosowanie dielektryków krystalicznych jest na ogół dość ograniczone z powodu anizotropii kryształów, trudności kształtowania i obróbki (mika i kwarc) oraz małej w niektórych przypadkach odporności na wpływy zewnętrzne, jak temperatura, wstrząsy mechaniczne itd.

Wolne od niektórych z tych wad są szkła, będące typowymi przedstawicielami dielektryków bezpostaciowych. Względna przenikalność elektryczna szkieł jest rzędu kilku jednostek, natomiast współczynnik strat jest stosunkowo duży, rzędu $10^{-3} \div 10^{-1}$.

Dielektryki ceramiczne stanowią swego rodzaju ogniwo pośrednie między ciałami krystalicznymi i bezpostaciowymi. Są to bowiem tworzywa niejednorodne złożone z fazy krystalicznej zawieszonej w szkliwie odgrywającym rolę spoiwa. Zadaniem fazy krystalicznej jest zapewnienie dobrych własności dielektrycznych tworzywa, natomiast rola szkliwa polega na nadaniu materiałowi innych pożądanych własności, jak wytrzymałość mechaniczna, odporność na wpływ czynników zewnętrznych itd. Skład i struktura szkliwa muszą być przy tym tak dobrane, aby nie pogarszały dielektrycznych własności zależnych od fazy krystalicznej.

Typowym i jednym z najdawniejszych dielektryków ceramicznych jest porcelana elektrotechniczna, która ze względu na swój stosunkowo duży współcz. strat (ok. 10^{-2}) w zasadzie nie znajduje dużego zastosowania w radiotechnice. Nowoczesne dielektryki ceramiczne wielkiej częstotliwości odbiegają swoim składem daleko od porcelany. Większość z nich opiera się na krzemianie magnezu i związkach tytanu.

Dielektryki organiczne można podzielić na naturalne, półsyntetyczne i syntetyczne. Przedstawicielami pierwszej grupy są materiały występujące w przyrodzie w postaci gotowej, jak bursztyn, wosk oraz różne żywice. Tworzywa półsyntetyczne otrzymuje się z naturalnych za pomocą pewnych zabiegów chemicznych, jak np. destylacja, rafinacja, wulkanizacja itp. Przykładem takich materiałów jest np. ebonit otrzymywany przez wulkanizację siarki w gumie, następnie rozmaite oleje, materiały otrzymywane z kazeiny, celulozy i inne. Do grupy syntetycznych dielektryków należą materiały otrzymywane całkowicie w drodze syntezy chemicznej i nie występujące w stanie naturalnym w przyrodzie. Wymienić tu należy

związki typu polistyrenów, polistyroli, związki fenolowo-formaldehydowe i inne.

Materiałom organicznym poświęcone są na konferencji osobne referaty. Tu należy jedynie stwierdzić, że ich zastosowanie w radiotechnice jest ograniczone przede wszystkim niską dopuszczalną temperaturą pracy. Dopiero w ostatnich latach pojawiły się na rynku takie tworzywa, jak „teflon", które łączą dobre własności dielektryczne z dużą wytrzymałością mechaniczną i odpornością na podwyższone temperatury.

W początkowej fazie rozwoju radiotechniki konstrukcję urządzeń radiowych opierano na istniejących dielektrykach naturalnych, występujących w przyrodzie i dostosowywano ją do nich. Dziś sytuacja zmieniła się i do projektowanych konstrukcji opracowuje się materiały o z góry zadanych własnościach — materiały, które własnościami swoimi daleko prześcignęły tworzywa naturalne.

Przez wyodrębnienie ich na Konferencji Materiałoznawczej PAN jako specjalnych dielektryków izolatorowych i kondensatorowych włączamy je do zagadnień szczególnej wagi państwowej, tym pilniejsze do opracowania przez technikę polską i przemysł polski, że na tym odcinku mamy do nadrobienia bardzo poważne braki.

P o t r z e b y p r z e m y s ł u r a d i o t e c h n i c z n e g o. Jest rzeczą znaną, że własności aparatów elektrycznych w dużym stopniu zależą od jakości użytych materiałów izolacyjnych. Wprowadzanie zbyt dobrych dielektryków może się jednak w pewnych warunkach nie opłacać ze względów ekonomicznych i dlatego w poszczególnych gałęziach elektrotechniki, w tym także w przemyśle radiotechnicznym, stosuje się określone rodzaje dielektryków. W tabl. II podano prze-

T a b l i c a II

Przeznaczenie	Rodzaj materiału
1. Energetyka w zakresie niskich napięć Sieci oświetleniowe, grzejnictwo elektryczne, silniki, urządzenia przemysłowe	Porcelana, marmur, ceramika porowata (np. „sipa"), guma, papiery bakelizowane, tłoczywa fenolowe, syntetyki chlorowinylowe, dielektryki włókniste, papiery izolacyjne i inne
2. Energetyka w zakresie wysokich napięć Urządzenia wysokich napięć, linie przesyłowe, maszyny elektryczne	Porcelana elektrotechniczna izolatorowa o zwartym czerepie, steatyt, guma, papiery gumoidowe itd.
3. Technika słabych prądów małej częstotliwości Telefonia, telegrafia, automatyka, aparatura pomiarowa	Jak pod 1, a także porcelana elektrotechniczna, ebonit itd.
4. Technika słabych prądów wielkiej częstotliwości Urządzenia odbiorcze, telewizyjne, pomiarowe, radiolokacja, telefonia w. cz., ogólnie kształtki izolatorowe oraz kondensatory	Dielektryki o małym tgδ nieporowate, stałe w czasie i odporne na wpływ warunków zewnętrznych, ceramika wielkiej częstotliwości, mika kwarc., polistyrol, polietylen

gląd najważniejszych materiałów dielektrycznych, stosowanych w poszczególnych gałęziach elektrotechniki. Jak widać z przytoczonych orientacyjnych danych, najlepsze, a jednocześnie najdroższe dielektryki potrzebne są przemysłowi radiotechnicznemu.

Poszukiwania odpowiedniego do celów radiotechnicznych dielektryku zapoczątkowane 20—30 lat temu zarówno wśród materiałów organicznych, jak i nieorganicznych, ustaliły zdecydowaną wyższość tworzyw ceramicznych. Tłumaczy się to nie tylko ich dobrymi i różnorodnymi własnościami elektrycznymi, ale także prostotą technologii i surowców, łatwością masowej produkcji dużego asortymentu wyrobów oraz innymi względami ekonomicznymi.

Pozorna wada ceramiki, a mianowicie jej duża twardość, uniemożliwiająca mechaniczną obróbkę gotowych wyrobów, nie stanowi istotnej trudności w zastosowaniu ceramiki, jako materiału dielektrycznego. Wszak przy dzisiejszej masowej produkcji sprzętu radiotechnicznego nie stosuje się indywidualnego wytwarzania potrzebnych podzespołów, lecz korzysta się z gotowych elementów dostarczanych przez przemysły pomocnicze.

Klasyfikacja radioceramiki jest uwarunkowana potrzebami przemysłu radiotechnicznego; w związku z tym rozróżnia się następujące grupy dielektryków ceramicznych:

1) ceramika izolatorowa zwykła:
   a) średniej jakości, typu porcelany izolatorowej,
   b) lepszej jakości, typu nieuszlachetnionego steatytu, porcelany radiowej i wyrobów pirofilitowych;
2) ceramika izolatorowa wysokiej jakości:
   a) uszlachetnione materiały steatytowe, jak kalit, frekwenta itd.,
   b) porcelana typu ultrafarfor,
   c) materiały oparte na spiekach tlenku glinu;
3) ceramika kondensatorowa, odznaczająca się podwyższoną wartością przenikalności dielektrycznej ($\varepsilon > 10$) i używana:
   a) do produkcji zwykłych kondensatorów (kerafar, kondensa, diakond i inne),
   b) do produkcji kondensatorów o bardzo małym lub z góry zadanym termicznym współczynniku przenikalności elektrycznej TKε (tempa, termokond, tyglin);
4) ceramika próżniowa, porowata (typu ergan, Q—5) używana na kształtki izolacyjne do lamp elektronowych *);
5) niektóre rodzaje dielektryków absorpcyjnych opartych na materiale ceramicznym, np. zawiesina kolloidalnego grafitu w cemencie; jest to stosunkowo najnowsza dziedzina zastosowań radioceramiki i zasadniczo nie ma dotychczas rynkowych materiałów tego typu.

Zależnie od warunków, w których dany dielektryk ma być zastosowany w urządzeniu radiowym, określa się różne wymagania co do jego współczynników materiałowych.

W tabl. III podany jest przegląd niektórych ogólnych wymagań stawianych dielektrykom wielkiej częstotliwości, bez względu na to, czy są to materiały izolatorowe, czy kondensatorowe.

T a b l i c a III. Wymagania techniczne w zakresie własności izolacyjnych dla dielektryków wysokiej częstotliwości

Zakres zastosowania	tg δ przy 1 MHz	tg δ przy 50 Hz	oporność właściwa skrośna (ρ_v)	oporność właściwa powierzchniowa (ρ_p)	Wytrzymałość dielektryczna na przebicie przy 50 Hz
	10^{-4}	10^{-4}	Ω cm	Ω	kV/cm
Dielektryki pracujące przy częstotliwościach wielkich (rzędu $f \geqslant 1 \div 30$ MHz)	10	—	10^{12}	10^{10}	20
Dielektryki pracujące przy częstotliwościach pośrednich (100 ÷ 500 kHz)	50	—	10^{12}	10^{10}	20
Dielektryki pracujące przy małych częstotliwościach	80	80	10^{8}	10^{8}	10

Dla materiałów kondensatorowych dochodzą dodatkowe wymagania w zakresie przenikalności elektrycznej ε oraz współczynnika cieplnego przenikalności elektrycznej TKε.

Ogólnie biorąc, jeżeli chodzi o kształtki izolacyjne, to wybór dielektryku dla urządzeń małej mocy (odbiorniki, aparatura pomiarowa itd.) w większości wypadków nie jest uwarunkowany jego stratami dielektrycznymi (przy założeniu jednakże, że tg δ nie przekracza wartości ok. $(30 \div 40) \times 10^{-4}$); wybór ten w większym stopniu zależy od stałości dielektrycznych własności materiału, a szczególnie pojemności danego elementu, od jego mechanicznej wytrzymałości, od odporności na wpływy zewnętrzne, jak wilgotność i temperatura itd.

*) Ten typ ceramiki, jako wchodzącej wyłącznie w zakres zagadnień z technologii lamp elektronowych, nie jest tu omawiany.

Natomiast w przypadku urządzeń radiowych dużej mocy, a szczególnie w zakresie bardzo wielkich częstotliwości, straty dielektryczne zaczynają odgrywać decydującą rolę i one to zasadniczo określają dopuszczalny kształt i wymiary danego elementu.

W urządzeniach wielkiej częstotliwości dogodnie jest określać dobroć materiału izolatorowego na podstawie iloczynu $K = \varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$, który powinien być jak najmniejszy. Materiały izolatorowe wysokiej jakości posiadają K rzędu $(10 \div 50) \times 10^{-4}$. Dopuszczalna wartość K dla dielektryków izolatorowych pracujących przy wielkich i średnich częstotliwościach jest rzędu $(100 \div 500) \times 10^{-4}$.

W tabl. IV podano wartości współczynnika K dla niektórych dielektryków.

Z ważniejszych zastosowań ceramiki izolatorowej poza kształtkami izolacyjnymi należy wymienić szkielety cewek do obwodów rezonansowych wielkiej częstotliwości. Zastosowa-

Tablica IV. Wartości K dla niektórych dielektryków

Rodzaj dielektryku	Wartość $K = \varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$
1. Próżnia i gazy	$(0 \div 1) \times 10^{-4}$
2. Kwarc, polistyrol, polietylen	$(2 \div 20) \times 10^{-4}$
3. Mika, radioceramika izolatorowa dużej jakości, niektóre oleje izolatorowe, parafina, mikaleks	$(12 \div 200) \cdot 10^{-4}$
4. Ceramika kondensatorowa, szkła, niektóre gatunki miki, ebonit	$(200 \div 3000) \cdot 10^{-4}$
5. Preszpan, fibra, ceramika ferroelektryczna	$(5000 \div 10000) \cdot 10^{-4}$
6. Niektóre tłoczywa, aminoplasty itd.	$(3000 \div 30000) \cdot 10^{-4}$

nie ceramiki do wykonywania tych szkieletów ma szczególne znaczenie wtedy, kiedy chodzi o podwyższenie stałości parametrów cewki zwłaszcza w zakresie krótko- i ultrakrótkofalowym. Najlepsze wyniki otrzymuje się wtedy, kiedy uzwojenie jest wykonane drogą wpalenia koloidalnego srebra bezpośrednio w szkielet ceramiczny. Dzięki bardzo małemu współczynnikowi rozszerzalności cieplnej materiału ceramicznego użytego na szkielet można otrzymać małe współczynniki cieplne indukcyjności.

Wpływ stratności szkieletu na dobroć cewki jest dość mały i występuje tylko przy dużych wartościach $\operatorname{tg}\delta$ materiału ceramicznego, większych od $40 \cdot 10^{-4}$. Wynika stąd konieczność opracowania materiału ceramicznego o bardzo małym współczynniku rozszerzalności cieplnej i o dużej stałości wymiarów geometrycznych, a niekoniecznie o bardzo małym $\operatorname{tg}\delta$. Przykładem takiego materiału jest produkowany przez firmę „Hescho" (NRD) dielektryk o nazwie „ardostan".

Nieomal każdy rodzaj dielektryku wielkiej częstotliwości znajduje zastosowanie między innymi do budowy kondensatorów. Ostre warunki techniczne, którym muszą czynić zadość kondensatory pracujące w obwodach wielkiej częstotliwości, predestynują niewielką stosunkowo liczbę dielektryków do zastosowania w kondensatorach w. cz. Dielektryki te powinny posiadać jak najmniejszy $\operatorname{tg}\delta$, możliwie dużą wartość ε, określony współczynnik $TK\varepsilon$, odporność na wpływy zewnętrzne i stałość tych cech z biegiem czasu.

Wyroby ceramiczne wielkiej częstotliwości stanowią nieomal jedyny typ dielektryku odpowiadający wszystkim stawianym wymaganiom. Dobierając odpowiednio skład i proces technologiczny dla ceramiki kondensatorowej można uzyskać nieomal zawsze materiał o z góry zadanych własnościach dielektrycznych. Materiały te są tym cenniejsze, że obok pożądanych własności elektrycznych, mają dobre własności mechaniczne, wykazują odporność na szereg czynników zewnętrznych, są stałe w czasie itd.

W tabl. V zestawiono niektóre materiały dielektryczne używane do budowy kondensatorów wielkiej częstotliwości.

Opracowanie ceramik o dużej przenikalności elektrycznej oraz możliwości wykonywania rozmaitych kształtek z metalizowanymi elektrodami, czyli tzw. obwodów drukowanych, otwiera całą nową dziedzinę miniaturyzacji sprzętu radiotechnicznego. W chwili obecnej konstruuje się za granicą pewne znormalizowane podzespoły ceramiczne, za pomocą których można w całkowicie zautomatyzowany sposób konstruować szereg urządzeń radiotechnicznych.

2. Osiągnięcia krajowe w okresie 10-lecia w dziedzinie badań i produkcji dielektryków specjalnych.

Sytuacja dielektryków ceramicznych w skali ogólnoświatowej. Bezpośrednim bodźcem do prac nad ceramiką dielektryczną była chęć zastąpienia naturalnej miki takim materiałem syntetycznym, który nie ustępowałby jej swoimi własnościami elektrycznymi. Zapoczątkowane w tej dziedzinie — głównie przez Niemców — badania doprowadziły do tak silnego rozwoju ceramiki dielektrycznej, że szybko przekroczono zalety materiałów naturalnych i stworzono nawet zupełnie nowe możliwości konstrukcyjne.

Pierwotny podział ceramiki na izolatorową i kondensatorową zróżnicował się na dalsze podziały w miarę rozwoju badań nad dielektrykami oraz wzrostu zapotrzebowania ze strony przemysłu różnych materiałów niezbędnych do konstrukcji urządzeń radiowych.

Produkowane dziś materiały ceramiczne można usystematyzować w następujące grupy:

1) zwykłe dielektryki izolatorowe (np. steatyt, radioporcelana, pirofilit),

2) specjalne dielektryki izolatorowe o zmniejszonych stratach (np. kalit, frekwenta, ultrafarfor, porcelana cyrkonowa),

3) dielektryki izolatorowe o małej rozszerzalności cieplnej (np. ardostan, sipa),

4) dielektryki porowate do potrzeb próżniowych (np. ergan, Q—5),

5) dielektryki kondensatorowe o dużej przenikalności ε i dużym ujemnym współczynniku termicznym $TK\varepsilon$ (np. tikond, kondensa, kerafar itd.),

6) dielektryki kondensatorowe o małym dodatnim lub ujemnym współczynniku $TK\varepsilon$ (tyglin, termokond, tempa),

7) dielektryki o bardzo dużej przenikalności $\varepsilon > 200$ (materiały ferroelektryczne, jak epsilan, tibar i inne).

Możliwość stosowania różnych surowców do produkcji ceramiki izolatorowej spowodowała, że w poszczególnych krajach opracowywano na ogół różne materiały. W Niemczech rozwinął się silnie przemysł wyrobów opartych na doskonałym talku z Göpfersgrün, w Związku Radzieckim opracowano szereg dielektryków typu uszlachetnionej porcelany radiowej oraz tworzyw opartych na tlenku aluminium, a po drugiej wojnie światowej również wyrobów z talku onotskiego. W krajach anglosaskich opracowano porcelanę cyrkonową.

Tablica V. Przegląd dielektryków stosowanych do budowy kondensatorów

Rodzaj dielektryku	ε	$\operatorname{tg}\delta \cdot 10^6$		$TK\varepsilon \times 10^{-6}$	Dopuszczalna temp. pracy (°C)	Najmniejsza pojemność kondensatora ($\mu\mu$F)	Największa pojemność kondensatora ($\mu\mu$F)	Najmniejsza grubość dielektryku (mm)
		$f = 50$ Hz	$f = 10^6$ Hz					
Powietrze	1	1	1	$10 \div 30$	$70 \div 80$	0,5	10^4	0,5
Kwarc	4	1	1	30	100	1	500	0,5
Szkło	$5 \div 9$	10	10	100	100	10	10^4	$0,5 \div 1$
Papier kondensatorowy	$3 \div 7$	30	200	$10^2 \div 10^3$	70	100	10^8	$8 \cdot 10^{-3}$
Plastyki organiczne	$2 \div 3$	5	2	-100	60	100	$5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{-2}$
Elektrolity	$9 \div 10$	$20 \div 2000$	—	$5 \cdot 10^3$	60	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^9$	—
Mika	7	$1 \div 3$	3	30	100	10	$2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{-2}$
Ceramika kondensatorowa	$7 \div 10000$	$5 \div 15$	2	od $+200$ do -1000	100	0,5	2000 20000	0,3

Podstawowymi składnikami ceramiki kondensatorowej są związki tytanu typu TiO_2 lub tytaniany niektórych metali w rodzaju magnezu, wapnia, baru i strontu. Produkowane przez różnych producentów materiały różnią się między sobą głównie plastyfikatorami, topnikami i innymi podobnymi dodatkami.

W tabl. VI i VII zestawiono najważniejsze dielektryki ceramiczne izolatorowe i kondensatorowe.

Spośród bezpośrednio sąsiadujących z Polską krajów do najpoważniejszych producentów dielektryków ceramicznych należą: ZSRR, NRD oraz ČSR. Z luźnych informacji wynika, że przemysł ceramiki wysokiej częstotliwości rozbudowano ostatnio również na Węgrzech.

Obok prac o charakterze przemysłowym prowadzi się za granicą szereg badań naukowych nad wyjaśnieniem mechanizmu strat dielektrycznych i znalezieniem metod opracowywania składu i technologii dielektryków o zadanych z góry własnościach. Wymienić tu należy Pracownie Skanawiego i Bogorodzickiego w ZSRR, laboratoria badawcze f-my „Hescho" w NRD, pracownię A. v. Hippla w Massachusetts Institute of Technology itd.

Prace polskie charakteru naukowo-badawczego. Krajowy przemysł radiotechniczny zastał u nas po wojnie duże braki w dziedzinie materiałoznawstwa telekomunikacyjnego. Wpłynęły na to dwa czynniki: z jednej strony w okresie międzywojennym nie troszczono się o rozwój tak ważnej gałęzi przemysłu, z drugiej strony — szereg osiągnięć zagranicznych przypada na okres, w którym Polska znajdowała się pod okupacją.

Powstałe trudności można było tylko częściowo rozwiązać przez import gotowych tworzyw i kształtek z zagranicy. Bardziej celowym przedsięwzięciem wydała się próba opracowania produkcji potrzebnych materiałów w kraju. Nowość zagadnienia dla polskiego przemysłu i brak odpowiedniej kadry wykwalifikowanych pracowników sprawiły, że rozwiązaniem zagadnienia ceramiki wysokiej częstotliwości zajęły się ośrodki naukowo-badawcze: Katedra Radiotechniki Politechniki Wrocławskiej, Przemysłowy Instytut Telekomunikacji oraz ówczesny Główny Instytut Metalurgii w Gliwicach, opracowujący stronę technologiczną.

W czasie dwuletnich badań w ciągu lat 1950—1952 opracowano następujące zagadnienia:

1) metodykę badań własności dielektrycznych;

2) konstrukcję lub zestawienie stanowisk do pomiaru ε i tg δ dielektryków w zależności od szeregu czynników zewnętrznych, jak częstotliwość pomiaru, temperatura, natężenie pola elektrycznego, wilgotność itd.;

3) technologię materiałów steatytowych z surowców nietypowych;

4) technologię ceramiki kondensatorowej;

5) wpływ struktury surowców i gotowych wyrobów na własności dielektryczne;

6) sprawy związane z wytwarzaniem kształtek, jak metody formowania kształtek, wykonywanie obwodów drukowanych przez wpalenie srebra itd.

Z powyższych prac dwa pierwsze problemy rozwiązano w znacznym stopniu, natomiast nie wszystkie wyniki następnych prac znalazły bezpośrednie zastosowanie w przemyśle. Powodem powstałych trudności było oparcie się na nietypowych surowcach, jak np. talk austriacki, wskutek czego nie udało się w wystarczającym stopniu rozwiązać zagadnień technologii kształtek. Z drugiej strony przemysł nie wykazał w tym czasie większego zainteresowania prowadzonymi pracami i nie dopomógł do zdobycia podstawowych surowców.

Tablica VI. Własności dielektryków izolatorowych

Dielektryk	Ciężar właściwy (Gg/cm³)	Współcz. rozszerzaln. liniowej α	Nasiąkliwość (%)	Przenikalność dielektryczna	tg δ przy 10^6 Hz	Współczyn. cieplny przenik. dielektrycznej TK_ε	Oporność izolacji ρ ($\Omega \cdot$ cm)	Wytrzymałość dielektryczna (kV/cm)
Radiofarfor	2,5	$4 \cdot 10^{-6}$	0,0	6,0	$30 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{16}	15 . . 20
Ultrafarfor	2,9	$4{,}5 \cdot 10^{-6}$	0,0	6,5	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	10^{12}	20 . . 25
Pirofilit	2,6	$10 \cdot 10^{-6}$	0,2	6,0	$70 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	10^{12}	15
Steatyt zwykły	2,7	$8 \cdot 10^{-6}$	0,0	6	$15 \cdot 10^{-4}$	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	10^{15}	25
Kalit	2,7	$7 \cdot 10^{-6}$	0,0	6,5	$5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	10^{13}	40
Frekwenta	2,7	$7 \cdot 10^{-8}$	0,0	6,5	$5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	40
Ardostan	2,2	$1{,}1 \cdot 10^{-6}$	0,0	5,5	$45 \cdot 10^{-4}$	—	—	20
Aluminoksyd	3,8	$7 \cdot 10^{-6}$	0,0	11	$3 \cdot 10^{-4}$	$1{,}2 \cdot 16^{-4}$	10^{12}	15

W chwili, kiedy dość nagle powstała konieczność szybkiego uruchomienia produkcji ceramiki wielkiej częstotliwości, zaniechano prac instytutowych przerzucając punkt ciężkości naszych zainteresowań na dokumentacje lub licencje zagraniczne. Nie oznacza to jednak, że nawet technologiczna część wykonanych prac niczego nie wniosła na użytek przemysłu. Prace te, stanowiąc pierwszą pionierską próbę opracowania w kraju zagadnień ceramiki wielkiej częstotliwości, ustaliły główne wytyczne technologii i wpływ rozmaitych czynników na własności dielektryczne, wytyczyły linię postępowania zarówno dla prac naukowo-badawczych, jak i dla prób uruchomienia produkcji w skali przemysłowej.

Prace nasze nad uruchomieniem produkcji. Wobec trudności zorganizowania radioceramiki w przemyśle ceramicznym utworzono doświadczalny dział ceramiczny przy jednym z Zakładów Przemysłu Telekomunikacyjnego. Produkcję uruchomiono przy pomocy urządzeń uzyskanych z przemysłu ceramicznego, przy czym był to przeważnie sprzęt zużyty wycofany z produkcji.

Dzięki sprężystej organizacji personelu, który również rekrutował się z przemysłu ceramicznego, po krótkim, bo nie-

Tablica VII. Własności dielektryków kondensatorowych

Dielektryk	Ciężar właść. (G/cm³)	Współcz. rozszerz. liniowej α	Nasiąkliwość (%)	Przenik. elektr. ε	tg δ przy 10^6Hz	Współcz. cieplny przenik. elektr. TK_ε	Oporność właść. ρ (Ω cm)	Wytrzymałość dielektryczna (kV/cm)
Tikond A	3,9	$7{,}2 \cdot 10^{-6}$	0,0	80 ÷ 90	$10 \cdot 10^{-4}$	$-6 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	15 ÷ 20
Kondensa F	3,9	—	0,0	80	$5 \cdot 10^{-4}$	$-7 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	15 ÷ 20
Kondensa C	3,9	$6{,}8 \cdot 10^{-6}$	0,0	80	$8 \cdot 10^{-4}$	$-7 \cdot 10^{-4}$	—	15 ÷ 20
Timag K	3,2	—	0,0	19	$5 \cdot 10^{-4}$	$-1{,}3 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	15 ÷ 20
Tyglin	3,2	—	0,0	12	$6 \cdot 10^{-4}$	$-0{,}3 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	15 ÷ 20
Tempa S	3,1	$4 \cdot 10^{-6}$	0,0	14 ÷ 16	$1 \div 3 \cdot 10^{-4}$	$+0{,}4 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	10 ÷ 20
Tempa N	3,1	$6 \cdot 10^{-6}$	0,0	12,5	$1 \div 3 \cdot 10^{-4}$	$-0{,}3 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	10 ÷ 20
Diakond	3,2	$6 \cdot 10^{-6}$	0,0	15	$1 \div 3 \cdot 10^{-4}$	$+0{,}6 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	10 ÷ 20
Kerafar U	3,6	$6 \cdot 10^{-6}$	0,0	64	$10 \cdot 10^{-4}$	$-7 \cdot 10^{-4}$	10^{14}	10 ÷ 20
Kerafar W	3,9	—	0,0	32	$4 \cdot 10^{-4}$	$-4 \cdot 10^{-4}$	—	10 ÷ 20

spełna 2 lata liczącym okresie osiągnięto bardzo poważne wyniki.

W pierwszym stadium prac opanowano technologię radioporcelany uruchamiając jej produkcję w skali półtechnicznej dla zaspokojenia najpilniejszych potrzeb przemysłu radiowego. Dużym sukcesem w tej dziedzinie było przejście z surowców importowanych na surowce wyłącznie pochodzenia krajowego.

W dalszym etapie prac opracowano technologię podstawowych gatunków ceramiki kondensatorowej typu „tikond" względnie „kondensa F" i rozpoczęto produkcję kondensatorów najpierw płytkowych, a następnie rurkowych. Z zagadnieniem produkcji kondensatorów wiązała się technologia metalizacji ceramiki. Rozwiązano ją tak dalece, że nawet potrzebna do srebrzenia pasta jest przygotowywana bezpośrednio przez ten sam zakład produkcyjny i niektórymi swymi własnościami znacznie przewyższa pasty dotychczas produkowane w kraju.

Obecnie są w toku prace nad technologią uszlachetnionych steatytów typu kalit, frekwenta itd. oraz ceramiki kondensatorowej o małych współczynnikach cieplnych przenikalności dielektrycznej.

Dobre własności dielektryczne produkowanych tworzyw, bogaty asortyment wyrobów, przełamanie dużych trudności związanych z organizacją produkcji radioceramiki stanowią poważny sukces przemysłu telekomunikacyjnego.

3. Zagadnienia związane z technologią zastosowań i produkcji.

Charakterystyka potrzeb przemysłu krajowego. Analiza potrzeb przemysłu telekomunikacyjnego, przeprowadzona pod kątem wymagań technicznych, stawianych poszczególnym elementom urządzeń radiowych, doprowadza do wniosku, że przede wszystkim należy produkować cztery następujące typy materiałów radioceramicznych:

1. Materiał izolatorowy do celów konstrukcyjnych o niewielkim tg δ, całkowicie zwartym czerepie, niedużym skurczu, małej rozszerzalności cieplnej i niewielkim współczynniku przenikalności elektrycznej. Wymaganiom tym czynią zadość takie tworzywa, jak steatyt i radioporcelana, a częściowo wyroby pirofilitowe; z tych trzech materiałów najłatwiej jest produkować radioporcelanę przede wszystkim ze względu na dostępny w kraju surowiec.

2. Materiał izolatorowy o małym tg δ typu szlachetnych steatytów w rodzaju kalitu lub frekwenty.

3. Materiał kondensatorowy o małym tg δ, dużej przenikalności dielektrycznej ε i dużym ujemnym współczynniku $TK\varepsilon$. Są to dielektryki typu „tikond", „kondensa", „kerafar" i inne.

4. Materiał kondensatorowy o małym tg δ, możliwie dużej przenikalności dielektrycznej i bardzo małym współczynniku cieplnym $TK\varepsilon$ zarówno dodatnim jak i ujemnym. Warunkom tym odpowiada ceramika tytano-magnezowa i takie tworzywa, jak „tempa S", „tyglin" itp.

Osobną pozycję stanowiłyby nie poruszane w niniejszym referacie materiały ceramiczne próżniowe typu „ergan" Q—5 oraz dielektryki absorpcyjne.

Wymienione wyżej materiały wyczerpywałyby wszystkie najpilniejsze wymagania stawiane przez przemysł telekomunikacyjny. Należy przy tym podkreślić, że potrzeba uruchomienia na odpowiednią skalę produkcji wszystkich wymienionych gatunków ceramiki stanowi jeden z głównych warunków rozwoju naszego przemysłu telekomunikacyjnego. Bez ceramiki wysokiej częstotliwości nie można dziś konstruować nieomal żadnego urządzenia radiowego, a zwłaszcza urządzeń z zakresu mikrofalowego.

Problemy związane z produkcją i surowcami. Problemy związane z produkcją ceramiki wysokiej częstotliwości dają się podzielić na trzy grupy: a) zagadnienia surowcowe, b) zagadnienia technologii masy, c) zagadnienia technologii kształtek.

Najpoważniejsze trudności nastręcza problem surowcowy. Brak podstawowych surowców w kraju uzależnia produkcję wyrobów radioceramicznych od zagranicy. Podstawowy surowiec talk oraz inne ważne surowce, jak dwutlenek tytanu oraz dwutlenek cyrkonu, są importowane. Pozostałe surowce, jak węglan baru, glina, kaolin, skaleń, magnetyt, bentonit, piasek kwarcowy, tlenek wolframu itd., spełniające rolę mineralizatorów, są dostępne w kraju lub są potrzebne raczej w niedużych ilościach, a więc nie napotykają większych trudności w imporcie.

Przykładowe zestawy niektórych gatunków materiałów ceramicznych są następujące:

a) Radioporcelana		d) Tikond	
kaolin	55 %	dwutlenek tytanu	80—90%
glina	35 %	glina	5—15%
węglan baru	5 %	węglan baru	5%
b) Steatyt		e) Kondensa F	
talk	87 %	dwutlenek tytanu	94%
glina	7 %	bentonit	5%
skaleń	6 %	tlenek wolframu	1%
c) Kalit		f) Tempa S	
talk rumuński surowy	19 %	dwutlenek tytanu	24%
talk rumuński prażony	50 %	magnezyt	71%
glina „Wildstein"	11,2 %	glina Wildstein	3%
glina „Milchelober"	3,8 %	bentonit	2%
węglan baru	10 %	g) Timag K	
bentonit	0,063%	dwutlenek tytanu	46%
		magnetyt prażony	37%
		dolomit prażony	6%
		piasek	4%
		topniki	7%

Warunkiem otrzymania dobrych i powtarzalnych własności wyrobów radioceramicznych jest jednorodny surowiec, który należy importować zawsze z zapasem na dłuższy czas — rzędu kilku lat; szczególnie dotyczy to talku. Do najlepszych talków należą: talk bawarski Göpfersgrün, niektóre odmiany talku rumuńskiego, talki egipski, mandżurski i chiński.

Sprowadzany do kraju do celów konsmetycznych talk austriacki zasadniczo nie nadaje się do wyrobów steatytowych. Możliwość jego użycia zależy od dalszych badań instytutowych. Talk polski zawiera zbyt dużo żelaza i zastosowanie go na wyroby radioceramiczne jest na razie wykluczone. Do okoliczności ogromnie utrudniających właściwy dobór talku należy to, że własności materiałów radioceramicznych zależą nie tylko od ich składu chemicznego, ale również od jego struktury, która często zmienia się nawet w surowcu wydobytym z tego samego miejsca.

Stosunkowo łatwiej przedstawia się problem pozostałych składników, których dobór uzależniony jest przede wszystkim od ich czystości.

Technologia masy ceramicznej jest stosunkowo prosta i może być w kraju w znacznym stopniu opanowana. Ewentualne trudności zależą od doboru i jednorodności surowca. Czynnikiem utrudniającym produkcję jest brak potrzebnych maszyn, które ze względu na stawiane im szczególne wymagania powinny być w obecnej fazie rozwoju przemysłu radiotechnicznego raczej importowane. Jest to specjalnie ważne w przypadku dość skomplikowanych pras do wyrobu kształtek.

Dotychczas nie ma specjalności w szkolnictwie wyższym odpowiadającej potrzebom radioceramiki. Całkowite opanowanie technologii mas uzależnione jest od wydzielenia w szkolnictwie wyższym odpowiedniej specjalności i od przeszkolenia naszej kadry na praktykach w zakładach zagranicznych.

Stosunkowo dość duże trudności nastręcza technologia kształtek. Wymaga ona między innymi dużego doświadczenia w budowie form i narzędzi. Osobnym problemem jest wyrób kształtek steatytowych o dużych rozmiarach, wymagających specjalnie jednorodnej masy i opanowania odpowiedniej technologii formowania.

Ważnym zagadnieniem technologicznym jest laboratoryjne i następnie techniczne opanowanie produkcji syntetycznego klinoenstatytu — materiału zastępującego talk naturalny. Byłoby ono nie tylko rozwiązaniem trudności wynikających z braku odpowiedniego talku w kraju, ale pozwoliłoby na uzyskanie surowca o strukturze krystalicznej, analogicznej do bawarskiego „Speckstein".

Z produkcją i surowcami dla radioceramiki wiąże się jeszcze sprawa adaptacji do tych celów pewnych nietypowych surowców, przede wszystkim talku kosmetycznego pochodzenia austriackiego i talku polskiego.

Szereg badań przeprowadzonych przez Instytut Metalurgii i PIT nie potrafiło w dostatecznej mierze ani wyjaśnić, ani przeciwdziałać powstającym tu trudnościom technologicznym. Według zdania opiniodawców zagranicznych trudności związane z użyciem talku austriackiego pochodzą zarówno z jego łuskowatej struktury, jak i wąskiego zakresu spiekalności.

4. Zagadnienie kontroli technicznej i normalizacji.

Zarys metodyki badań własności dielektrycznych. Najważniejszymi z radiotechnicznego punktu widzenia współczynnikami materiałowymi dielektryku są: przenikalność dielektryczna ε, współczynnik strat tg δ oraz współczynnik cieplny przenikalności dielektrycznej $TK\varepsilon$. Pomiaru tych trzech wielkości dokonywa się na kondensatorze, którego dielektrykiem jest badany materiał.

Technika pomiaru wymienionych współczynników wymaga opracowania następujących trzech zagadnień: a) ustalenia warunków, którym musi odpowiadać przygotowana do pomiaru próbka, b) ustalenia wpływu warunków zewnętrznych na wynik pomiaru, c) wybrania odpowiednich metod do pomiaru pojemności i współczynnika strat mierzonego kondensatora.

Ustalenie warunków dla próbki wiąże się ze zbadaniem wpływu na wynik pomiaru ε i tg δ dwóch elementów kondensatora — przewodów doprowadzających oraz elektrod. Przewody doprowadzające mogą wpłynąć przez swoją własną pojemność, indukcyjność oraz opór czynny. Zależnie od częstotliwości prądu oraz wartości mierzonej pojemności i tg δ kondensatora nakłada się na współczynniki resztkowe przewodów odpowiednie wymagania, których dotrzymanie jest warunkiem małego błędu pomiarowego.

Elektrody próbnego kondensatora mogą być źródłem dwojakiego rodzaju błędów pomiaru ε i tg δ. Jeden z nich jest uwarunkowany obecnością tzw. pola brzegowego oraz pól rozproszonych w otoczeniu, drugi zaś — niewłaściwym przyleganiem elektrody od badanego dielektryku.

Wpływ pola brzegowego daje się uwzględnić przez zastosowanie kondensatorów z pierścieniem ochronnym albo przez wprowadzenie do obliczenia ε odpowiednich poprawek rachunkowych.

Złe przyleganie elektrod polega na powstawaniu szczelin między okładziną kondensatora a dielektrykiem, a więc pomiar odpowiada wtedy pewnemu uwarstwionemu kondensatorowi i daje fałszywe wartości pojemności i współczynnika strat. Można uniknąć tych błędów przez zastosowanie odpowiednich elektrod. Najlepsze wyniki uzyskuje się przez bezpośrednią metalizację badanego dielektryku (parowanie w próżni, napylanie katodowe, wpalanie, napylanie pistoletem Schoope'a itd.).

Z warunków zewnętrznych, wpływających na wynik pomiaru ε i tg δ, najważniejszą rolę odgrywają pochłaniana z powietrza wilgoć oraz zanieczyszczenia powierzchni próbki. Wpływ wilgoci można w dużym stopniu usunąć przez odpowiednią klimatyzację próbki (suszenie, wyżarzanie itd.). Zanieczyszczenia powierzchni próbek usuwa się różnymi sposobami zależnie od rodzaju dielektryku; najczęściej stosuje się metody chemiczne, przemywanie rozpuszczalnikami oraz wypalanie.

Najważniejsze trudności przy pomiarach ε i tg δ sprawia konieczność przeprowadzania ich w bardzo dużym zakresie częstotliwości. W obecnym stanie techniki nie znamy takiej jednej uniwersalnej metody pomiarowej, która obejmowałaby całe pasmo w zakresie od 50 Hz do częstotliwości zakresu mikrofalowego.

W zakresie małych częstotliwości — do ~ 100 kHz — najczęściej stosuje się metody mostkowe. W zakresie częstotliwości wielkich — do kilkudziesięciu megaherców — używane są metody oparte na wyznaczaniu parametrów obwodów rezonansowych o stałych skupionych. Powyżej 100 MHz stosuje się metody rezonansowe z obwodami o stałych rozłożonych, jak linie długie i obwody wnękowe.

Przy analizie błędów systematycznych poszczególnych metod pomiaru tg δ okazuje się, że prawie niezależnie od przyjętej metody przy pomiarze małych tg δ błędy zaczynają szybko wzrastać. Dolna granica dających się jeszcze dobrze zmierzyć wartości tg δ zawiera się między $10 \cdot 10^{-4}$ a $25 \cdot 10^{-4}$, a tymczasem większość dobrych dielektryków ceramicznych ma $\mathrm{tg}\,\delta < 10 \cdot 10^{-4}$.

Trudności pomiaru małych wartości tg δ są u nas szczególnie przykre z tego powodu, że nie można było dotąd zdobyć odpowiedniego doświadczenia w budowie wymaganej aparatury pomiarowej. Jedynym rozwiązaniem takiej sytuacji jest ciągłe konstruowanie szeregu przyrządów, opartych na różnych zasadach, i oddawanie ich do eksploatacji. Na podstawie zebranego po pewnym czasie materiału doświadczalnego będzie można ustalić przydatność tej lub innej metody.

Zaopatrzenie zakładów badawczych oraz produkcyjnych w potrzebne przyrządy. Zaopatrzenie zakładów badawczych — jeśli nie wliczać w to Instytutu Elektrotechniki, który zajmuje się głównie dielektrykami dla potrzeb energetyki — przedstawia się wprost katastrofalnie. Poszczególne komórki naukowe zdane są prawie wyłącznie na przyrządy własnej konstrukcji, których zresztą nie zawsze można w kraju wykonać. Wskutek tego pracownicy naukowi instytutów lub wyższych uczelni rozpraszają swe wysiłki na pokonywanie trudności układowo-konstrukcyjnych, nie przyczyniając się wiele do postępu ani w dziedzinie naukowej, ani w dziedzinie technologicznej.

Druga ujemna strona obecnego stanu rzeczy wiąże się z kontrolą wyników uzyskiwanych przez przemysł. Ani instytuty, ani uczelnie nie mogą wydawać opinii o wynikach otrzymywanych w przemyśle, gdyż dysponują przyrządami zbyt niskiej klasy. Powoduje to z kolei niewielką wydajność pracy badawczej i brak odpowiedniego poparcia ze stron władz przy akceptowaniu planów inwestycyjnych placówek naukowych. To błędne koło należałoby raz przerwać. Najgorzej wygląda sprawa przyrządów do kontroli C i tg δ. Problem przygotowania dobrych przyrządów do masowej kontroli radioceramiki jest w ogóle zagadnieniem bardzo trudnym ze względu na bardzo małe wartości mierzonych wielkości, a jednocześnie duże wymagania co do szybkiego kontrolowania dużej liczby elementów. Sprawa właściwego i szybkiego zaopatrzenia naszych instytucji naukowo-badawczych w odpowiednie przyrządy jest wręcz paląca; bez załatwienia jej nie jest możliwy postęp w dziedzinie technologii nowych tworzyw.

Zagadnienia normalizacyjne. Szczególnie trudne warunki związane z uruchomieniem produkcji radioceramiki przy braku odpowiednio rozwiniętej produkcji elektronowych przyrządów pomiarowych utrudniają normalizację zarówno produkowanych materiałów, jak i obowiązujących metod kontroli ich jakości. Opracowywane dotychczas przez PKN normy muszą uwzględniać ten stan rzeczy i zwłaszcza w zakresie norm pomiarowych powinny w okresie przejściowym dopuszczać pewną giętkość w obowiązujących metodach kontroli.

5. Wnioski i dezyderaty w sprawie dalszych badań.

Organizacja prac badawczych nad dielektrykami. Dotychczasowa współpraca przemysłu z instytucjami naukowo-badawczymi jest bardzo słaba. Przemysł nie ma warunków do współpracy z instytutami i do wdrażania prac badawczych; instytuty i uczelnie nie są tak dobrze wyposażone, by mogły podjąć zadania stawiane przez przemysł. Obecną sytuację można określić jako brak naukowego zaplecza dla przemysłu, brak odpowiedniej naukowej atmosfery wśród tych zakładów naukowych, które mogłyby pracować nad radioceramiką lub dielektrykami w ogóle.

Nie ma w tej chwili w kraju żadnej komórki, która koordynowałaby prace naukowo-badawcze poszczególnych jednostek naukowych lub naukowo-technicznych. Wydaje się, że do podjęcia takiej roli byłaby najbardziej predestynowana PAN, uruchamiając w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki zakład lub pracownię dielektryków. Istniejący obecnie Zakład Ferroelektryków PAN w Poznaniu zajmuje się bardzo wąskim wycinkiem prac dotyczących ferroelektryków i to w zakresie zagadnień czysto naukowych, nie mających na razie powiązania z techniką.

W inny sposób, ale również nie najlepiej, przedstawia się sytuacja z pozostałymi katedrami i zakładami instytutowymi, w ich liczbie należy wymienić Katedrę Fizyki Technicznej Akademii Górniczej w Krakowie, Katedrę Radiotechniki Politechniki Wrocławskiej, Zakład Materiałoznawstwta Instytutu Elektrotechniki i Zakład Materiałoznawstwa Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji. Prace tych komórek nie są zupełnie między sobą skoordynowane; ponieważ komórki te należą do różnych pionów resortowych, trudno jest ustalić sposób koordynacji. Prawdopodobnie z tej samej przyczyny koordynacji tej nie mógł na razie dokonać Komitet Łączności PAN.

Dezyderaty pod adresem ośrodków badawczych. Zadania, które już obecnie można by postawić ośrodkom badawczym, są bardzo różnorodne i obejmują szereg działów fizyki, chemii i techniki. Zadania te dzielą się na problemy ściśle naukowe i naukowo-techniczne.

Do zagadnień ściśle naukowych należą:

1) opracowanie teorii dielektryków, a szczególnie mechanizmu strat dielektrycznych,

2) wyjaśnienie anormalnych zjawisk w ferroelektrykach,

3) opracowanie tematów związanych z dielektrykami niejednorodnymi,

4) zdobycie umiejętności przygotowania dielektryków o z góry zadanych własnościach,

5) badanie i wytwarzanie cienkich warstw dielektrycznych.

W zakres problemów naukowo-technicznych wchodzą:

1) zagadnienie mineralizatorów dla układu MgO-SiO_2 i MgO-TiO_2 oraz układów wielokrotnych,

2) synteza sztucznego klinoenstatytu,

3) opracowanie technologii dielektryków o bardzo dużej przenikalności elektrycznej,

4) opracowanie dielektryków absorpcyjnych,

5) opracowanie technologii lakierów na podstawie krzemowo-organicznej,

6) opracowanie technologii obwodów drukowanych.

Opracowaniem powyższych zagadnień powinny się zająć zarówno instytuty naukowo-badawcze jak zainteresowane katedry szkół wyższych.

D e z y d e r a t y p o d a d r e s e m z a k ł a d ó w r a d i o t e c h n i c z n y c h. Potrzeby naszego przemysłu w dziedzinie radioceramiki wzrosły do takich rozmiarów, że dla zaspokojenia ich należy stworzyć osobny — odpowiednio duży — zakład produkcyjny.

Do podstawowych zadań tego zakładu należałyby następujące problemy:

1) całkowite opanowanie technologii radiosteatytu typu kalit,

2) całkowite opanowanie technologii ceramiki kondensatorowej o różnych współczynnikach $TK\varepsilon$,

3) opanowanie produkcji wszelkiego rodzaju kształtek konstrukcyjnych oraz kondensatorów ceramicznych,

4) opanowanie technologii obwodów drukowanych.

Z omówionych wyżej podstawowych zagadnień, związanych z dielektrykami ceramicznymi, wynikają ogromne i pilne potrzeby przemysłu telekomunikacyjnego oraz bardzo szczupłe środki, którymi ten przemysł obecnie dysponuje.

Znaczenie ekonomiczne radioceramiki jest bardzo duże i wiąże się z koniecznością stosowania jej w najbardziej odpowiedzialnych punktach urządzeń radiowych.

Rozwój przemysłu radioceramicznego przyczyni się do unowocześnienia sprzętu radiowego, wzmocnienia obronności kraju i jego ogólnego gospodarczo-technicznego rozkwitu.

DOC. MGR INŻ. W. PAJEWSKI
Przem. Inst. Telekom.

Ferroelektryki

537.226:621.315.6.001.6(438)

T r e ś ć. Zagadnienie dielektryków nieliniowych, które mają duże znaczenie w nowoczesnej technologii materiałów izolacyjnych. Stan prac w Polsce na tle ogólnych tendencji rozwojowych, zamierzenia i perspektywy ich realizacji.

1. Charakterystyka i znaczenie ferroelektryków.

Materiały ferroelektryczne są tworem lat ostatnich i wskutek tego mało są znane ogółowi. Niemniej jednak istnieją szerokie możliwości zastosowania tych materiałów w urządzeniach elektrycznych. Np. produkcja kondensatorów z ferroelektryków w wielu krajach wyszła już poza laboratoria. Znaczenie tego typu nowych materiałów jest bardzo duże; dlatego też prowadzi się intensywne badania nad ich własnościami i rozszerzeniem zastosowania w elektrotechnice prądów silnych i słabych. Jedną z podstawowych cech tych materiałów jest możliwość wprowadzenia daleko idącej miniaturyzacji sprzętu telekomunikacyjnego oraz poczynienie rewolucyjnych, a bardzo korzystnych zmian w urządzeniach liczących i „pamiętających".

W tabl. I zestawiono niektóre z produkowanych obecnie ferroelektryków używanych do wyrobu kondensatorów o różnych nazwach firmowych.

W kraju zrobiono w tej dziedzinie dotąd niewiele. Prowadzone prace mają charakter fragmentaryczny i nie są koordynowane pomiędzy placówkami naukowo-badawczymi — jedynymi zresztą, które mają na tym odcinku pewne osiągnięcia. Przemysł krajowy nie zgłasza jeszcze swego zapotrzebowania na ten rodzaj materiałów, co bynajmniej jednak nie znaczy, aby zagadnienie to można było traktować drugoplanowo. Badania, głównie nad technologią ceramiki tytanianowej i pomiary właściwości ferroelektryków są prowadzone w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacyjnym. Prace te nie posiadają jednak niestety szerszego zasięgu ze względu na szczupłość środków i są raczej wprowadzeniem w zagadnienie.

Fizyka ferroelektryków jest przedmiotem badań Zakładu Ferroelektryków Instytutu Fizyki PAN. Wymienione dwa ośrodki krajowe są głównymi, które pracują w tej dziedzinie od kilku lat. Inne pracownie zajmują się drobniejszymi pracami na tym odcinku i — jak dotąd — o mniejszym znaczeniu praktycznym. Dotychczasowe, choć tak skromne prace, wykazały jednak, że możliwe jest osiągnięcie wyników, nawet o znaczeniu przemysłowym, względnie prostymi środkami.

Materiały ferroelektryczne odegrają zapewne znaczną rolę w elektrotechnice. Zagadnieniu temu poświęca się setki prac badawczych publikowanych w prasie naukowej świata. Pró-

T a b l i c a I. Wykaz niektórych ferroelektryków stosowanych do kondensatorów

Producent	Nazwa materiału	ε	$TK \times 10^{-6}$	$\operatorname{tg}\delta \cdot 10^4$ przy 1 MHz	Uwagi
Z.S.S.R.	Tibar	1000 — 2000	nieliniowy	70 — 100	
U.S.A.	Hi-Kaps	5000	—	—	złoty kod
„	Hi-Kaps	500	—3000	—	srebrny kod
Hescho (Hermsdorf) Thür.	Epsilan 900	900	—2300	25	
„ „ „	Epsilan 7000	7000	—20000	125	
Deutsche Philips GmbH	K 500	350 — 400	dodatni	30	
„ „ „	K — 2000	1500 — 1800	dodatni	80	
„ „ „	K — 3500	3500	nieliniowy	100	
N S F Nürnberg	DK — 1800	—	—	—	w przygotowaniu
„ „	DK — 3500	3500	nieliniowy	100	
Rosenthal Isolatoren	Rosalt 160	130 — 160	nieliniowy	100	
„ „	Rosalt 2000	2000	nieliniowy	200	
„ „	Rosalt 4000	4000	nieliniowy	200	
Siemens — Halske AG	Sibalit 1000	500 — 2000	—	—	w przygotowaniu
„ „	Sibalit 3000	2000	—	—	w przygotowaniu
Stemag Porz. bei Köln	Keracond	200	nieliniowy	20	
„ „ „	Supracond	1800	nieliniowy	150	
„ „ „	Ultracond	4000	nieliniowy	150	
Stettner Co	Faralit J	1500	nieliniowy	150	
„ „	Faralit U	3600	nieliniowy	250	

buje się już przemysłowo potraktowanej produkcji kondensatorów, pomimo pewnych niedogodności związanych z własnościami tych materiałów. Technologia ich jest trudna; własności ferroelektryków zależą od bardzo wielu czynników natury chemicznej i fizycznej. Nieliniowość, czułość na temperaturę, na pole elektryczne, starzenie się — oto główne przeszkody na drodze do szerokiego rozpowszechnienia tych materiałów w elektrotechnice. Obecnie najczęściej stosuje się kondensatory z ferroelektryków, jako kondensatory blokowe w układach elektronicznych. Wprowadzenie nowych metod technologicznych, jak np. napylanie cienkich warstw izolacyjnych z ferroelektryków, przyczyni się do dalszego rozwoju produkcji kondensatorów o dużych pojemnościach. Probuje się też polepszać własności ceramiki izolacyjnej wprowadzając różne dodatki do podstawowych składników mas ceramicznych. Szczególnie ważne jest zastosowanie ferroelektryków do wyrobu kondensatorów dla urządzeń ultrakrótkofalowych, gdyż odznaczają się one małą indukcyjnością własną (małe rozmiary). W energoelektryce materiały ferroelektryczne są stosowane do produkcji kondensatorów energetycznych do poprawy cos φ i do urządzeń przeciwzakłóceniowych.

Obiecującą dziedziną zastosowań dla tych materiałów są maszyny liczące, w których monokryształy ferroelektryków mogą być użyte jako elementy „pamięci". W tym zakresie ferroelektryki mają przewagę nad innymi materiałami ze względu na koszty, na zapotrzebowanie miejsca i eksploatację. Otrzymywanie jednak większych monokryształów z ferroelektryków jest jeszcze połączone z dużymi trudnościami.

Produkcja ferroelektryków wymaga surowców o określonej jakości nie wytwarzanych jeszcze w Polsce i trudnych do otrzymania. Wprowadzenie niedostrzegalnych nieraz ilości pewnych pierwiastków może spowodować nieprzydatność danego surowca lub konieczność opracowania specjalnej technologii do produkcji ceramiki ferroelektrycznej. Stosowany do produkcji rutyl musi być otrzymywany według ścisłej receptury; wszelkie odstępstwa od niej prowadzą do zdyskwalifikowania surowca, ze względu na trudności w uzyskaniu pożądanych właściwości ceramiki tytanianowej.

2. Wymagania techniczne stawiane ferroelektrykom.

Zagadnienie normalizacji materiałów ferroelektrycznych jest jeszcze przedwczesne, gdyż nie znamy dostatecznie ich własności. Należy poczekać na rozpowszechnienie się tych materiałów w elektrotechnice, aby uzyskać doświadczenie potrzebne do opracowania użytecznych norm.

Wydaje się, że w pierwszym etapie konieczne jest opracowanie samych metod badania nowych materiałów, ze względu na ich nietypowe własności, jak np. zależność stałej dielektrycznej od pola elektrycznego i in. Określenie jednolitych dla całego kraju metod badania w laboratoriach przemysłowych przyczyni się do łatwiejszego porównywania wyników prac. Należałoby także ustalić ramowe warunki techniczne dla nowego sprzętu oraz sposób jego badania. Kondensatory z materiałów ferroelektrycznych nie mogą być badane metodami stosowanymi obecnie. Nowe metody muszą uwzględniać bardzo dużą wartość stałej dielektrycznej, duży kąt stratności (rzędu 10^{-2}), zależność własności od temperatury i od pola elektrycznego oraz starzenie się.

W drugim etapie prac należy zwrócić uwagę na normalizację kondensatorów pod względem wymiarów, własności i oznaczania.

Kontrola techniczna w stosunku do ferroelektryków jest sprawą szczególnej wagi i musi obejmować tak proces produkcji materiału, jak i elementów wykonywanych z niego ze względu na bardzo trudną technologię nowych materiałów i duży rozrzut ich własności.

Obecnie brak nam jeszcze doświadczenia produkcyjnego dla odpowiedniego omówienia tego punktu. Wysunięty tu postulat co do dużego znaczenia kontroli technicznej oparto na wynikach prac laboratoryjnych PIT i na konsultacji ze specjalistami CSR.

3. Wytyczne i wnioski.

Z powyższego krótkiego przeglądu zagadnień związanych z ferroelektrykami wynika konieczność nie tylko kontynuowania rozpoczętych prac, ale znacznego rozszerzenia ich zakresu.

Nie należy także poprzestać na ferroelektrykach tytanianowych, lecz zająć się badaniem wszystkich materiałów tego rodzaju, gdyż nie wiadomo jeszcze, które z nich przyniosą największe korzyści; poza tym należy uwzględniać krajowe zasoby surowcowe.

Sprawą pilną jest uruchomienie produkcji kondensatorów do urządzeń miniaturowych na mniejsze i większe pojemności; w tym przypadku można wykorzystać doświadczenie PIT oraz pomoc z zagranicy w formie konsultacji lub praktyk. Do produkcji takich kondensatorów należałoby wydzielić jeden z istniejących małych zakładów produkcyjnych lub zorganizować zakład nowy przy jednym z instytutów. Zakład taki miałby duże znaczenie dla wdrażania prac instytutów do przemysłu. Obecnie doświadczenie wskazuje bowiem, że przemysł nie posiada możliwości prowadzenia produkcji doświadczalnej.

Konieczne jest dobre wyposażenie placówek badawczych w przyrządy pomiarowe i urządzenia, a także ich stały kontakt z odpowiednimi zakładami badawczymi i produkcyjnymi krajów demokracji ludowej, w których tego rodzaju prace i produkcja mają już długoletnią tradycję.

Do prac należy wciągnąć te wszystkie zakłady, które zajmowały się, zajmują się, lub będą się zajmowały zagadnieniem ferroelektryków. Do takich zakładów należą: Zakład Chemii Ogólnej i Nieorganicznej Politechniki Wrocławskiej, Katedra Radiotechniki Politechniki Wrocławskiej, Przemysłowy Instytut Telekomunikacji, Zakład Ferroelektryków Instytutu Fizyki PAN w Poznaniu oraz Dział Ceramiczny Zakładów im. Marcina Kasprzaka. Prace można byłoby podzielić tak, aby PIT w dalszym ciągu prowadził prace technologiczne i pomiarowe z uwzględnieniem takich elementów jak kondensatory. Pomiary obejmowałyby własności elektryczne i mechaniczne ceramiki i elementów. Dział Ceramiczny przy Zakładach im. Marcina Kasprzaka mógłby pomóc w produkcji doświadczalnej. Zakład Radiotechniki Politechniki Wrocławskiej zająłby się razem z Zakładem Materiałoznawstwa Instytutu Elektrotechniki technologią kondensatorów na duże pojemności i wysokie napięcia. Zakłady typu czysto naukowego rozwiązywałyby zagadnienia związane z mechanizmem syntezy odpowiednich związków, jak $BaTiO_3$, $SrTiO_3$ i innych, badaniem własności surowców oraz analizą zjawisk fizycznych, jak starzenie się ceramiki, histereza cieplna, elektryczna itp. Wymienione zakłady miałyby także obowiązek szkolenia nowych kadr dla przemysłu.

Wydaje się także, że obowiązek prowadzenia badań powinien być rozciągnięty i na katedry politechniczne. Pozwoliłoby to na wykonywanie odpowiednich prac magisterskich i kandydackich oraz zapewniłoby dopływ świeżych sił naukowych do instytutów.

Przemysł chemiczny powinien uruchomić produkcję rutylu, węglanu baru, strontu i wapnia bez określonych zanieczyszczeń, aby zapewnić surowce wszystkim tym pracom oraz produkcji. Ilościowo surowce te stanowią nieznaczną pozycję dla przemysłu chemicznego, najwyżej kilka ton ale o znacznej czystości.

Realizacja przytoczonych tutaj dezyderatów powinna zapewnić uruchomienie krajowej produkcji nowoczesnych podzespołów elektrycznych i telekomunikacyjnych już w ciągu najbliższych dwu lat.

Obecnie nie mamy w kraju produkcji kondensatorów ceramicznych o bardzo dużej przenikalności dielektrycznej. Potrzeby krajowe w tej dziedzinie pokrywamy z importu. Taki stan rzeczy można tolerować jedynie do tego czasu, gdy import ten jest niewielki. Rozwój przemysłu telekomunikacyjnego już w następnym planie gospodarczym postawi przed nami zagadnienie własnej produkcji nowych materiałów. Na pierwsze miejsce wysuwa się produkcja odbiorników miniaturowych i telewizyjnych, która pochłonie rocznie kilka, a nawet kilkanaście milionów kondensatorów tego typu. Licząc koszt orientacyjny jednego kondensatora na 10 kop. otrzymuje się sumę około miliona rubli, którą należałoby wydać każdego roku zagranicy w cennych dewizach. Przy takich założeniach można dojść do wniosku, że koszty uruchomienia własnej produkcji będą zamortyzowane w ciągu 2 do 3 lat.

Wprowadzenie tranzystorów zamiast lamp elektronowych nie rozwiązuje w pełni zagadnienia miniaturyzacji sprzętu telekomunikacyjnego.

Trudno dzisiaj mówić dokładnie o efekcie ekonomicznym zastosowania nowych materiałów; jest to jednak sprawa dużej wagi dla podniesienia obronności kraju, dla automatyzacji produkcji, dla telewizji i telemechaniki.

DOC. MGR INŻ. WINCENTY PAJEWSKI
Przem. Inst. Telekom.

Materiały piezoelektryczne

537.227.004.12".13

Treść. Krótki przegląd własności i zastosowań, zaawansowanie krajowych prac badawczych i produkcji. Potrzeby rynku krajowego, ich realizacja i zamierzenia na przyszłość.

1. Wstęp.

Materiałów piezoelektrycznych używa się wyłącznie do wytwarzania elementów, które znajdują zastosowanie przedewszystkim w łączności. W ostatnich latach nastąpił szybki rozwój zastosowania elementów piezoelektrycznych w urządzeniach telekomunikacyjnych, a w związku z tym wynika konieczność znalezienia nowych materiałów piezoelektrycznych najodpowiedniejszych do produkcji elementów o specjalnych właściwościach. Poszukiwania nowych materiałów przyczyniły się do poznania nowych kryształów piezoelektrycznych, jak np. kryształy winianów, fosforanów oraz tytanianów. Pomimo dużych trudności opracowano w stosunkowo krótkim czasie technologię otrzymywania dużych kryształów, nadających się do produkcji elementów piezoelektrycznych.

W Polsce prace nad powyższymi zagadnieniami prowadzono głównie w Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym, a później w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji. W ciągu kilku lat opanowano technologię produkcji oscylatorów kwarcowych do stabilizacji częstotliwości i najważniejsze metody pomiarowe potrzebne do badań i doskonalenia technologii. Wynikiem tych prac było uruchomienie zakładu produkcyjnego, wytwarzającego oscylatory na potrzeby krajowe. Prowadzono też badania nad rezonatorami do filtrów telefonii nośnej i opracowano technologię wytwarzania potrzebnych elementów oraz specjalne metody pomiarowe.

W zakresie surowców opracowano krystalizację winianu etylenodwuaminy, kwaśnego fosforanu amonu oraz metody obróbki tych kryształów. Równolegle z pracami w Instytucie prowadzono również prace w spółdzielni „Radiotechnik" w Stalinogrodzie nad krystalizacją dużych kryształów soli Seignette'a i nad zastosowaniem ich do produkcji mikrofonów piezoelektrycznych. W wyniku tych prac uruchomiono produkcję mikrofonów piezoelektrycznych. W ostatnim roku została uruchomiona częściowo przy pomocy PIT produkcja adapterów piezoelektrycznych w jednej z fabryk przemysłu telekomunikacyjnego oparta na własnej hodowli kryształów soli Seignette'a. Mamy więc poważny dorobek krajowy w dziedzinie materiałów piezoelektrycznych.

2. Materiały piezoelektryczne w elektrotechnice.

Materiały piezoelektryczne otrzymuje się w wyniku trudnych technicznie do przeprowadzenia procesów krystalizacji, których rezultatem powinien być materiał odpowiedniej jakości bez wewnętrznych skaz, pęknięć, zamgleń, pęcherzyków itp. Tak czyste kryształy otrzymuje się tylko drogą odpowiednio prowadzonej krystalizacji.

Kryształy piezoelektryczne syntetyczne krystalizuje się prawie wyłącznie z roztworów wodnych przez obniżanie temperatury roztworu nasyconego. Do tego celu stosowany jest w technice szereg skomplikowanych urządzeń.

Oprócz kryształów syntetycznych znajdowały i znajdują zastosowanie naturalne kryształy piezoelektryczne, jak kwarc i turmalin. Obecnie turmalinu prawie nie używa się, natomiast zapotrzebowanie kwarcu wzrasta z każdym dniem. Wysoka cena kwarcu wywołana wyczerpywaniem się światowych zapasów surowca zachęciła do prowadzenia prac badawczych nad sztuczną krystalizacją tego materiału. W wyniku tych prac kryształy kwarcu będą w przyszłości — podobnie jak inne syntetyczne kryształy piezoelektryczne — produkowane w zakładach przemysłowych.

Omówimy pokrótce kryształy piezoelektryczne, mające większe znaczenie w przemyśle elektrotechnicznym.

K w a r c w postaci kryształu górskiego jest najbardziej pożądanym materiałem do produkcji oscylatorów i rezonatorów piezoelektrycznych, przetworników ultradźwiękowych oraz wszelkiego rodzaju czujników.

Dotychczas używano w produkcji wyłącznie kryształu naturalnego, występującego w kilku miejscach na kuli ziemskiej. Najpoważniejsze i najlepszej jakości złoża kwarcu znajdują się w Brazylii. Duże złoża kwarcu znajdują się także w ZSRR, na Madagaskarze i w kilku innych krajach.

Najodpowiedniejszym surowcem piezoelektrycznym są bryły kwarcu o wadze od 250 g do 1 kg, bez skaz wewnętrznych i tak zwanych bliźniaków typu elektrycznego lub optycznego.

Polska posiada zasoby kwarcu jedynie w postaci drobnych kryształów, które nie nadają się do bezpośredniego przerabiania na elementy piezoelektryczne, stanowią jednak cenny surowiec do krystalizacji kwarcu syntetycznego.

S ó l S e i g n e t t e ' a czyli winian sodowo-potasowy $NaKC_4H_4O_6 + 2H_2O$ krystalizuje się z roztworów wodnych na wielką skalę. Jest to najtańszy z kryształów piezoelektrycznych, jednakże złe własności fizyczne przyczyniły się do tego, że obecnie znajduje on coraz mniejsze zastosowanie i jest wypierany przez inne kryształy. Kryształy z soli Seignette'a mogą być stosowane w klimacie umiarkowanym i do urządzeń pod wodą. Pomimo złych cech fizycznych są one, jako materiał tani i wykazujący duży efekt piezoelektryczny, dziś jeszcze szeroko stosowane do urządzeń elektroakustycznych, jak mikrofony, adaptery, słuchawki oraz przetworniki ultradźwiękowe — zwłaszcza podmorskie. Jedną z największych zalet tego kryształu jest duża czułość napięciowa i średniej wielkości stała dielektryczna.

W i n i a n e t y l e n o d w u a m i n y jest kryształem o dobrych własnościach fizycznych i mechanicznych; krystalizuje się z roztworów wodnych na dużą skalę. Jest materiałem stosunkowo nowym; stosuje się go głównie w miejsce kwarcu na rezonatory do filtrów telekomunikacyjnych. Pod względem elektrycznym jest on w tym zastosowaniu materiałem lepszym od kwarcu, jednakże własności mechaniczne ma znacznie gorsze, a jego obróbka nastręcza dużo trudności. W przyszłości prawdopodobnie nie wytrzyma konkurencji z kwarcem syntetycznym, gdy produkcja tego ostatniego stanie się opłacalna.

K w a ś n y f o s f o r a n a m o n u otrzymuje się również przez krystalizację z roztworów wodnych. Kryształ ten znajduje zastosowanie głównie do wytwarzania przetworników ultradźwiękowych; w elektroakustyce ma znaczenie drugorzędne.

T y t a n i a n b a r u jest materiałem piezoelektrycznym, któremu należy poświęcić więcej uwagi. Stosuje się go w przemyśle elektrotechnicznym w postaci ceramiki, która oprócz $BaTiO_3$ zawiera inne domieszki, wpływające korzystnie na jej właściwości. Dzięki tym dodatkom możemy zmieniać w szerokich granicach jego własności mechaniczne i piezoelektryczne, a także i dielektryczne. Pozwala to na wybranie do danego zastosowania najodpowiedniejszej ceramiki. Produkcja ceramiki piezoelektrycznej wymaga urządzeń podobnych do tych, które stosuje się do wypalania ceramiki elektrotechnicznej zwykłej. Ceramika tytanianowa znajduje zastosowanie głównie do budowy przetworników ultradźwiękowych małej i dużej mocy, przy tym przetworniki te mają własności korzystniejsze od przetworników kwarcowych.

Przetworniki tytanianowe wymagają znacznie mniejszego napięcia wzbudzającego, dzięki czemu mogą pracować w dużo gorszych warunkach wilgotności. Ceramikę tytanianową można formować w dowolne kształty i aktywować piezoelektrycznie po formowaniu; w ten sposób otrzymuje się przetworniki o różnych charakterystykach promieniowania ultradźwiękowego.

Ceramika piezoelektryczna znajduje także zastosowanie do wyrobu adapterów i głośników piezoelektrycznych. Te elementy mają znaczną przewagę nad dotychczas produkowanymi elementami z soli Seignette'a ze względu na większą wytrzymałość mechaniczną oraz zadowalającą pracę w różnych warunkach klimatycznych.

Technologia wytwarzania ceramiki tytanianowej jest trudna; właściwości otrzymanego materiału wykazują duży rozrzut dla poszczególnych partii produktu w zależności od drobnych nawet zmian w składzie użytych surowców i od warunków wypalania.

Oprócz omówionych materiałów znane są jeszcze inne, jak siarczan litu, winian potasowy, fosforan potasowy, które obecnie mają mniejsze znaczenie przemysłowe.

3. Zagadnienie norm i wymagań technicznych.

Kryształy zgodnie ze swą naturą mają stałe cechy fizyczne, normalizacja powinna zatem dotyczyć jedynie ich wymiarów geometrycznych i rodzaju zanieczyszczeń z punktu widzenia przydatności do produkcji oraz klasyfikacji z punktu widzenia

zastosowań. W dziedzinie normalizacji kryształów piezoelektrycznych zrobiono jeszcze niewiele. Stosowane na świecie normy są bardzo elastyczne i dotyczą głównie kwarcu naturalnego. Zagadnienie to nie jest palące ze względu na stosunkowo niewielką ilość surowca zużywanego do produkcji elementów piezoelektrycznych.

Innym zagadnieniem jest normalizacja elementów piezoelektrycznych. Normalizacja taka nie jest przeprowadzona w żadnym kraju produkującym te elementy ze względu na stały postęp i ciągłe zmiany idące w kierunku udoskonalenia elementów. W skali krajowej wydaje się konieczne jedynie znormalizowanie typów i wymiarów opraw, w szczególności rozstawienie nóżek kontaktowych w oprawach oscylatorów i rezonatorów piezoelektrycznych, które są produkowane w większej ilości i których produkcja stale wzrasta. Należy też ustalić ścisłe metody kontroli gotowego produktu i wymagania techniczne, dotyczące współczynnika termicznego częstotliwości, tolerancji częstotliwości, oporu zastępczego, indukcyjności itp.

Podobną normalizację należałoby wprowadzić dla wkładek piezoelektrycznych używanych do adapterów oraz dla wkładek mikrofonowych.

Inne elementy piezoelektryczne nie są jeszcze produkowane masowo, normalizacja ich nie jest więc jeszcze konieczna.

Ogólnie rzecz biorąc, normalizacja elementów piezoelektrycznych w kraju nie jest zagadnieniem palącym ze względu na produkcję poszczególnych wyrobów tylko w jednym miejscu. Być może, że problem ten będzie aktualny za kilka lat, gdy rozwój zastosowań elementów piezoelektrycznych wzrośnie do tego stopnia, że produkcja będzie prowadzona równolegle w kilku zakładach.

4. Wytyczne i dezyderaty.

Znaczenie ekonomiczne elementów piezoelektrycznych jest ogromne. Ceny tych elementów kształtują się na rynkach światowych bardzo wysoko i uruchomienie własnej produkcji uniezależnia nas od krajów kapitalistycznych.

Elementy piezoelektryczne pracują w najczulszych punktach urządzeń łącznościowych. Zastosowanie ich umożliwia unowocześnienie sprzętu radiowego oraz rozwój telefonii wielokrotnej, która prowadzi do znacznego potanienia usług telefonicznych. Wszystko to pośrednio lub bezpośrednio przyczynia się do rozkwitu gospodarczego kraju.

Z tego pobieżnego przeglądu widać, jak ważne są badania nad materiałami i elementami piezoelektrycznymi i ich produkcja w kraju.

Z zagadnień surowcowych na pierwszym miejscu należy postawić zagadnienie surowca kwarcowego. Przy produkcji oscylatorów kwarcu nie można zastąpić żadnym innym materiałem, konieczne jest zatem opanowanie metod produkcji kwarcu syntetycznego z polskich złóż, które mogą być wykorzystane jako materiał wyjściowy do krystalizacji.

Drugim ważnym zagadnieniem jest podniesienie jakości produkowanych elementów piezoelektrycznych oraz wprowadzenie nowoczesnych zdobyczy nauki światowej w zakresie konstrukcji elementów piezoelektrycznych. Z tym punktem łączy się uruchomienie prac badawczych w instytutach i szkołach wyższych przy udziale większej liczby pracowników. Konieczne jest popularyzowanie tej dziedziny celem uzyskania kandydatów na studia i do pracy w przemyśle i instytutach.

Zagadnienie innych kryształów piezoelektrycznych i elementów rozwija się w kraju pomyślnie i rokuje nadzieje na pokrycie krajowego zapotrzebowania w tej dziedzinie. Należy jednak uruchomić zakład, który produkowałby kryształy syntetyczne dla całego przemysłu i dla placówek badawczych. Z zakładem tym musiałaby współpracować odpowiednio urządzona placówka badawcza, podobnie jak to ma miejsce w ZSRR, ČSR, NRD i innych krajach.

5. Wnioski natury ekonomiczno-technicznej.

Cena jednego oscylatora kwarcowego waha się na rynkach światowych w granicach od 2 do 4 funtów szterl., a oscylatory o specjalnych własnościach są znacznie droższe. Jesteśmy w stanie wszystkie te oscylatory produkować obecnie przy pewnym unowocześnieniu naszych środków produkcji. Już obecnie cena krajowego oscylatora waha się od 500 do 1000 zł. Sprowadzenie nowoczesnych urządzeń potrzebnych do podniesienia jakości produkcji na pewno się opłaci, zwłaszcza że w najbliższych latach należy liczyć się z szybkim wzrostem zapotrzebowania. Oszczędności osiągnięte przez uruchomienie krajowej produkcji oscylatorów kwarcowych są bardzo duże i nie należy żałować pieniędzy na jej unowocześnianie.

Zagadnienie surowca kwarcowego jest m. in. zagadnieniem ekonomicznym. Ceny, które musimy płacić za kwarc surowy, są wysokie (około 100 dol. am./1 kg), co już przy zapotrzebowaniu rocznym 500 kg daje sumę 50 000 dolarów/rok.

Koszt produkcji 1 kg kwarcu syntetycznego wynosi obecnie na zachodzie około 50 dol., a może być obniżony przez mechanizację procesów krystalizacji do 25 dol. i niżej. Kwarc syntetyczny jest już zatem konkurencją dla kwarcu naturalnego. Opłacalność syntezy jest jeszcze większa w naszych warunkach, gdy musimy pokrywać wysokie koszty pośrednictwa przy imporcie kwarcu naturalnego.

J. KOSSAKOWSKI
Politechn. Warsz.

Mika i jej pochodne

621.315.613.1

Treść. Najważniejsze półfabrykaty miki. Najczęściej stosowane procesy technologiczne przy wyrobie półfabrykatów. Mika syntetyczna. Zagadnienia kontroli i normalizacji. Zagadnienia ekonomiczne i wnioski.

Mika odgrywa dużą rolę jako podstawowy surowiec do produkcji szeregu materiałów izolacyjnych stosowanych w elektrotechnice, jak również — bezpośrednio w stanie naturalnym — jako dielektryk o bardzo dobrych własnościach, szczególnie cenny przy produkcji kondensatorów dla przemysłu telekomunikacyjnego. W niniejszej pracy omówiono podstawowe własności najważniejszych pochodnych miki i wynikające stąd wnioski, dotyczące uruchomienia odpowiednich prac z tej dziedziny w kraju.

1. Mika jako surowiec.

Mika jako surowiec ma w elektrotechnice szerokie zastosowanie. Jej własności fizyczne i elektryczne pozwalają na stosowanie jej zarówno w obwodach wielkiej częstotliwości, gdzie używa się najlepszych gatunków muskowitu, jak również w grzejnictwie i w budowie maszyn i aparatów elektrycznych (głównie flogopit).

Przemysł elektrotechniczny oprócz miki naturalnej stosuje w swej produkcji szereg półfabrykatów izolacyjnych opartych na przerobie miki. Zatrzymamy się na najważniejszych półfabrykatach.

Mikanity są to płatki miki spajane różnymi lepiszczami. Rozróżniamy mikanity w płytach i mikanity w taśmach; jedne i drugie dzielą się na różne gatunki w zależności od właściwości.

Mikanity płytowe

Mikanit komutatorowy. Mikanit ten jest produkowany w grubościach od 0,3 do 4 mm. Odznacza się małą ilością lepiszcza (od 4 do 6%). Grubość płyty poddanej ciśnieniu 600 kG/cm² przy temp. 160°C nie powinna zmniejszyć się więcej niż o 5 ÷ 7%. Wymagana wytrzymałość na przebicie — 18 kV/mm przy f = 50 Hz. Moc lepiszcza i zwartość mikanitu określa się w procentach przez próbę cięcia na nożycach kawałków o wymiarach 20 × 40 mm. Ta zdolność do cięcia powinna wynosić 80%. Ze względów konstrukcyjnych mikanit komutatorowy musi mieć równomierną grubość; wartość średnia nie może odchylać się więcej niż o ± 0,05 mm od znamionowej grubości (w poszczególnych punktach arkusza o ± 0,1 mm).

Mikanit przekładkowy różni się od komutatorowego większą ilością lepiszcza (10 do 35%) oraz mniej ostrymi warunkami co do grubości (mikanity przekładkowe są w dwóch gatunkach — kalibrowane i niekalibrowane).

Oba wyżej opisane gatunki mikanitu są również produkowane jako „twarde", tj. bardziej sprasowane i bardziej spoiste, wskutek czego mogą pracować przy nieco wyższych temperaturach. Poza tym oba te gatunki muszą mieć oporność właściwą nie mniejszą niż $10^{13}\ \Omega \cdot cm$, a po próbie odporności na wilgoć — $10^{12}\ \Omega \cdot cm$.

Mikanit do formowania. Wyrabiany jest w grubościach od 0,2 do 3 mm. Jego cechą charakterystyczną jest zdolność do formowania, przy czym jako próbę przewiduje się formowanie w temperaturze 110°C ± 10°C rurki o średnicy równej 50-krotnej grubości mikanitu, lecz nie większej niż 50 mm, bez odstawania poszczególnych płatków miki. Tak sformowana rurka musi po ochłodzeniu zachować swój kształt.

Mikanit giętki. Różni się od mikanitu do formowania tym, że daje się kształtować w temperaturze pokojowej. Jest produkowany zazwyczaj w grubościach od 0,15 do 0,5 mm. Znajduje szczególnie zastosowanie przy izolowaniu żłobków w maszynach elektrycznych. Własności tego mikanitu ulegają z czasem zmianie (twardnienie wskutek wysychania lepiszcza).

Mikanit grzejnikowy. Wytwarza się go przeważnie z flogopitu i to z pośledniejszych jego gatunków, gdyż wymagania elektryczne dla tego gatunku mikanitu nie są zbyt ostre. Np. wytrzymałość na przebicie wynosi 8 kV/mm, a więc jest co najmniej dwukrotnie mniejsza od wytrzymałości każdego z innych gatunków mikanitu. Jako spoiwa używa się lepiszcz organicznych łatwo parujących i nie zwęglających się, aby uniknąć zwarć w elemencie grzejnym poprzez zwęglone lepiszcze. Coraz częściej używa się obecnie lepiszcz nieorganicznych na podstawie szkła wodnego, wytrzymujących wyższe temperatury. Ilość lepiszcza w mikanicie grzejnikowym jest bardzo mała i wynosi ok. 2%.

Mikanity taśmowe

Taśma mikowa. Tworzą ją płatki miki wklejone między dwie warstwy papieru. Jako lepiszcze użyta jest masa olejowo-bizmutowa (taśma czarna) albo lakier olejowo-gliftalowy (taśma półprzezroczysta).

W skład taśmy wchodzą: mika ok. 50%, papier ok. 25%, lepiszcze 15 do 30%, substancje lotne ok. 6%. Taśmę mikową produkuje się zarówno flogopitową, jak i muskowitową. Jej cechą charakterystyczną jest duża giętkość w temperaturze pokojowej.

Oprócz taśmy na podstawie papierowej produkowane są również taśmy na płótnie, jedwabiu, batyście.

Mikafolia. Tak nazywamy taśmę mikową utworzoną z jednej warstwy papieru lub tkaniny oraz 2 — 3 warstw miki, powleczonych ponadto warstwą klejącego się w temperaturze lakieru. Mikafolia jest normalizowana wg GOST 3686-47.

Ostatnio zaczęto również produkować mikanit na podstawie tkanin szklanych. Wszystkie mikanity i mikafolie są produkowane zarówno z muskowitu jak flogopitu.

Mikaleks. Jest to sproszkowany muskowit zmieszany ze sproszkowanym szkłem i prasowany w płyty o grubości od 3 do 20 mm lub pręty, kształtki itp. Mikaleks był dotychczas używany szczególnie w technice wielkiej częstotliwości. Obecnie w związku z szerokim rozwojem ceramiki wielkiej częstotliwości powstaje problem, czy mikaleks powinien być w kraju produkowany? Wydaje się, że mógłby być on z powodzeniem zastąpiony odpowiednimi dielektrykami ceramicznymi.

2. Zagadnienia technologiczne.

Procesy technologiczne przy produkcji półfabrykatów i wyrobów opartych na mice można podzielić na dwie grupy. Pierwsza to przerób miki w płatkach na mikanity, taśmy itp., druga to przeróbka miki na podkładki, płytki do kondensatorów, płytki dystansowo-izolacyjne do lamp elektronowych itp.

Technologia mikanitów. Przerób miki w płatkach na taśmy i folie jest wykonywany ręcznie lub maszynowo. Przy pracy ręcznej płatki miki są jednocześnie sortowane — układane i klejone (najczęściej na specjalnych stołach z płytami szklanymi oświetlonymi od dołu), a następnie suszone i sprasowywane w odpowiedniej temperaturze i pod odpowiednim ciśnieniem. Ostatnią czynnością jest kontrola grubości i sortowania. Mikanity komutatorowe wysokiej jakości są produkowane przeważnie ręcznie, a w końcowej fazie produkcji szlifowane na dokładną grubość.

Produkcja maszynowa mikanitów lub mikafolii daje wyrób nieco niższej jakości, gdyż odpada ręczne sortowanie płatków miki, które stosuje się przy klejeniu ręcznym, jak również staranne układanie płatka po płatku. Sortowanie miki odbywa się przez odsiewanie kurzu i drobnego pyłu w obracającym się bębnie (przy jednoczesnym odsysaniu kurzu), a następnie przez sortowanie optyczne na ruchomej taśmie przechodzącej w ostatniej fazie sortowania pod separatorem magnetycznym.

Tak oczyszczoną mikę można kleić maszynowo sposobem suchym lub mokrym. Technologia ta nie jest jeszcze u nas opanowana.

Przy suchym sposobie do wieży wysokości ok. 7—8 metrów wsypuje się z góry odpowiednią ilość płatków miki oraz lepiszcza w stanie suchym (jako proszek); podczas wsypywania włącza się wentylatory, które rozdmuchują równomiernie mikę w całej wieży. Mika spadając razem z proszkiem układa się na dnie wieży (na tacach tam umieszczonych) w równą warstwę luźnych opylonych lepiszczem płatków miki tworzących przyszły arkusz mikanitu. Arkusz ten poddaje się sprasowaniu pod ciśnieniem w podwyższonej temperaturze, a następnie kontroli. Tam, gdzie miki jest za mało, dokleja się ręcznie dodatkowe płatki, zdejmując jednocześnie część miki z tych miejsc, gdzie jest jej za dużo. Po kontroli i poprawkach arkusze mikanitu, przełożone stalowymi blachami, są sprasowywane ponownie w podwyższonej temperaturze pod ciśnieniem na prasach hydraulicznych. Ostatnią operacją jest sortowanie według grubości i ewentualne wyrównywanie poszczególnych arkuszy przez szlifowanie.

Przy mokrym sposobie klejenia mikanitu płatki miki podaje się na poziomo wirujący perforowany bęben skonstruowany w ten sposób, że w czasie obrotu w jego górnej części panuje podciśnienie, a w dolnej, pod którą przesuwa się ruchoma taśma, nadciśnienie. W ten sposób płatki miki są przyssane do górnej części bębna, następnie — podczas jego obrotu — podlegają jednostronnemu polakierowaniu przez natrysk lub przez szczotkowanie; przy dalszym obrocie bębna przyssane płatki miki, przechodząc nad taśmę, zostają nadciśnieniem odepchnięte od bębna i przyciśnięte do wolno posuwającej się taśmy z ułożonymi gładkimi blachami. Dalsza obróbka tak otrzymanego mikanitu jest identyczna z obróbką mikanitu otrzymanego innymi metodami.

Produkcja mikafolii jest w zasadzie podobna, z tą różnicą, że jako podkład, na którym jest przyklejana mika, użyta jest taśma z papieru lub z tkaniny, przewijająca się z jednego wałka na drugi.

Przebieg procesu fabrykacyjnego wyrobów klejonych z miki daje się więc ułożyć w następujący schemat: a) sortowanie miki, b) klejenie jej, c) suszenie, d) prasowanie wstępne, e) kontrola grubości, f) wyrównanie grubości, g) prasowanie ostateczne, h) kalibrowanie przez szlifowanie, i) kontrola ostateczna, j) pakowanie i magazynowanie. Oczywiście, w procesie tym występuje szereg dalszych operacji technologicznych tutaj pominiętych, jak szlifowanie pasków mikanitu, klejenie, suszenie, podgrzewanie itd.

Technologia kondensatorów. Procesy technologiczne przerobu miki na płytki kondensatorowe, przekładki itd. mają zupełnie inny charakter. Są to procesy raczej o charakterze mechanicznym obejmujące: a) sortowanie płytek mikowych o grubości ok. 2 — 3 mm z punktu widzenia czystości i wtrąceń, b) sortowanie płytek mikowych o grubości ok. 2 — 3 mm według wielkości, c) dzielenie posortowanych płytek na płatki o żądanej grubości, d) kalibrowanie płatków na ścisłe klasy grubości, e) wycinanie wykrojów lub przycinanie płatków na odpowiednie wymiary, f) kontrolę gotowych wyrobów, g) pakowanie i magazynowanie.

Z zagadnień specjalnych wchodzą tu w grę zagadnienia wykonania odpowiednich narzędzi (wykrojników blokowych), które szybko się zużywają, gdyż drobne okruchy i pył mikowy szlifują i tępią je.

Równie ważnym zagadnieniem jest zagadnienie pokrywania miki cienkimi warstwami srebra. Zagadnienie to zostało rozwiązane w kraju w 1950 r. (srebrzenie na drodze ogniowej) i od tego czasu są produkowane w kraju kondensatory mikowe. Produkuje się dwa zasadnicze asortymenty kondensatorów (o małych pojemnościach): zwykłe radiowe i hermetyzowane przez oprasowanie w bakelicie (wg GOST). Inne typy kondensatorów, np. wysokonapięciowe specjalne, pomiarowe dokładne itd., są wykonywane sporadycznie przez różne pracownie naukowe.

3. Mika syntetyczna.

Światowe źródła miki są nieliczne i tylko niektóre kraje rozporządzają nimi. Ten stan rzeczy spowodował rozpoczęcie badań idących w kierunku otrzymania miki syntetycznej. W wyniku tych prac otrzymano kryształy czystej miki syntetycznej, której własności nie różniły się niczym od miki naturalnej. Jedyną wadą otrzymanej miki są zbyt małe kryształy; płytka otrzymana przez połupanie kryształu miała powierzchnię najwyżej 25 cm^2. Większych kryształów dotychczas nie udało się uzyskać.

Skład chemiczny miki syntetycznej różni się nieco od składu miki naturalnej. Wobec tego, że mika syntetyczna jest wytwarzana w wysokich temperaturach, jest ona pozbawiona drobiny H_2O, natomiast w skład jej wchodzi drobina fluoru F. Wzór chemiczny miki syntetycznej jest następujący:

$$K_4Mg_{12}Al_2Si_{12}O_{40}F_8.$$

Fluor gra tu niejako rolę aktywatora przy przebiegu krystalizacji.

Sam proces wytwarzania miki syntetycznej przebiega w dwóch stadiach.

Pierwsze stadium to przetopienie w temperaturze 1000°C składników, z których w czasie wytopu trzeba wydalić wodę i dwutlenek węgla, przeszkadzające formowaniu się kryształów.

Drugie stadium wytopu przebiega w wyższej temperaturze ok. 1400°C. Do tego wytopu konieczne są tygle platynowe, gdyż fluor rozpuszcza tygle ceramiczne i psuje wytop domieszkami ze składników tygli, zaś z tygli grafitowych wydzielają się gazy również psujące wytop *).

4. Kontrola.

K o n t r o l a s u r o w c a. Kontrola ta polega głównie na sortowaniu miki z punktu widzenia rodzajów wtrąceń, czystości, wielkości. Pomiary elektryczne przeprowadza się tylko na pobranych próbkach miki i określa się przeciętne wartości wielkości elektrycznych dla danej partii z danej dostawy.

Sortowanie odbywa się na specjalnych stanowiskach oświetlanych od spodu. Mikę posortowaną i rozdzieloną według gatunków przeznacza się na te lub inne wyroby. Wielkość płatków miki oznacza się specjalną numeracją wg tzw. „szablonu indyjskiego". Polskich norm na mikę jeszcze nie ma. W Związku Radzieckim mika jest ujęta normą GOST 3028-45. W Anglii klasyfikację miki opracowała British Research Association.

K o n t r o l a w y r o b ó w. Kontrola ta polega głównie na pomiarach ich własności dielektrycznych i termicznych. Norm polskich nie ma. Związek Radziecki ma opracowane następujące standarty: Mikanit komutatorowy — GOST 2196-43, Mikanit do formowania — GOST 6112-52, Mikanit przekładkowy — GOST 6121-52, Mikanit giętki — GOST 6120-52, Mikafolia — GOST 3686-47, Mikataśma — GOST 4268-48. Znormalizowano w nich ogółem 35 gatunków wyrobów z miki; jeśli dodamy jeszcze mikanit grzejnikowy, mikalex i folię na podstawie tkaniny szklanej, to otrzymamy zbiór około 40 różnych wyrobów z miki.

5. Zagadnienia ekonomiczne.

Ź r ó d ł a m i k i. Mika występuje w przyrodzie w wielu miejscach, jednak w tak małych kryształach i tak zanieczyszczona, że w praktyce dla przemysłu elektrotechnicznego są przydatne tylko nieliczne jej źródła, znajdujące się w Indiach (Madras, Bombaj i Kalkuta), na Madagaskarze, w Argentynie, Kanadzie, Brazylii i Stanach Zjednoczonych. Mniejsze znaczenie mają pokłady w Norwegii, Finlandii, Jugosławii, Afryce (Mozambik, Abisynia). Związek Radziecki posiada również kopalnie miki w Karelii, na Ukrainie, w Pamirze, w Tajmyrze i nad brzegiem Morza Północnego.

Najlepsza i najczystsza mika pochodzi z Indii, które w roku 1930 na ogólne wydobycie światowe 5500 ton dostarczyły 4200 ton, tj. ok. 75%. Kalkuta i Madras wydobywają tylko muskowit.

I m p o r t. Polska własnych źródeł miki nie posiada i zdana jest na import. W ostatnim trzechleciu (1952-54) import ten kształtuje się w wysokości ok. 115 ton rocznie. Należy tu rozróżnić dwie grupy importowe: (a) pośledniejsze gatunki miki nadające się do produkcji mikanitów itp. materiałów izolacyjnych, (b) wyborowe gatunki — używane w radiotechnice i elektronice. Import miki w grupie (a) wynosi ok. 100 t rocznie i przedstawia wartość ok. 560 000 zł (łącznie z narzutami importowymi), w grupie zaś (b) wynosi ok. 15 t rocznie o wartości ok. 2 100 000 zł (z narzutami).

Import mikanitów z roku na rok maleje i obecnie praktycznie prawie nie istnieje.

6. Wnioski i tezy.

Wprawdzie ilości i koszty importowanej miki są stosunkowo nieduże, jednak import tego materiału, szczególnie wyższych gatunków, napotyka dość duże trudności. Ponieważ zastąpienie miki innymi surowcami jest często niemożliwe, warto poddać dyskusji celowość opanowania produkcji miki syntetycznej z krajowych surowców, mimo dość wysokich kosztów, których te prace będą wymagać.

Polskie normy nie obejmują miki; lukę tę należy wypełnić przez opracowanie odpowiednich norm, opierając się na normach zagranicznych (szczególnie radzieckich). Akcja ta powinna być przeprowadzona przez Polski Komitet Normalizacyjny w porozumieniu z producentami wyrobów z miki, jak również z ich najważniejszymi odbiorcami, którzy określą, jakie normy są konieczne i jaka powinna być kolejność ich opracowywania.

*) Literatura dotycząca miki syntetycznej: 1) Mica Industry, B. I. O. S., 785, 2) Synthetic Mica Research, F. I. A. T. 746, 3) Crucibles for Synthetic Mica Revel, F. I. A. T. 1050, 4) Ostheim, Germany Synthetic Mica Process, C. I. O. S. XII-11, 5) Regulator Intergrowth of Synthetic Phlogof with Hydrous Mica, F. I. A. T. 749, 6) Report of Investigation of Prod. of Synthetic Crystals in Germany and Copenhagen, B. I. O. S. 552, 7) Electronics, March 1950.

VIII. MATERIAŁY DLA ELEKTRONIKI

MGR E. MAKSYMOWICZ
Zakł. Wytw. Lamp. Elektr. im. R. Luksemburg

Szkła lampowe

621.3!5.612.6:621.3.086

T r e ś ć. Rodzaje szkła lampowego stosowane w przemyśle lampowym w III kwartale 1954 r. Parametry masy szklanej i części szklanych wymagające kontroli i wpływ tych parametrów na stapianie poszczególnych detali szklanych ze sobą i wtapianie metali w szkło. Charakterystyka istniejących warunków technicznych i metod kontroli. Sugestie w sprawach produkcji szkła lampowego oraz badań prowadzonych przez Instytut Badawczy Szkła i laboratoria badawcze przyzakładowe.

1. Rodzaje szkieł lampowych i ich zastosowanie.

Lampa elektronowa czy żarówka jest to — z punktu widzenia techniki szklanej — konstrukcja szklana, ograniczająca „przestrzeń próżnioszczelną" i składająca się z części wykonanych ze szkła różnych rodzajów. Przez szkło tej konstrukcji przechodzą przepusty metalowe. Żarówka na przykład składa się z pięciu różnych części szklanych. Są nimi: 1) płaszcz szklany z wprasowanymi przepustami z drutu „płaszczowego", który składa się z rdzenia żelazo-niklowego pokrytego powłoką miedzianą określonej grubości; 2) nóżka — pręcik szklany wprasowany w płaszcz i utrzymujący skrętkę metalową; 3) rurka pompowa wtopiona w płaszcz; 4) balon — bańka szklana osłaniająca wnętrze lampy; 5) trzonek — część konstrukcji szklanej wkręcana do oprawki. Płaszcz, nóżka i rurka pompowa są zrobione ze szkła ołowiowego „O", balon ze szkła wapniowo-sodowego „W", trzonek ze szkła manganowego „MN". Pięć szklanych części żarówki wykonywa się więc z trzech różnych gatunków szkła.

Lampy elektronowe małej mocy (lampy radiowe) dzielą się z punktu widzenia techniki szklanej na płaszczowe i talerzykowe (zwane często całoszklanymi).

Lampa płaszczowa składa się z następujących części szklanych: 1) płaszcz, 2) rurka pompowa, 3) balon, 4) w niektórych typach — perełka wtapiana w balon, przez którą przechodzi przepust z drutu płaszczowego. Części 1), 2) i 4) są wykonane ze szkła ołowiowego „O", część zaś 3) ze szkła wapniowo-sodowego „W".

Lampa całoszklana składa się z następujących części szklanych: 1) talerzyk — okrągła podstawka z wprasowanymi przepustami z drutu sporządzonego ze stopu żelaza z chromem; 2) rurka pompowa; 3) balon; 4) w niektórych typach — perełka wtapiana w rurkę pompową, przez którą przechodzi przepust metalowy z drutu płaszczowego. Część 1) jest wykonana ze szkła ołowiowego „O1", część 2) i 4) ze szkła ołowiowego „O", część zaś 3) ze szkła wapniowo-sodowego „W".

W lampach elektronowych nadawczych różnych typów wzrasta liczba części szklanych, przekraczając w niektórych typach 10, przy czym wzrasta także liczba gatunków szkła używanego do ich wyrobu.

W Polsce w II kwartale 1954 r. stosowało się w przemyśle lampowym następujące rodzaje szkieł: 1) szkło ołowiowe — trzy odmiany znacznie różniące się swymi własnościami: ta-

lerzykowe „O1", rurkowe „O" i mało-sodowe (np. szkło talerzykowe „O1" różni się od szkła rurkowego „O" współczynnikiem rozszerzalności liniowej i charakterystyką lepkości; szkło mało-sodowe różni się od dwu poprzednich szkieł stratnością dielektryczną); 2) szkło wapniowo-sodowe „W" stosowane głównie na balony; 3) szkła kolorowe-mleczne, czerwone, zielone, żółte na balony do lamp oświetleniowych, fotograficznych itp.; 4) szkło uwiolowe „UV" przepuszczające nadfiolet do długości fali 3650 Å na balony; 5) szkło manganowe „MN" na trzonki do żarówek; 6) szkło molibdenowe „MO" do lamp nadawczych; 7) szkło „F" do złącz z Fe-Ni-Co (stop z tych trzech metali).

W tymże II kwartale 1954 r. zaszła konieczność opracowania następujących dalszych szkieł: 8) szkło „twarde" do złącz molibdenowych o małej stratności dielektrycznej; 9) szkło wolframowe; 10) szkło miękkie do łączenia z żelazem; 11) szkło przepuszczające nadfiolet do długości fali 2550 Å.

2. Rozwój produkcji poszczególnych rodzajów szkła.

Przed wojną polski przemysł lampowy był w rękach kapitału obcego (holenderskiego). W Polsce montowano lampy z surowców sprowadzanych z Holandii. Produkowano wprawdzie balony do żarówek i lamp radiowych, jednak żadnych laboratoriów do badania szkła lampowego w Polsce nie było. Dyspozycje w sprawach produkcji szkła przychodziły z Holandii.

Po wojnie przemysł lampowy objęło państwo. Powstało wtedy zagadnienie produkowania surowców niezbędnych do rozwoju przemysłu lampowego. Zorganizowano w kraju produkcję szkła. Przy wydatnej pomocy ZSRR opanowano produkcję i metody kontroli następujących szkieł lampowych: a) szkło ołowiowe, rurkowe „O", b) szkło wapniowo-sodowe „W", c) szkło ołowiowe „O1", d) niektóre gatunki szkła kolorowego, e) szkło uwiolowe „UV" przepuszczające nadfiolet do długości fali 3650 Å, 7) szkło manganowe „MN". W trakcie opanowywania jest produkcja szkła molibdenowego „MO" i szkła „F" do złącz z Fe-Ni-Co. Do produkcyjnego opanowania przybywa z każdym rokiem coraz to nowy gatunek szkła.

Pomimo tych osiągnięć występują jednak stałe kłopoty nawet z opanowaną już produkcją, wynikające z braku odpowiedniego wyposażenia hut, z niewłaściwych materiałów ogniotrwałych, z braku dobrze wyposażonych laboratoriów przy hutach, braku aparatury kontrolnej, braku fachowców, płynności kadr itp. Trudności te zwiększają się w miarę wzrostu zapotrzebowania szkła lampowego i w miarę wzrostu zapotrzebowania nowych gatunków szkła, których produkcja jest bardziej skomplikowana niż produkcja już wytwarzanych szkieł.

3. Zagadnienie technologii szkieł lampowych.

Zagadnienie łączenia szkła ze szkłem. Zasadniczą rolę przy stapianiu ze sobą dwóch szkieł odgrywa współczynnik rozszerzalności. Jeżeli stapia się ze sobą dwa szkła, o tym samym współczynniku rozszerzalności, to przy stygnięciu oba szkła kurczą się jednakowo i nie powstają stany naprężeń. Jednak, praktycznie biorąc, nie można uzyskać dwóch wytopów szkła o tym samym współczynniku rozszerzalności. Przy uważnym i wnikliwym kierowaniu wytopami można produkować szkło, którego współczynnik rozszerzalności mieści się w pewnych określonych granicach — tym mniejszych, im bardziej jest opanowana produkcja danego szkła.

Jeśli stapia się ze sobą dwa szkła o różnym współczynniku rozszerzalności, to przy stygnięciu szkło o większym współczynniku rozszerzalności kurczy się bardziej i wywołuje w drugim szkle naprężenia ściskające, natomiast szkło, które ma mniejszy współczynnik rozszerzalności kurczy się mniej i wywołuje w pierwszym szkle naprężenia rozciągające w kierunku stycznym do złącza obu szkieł. Naprężenia wywołane różnicą współczynników rozszerzalności są stałe i stan taki może wywołać pęknięcie złącza, jeżeli wielkość naprężeń przekracza granice wytrzymałości danego szkła. Dlatego też granice współczynników rozszerzalności poszczególnych gatunków szkła są ustalane i kontrolowane.

Dla przykładu ustalania tolerancji na współczynnik rozszerzalności szkła rozpatrzmy tolerancje dla lampy radiowej całoszklanej. Jak już wspomniano wyżej, lampa radiowa całoszklana składa się z trzech części szklanych. Ażeby całość nie pękała po stopieniu poszczególnych części i ażeby lampa była próżnioszczelna, należy odpowiednio dobrać współczynnik rozszerzalności wszystkich trzech gatunków szkła i nie przekraczać pewnych z góry ustalonych tolerancji. Zasadniczą rolę przy ustalaniu tolerancji dla współczynników rozszerzalności poszczególnych części szklanych w lampie radiowej całoszklanej odgrywa talerzyk. Wielkość współczynnika rozszerzalności szkła talerzykowego dyktuje współczynnik rozszerzalności metalu, z którego zrobione są przepusty metalowe wprasowane w talerzyk. Talerzyk jest wyprodukowany ze szkła ołowiowego „O1" i ma średni współczynnik przy temperaturze 20 ÷ 450°C — $\alpha_{20\div450°C} \approx 113 \cdot 10^{-7}$. Ustalone tolerancje współczynnika rozszerzalności przy temperaturze 450°C wynoszą: $-0{,}5 \cdot 10^{-7} \div +0{,}8 \cdot 10^{-7}$. Rurka pompowa wykonana ze szkła ołowiowego „O" ma średni współczynnik przy temperaturze 20 ÷ 450°C — $\alpha_{20\div450°C} \approx 111 \cdot 10^{-7}$, tolerancje zaś przy temperaturze 450°C wynoszą: $-0{,}5 \cdot 10^{-7} \div +1{,}5 \cdot 10^{-7}$. Balon sporządzony ze szkła sodowo-wapniowego „W" ma współczynnik $\alpha_{20\div450°C} \approx 118 \cdot 10^{-7}$, ustalone zaś tolerancje wynoszą $-1 \cdot 10^{-7} \div +3 \cdot 10^{-7}$.

Ustalanie tolerancji dla współczynnika rozszerzalności szkieł jest sprawą trudną. Wymaga wnikliwej obserwacji produkcji i całego szeregu dokładnych pomiarów. Jednak bez ustalonej tolerancji współczynnika rozszerzalności szkła i jego stałej kontroli niemożliwa jest produkcja lampy żadnego — nawet najprostszego — typu.

Drugim ważnym parametrem przy łączeniu dwóch szkieł jest ich lepkość. Pomiary lepkości szkła w funkcji temperatury przeprowadza się metodą Zschimmera (por. np. „Szkło i Ceramika", nr 6, 7, 1948 r.). Przebieg krzywej lepkości szkła w funkcji temperatury wyznacza się z trzech punktów, a mianowicie dla temperatur, przy których logarytm lepkości wynosi:

$\lg\eta = 14{,}6$ — tzw. najniższa temperatura odprężania,
$\lg\eta = 13{,}4$ — tzw. najwyższa temperatura odprężania,
$\lg\eta = 7{,}6$ — temperatura mięknięcia szkła.

Poza tym podaje się tolerancje temperatur dla tychże lepkości.

Wagę zagadnienia lepkości ocenia się przy obserwacji procesu stapiania poszczególnych szkieł. Lepkość i grubość części szklanych musi być tak dobrana, ażeby czas mięknięcia dwóch części szklanych, stapianych ze sobą, był jednakowy. W przeciwnym razie jedna z części mięknie szybciej niż druga, stopienie jest niedostateczne, co wyklucza użycie takiego złącza w lampie próżniowej.

Poszczególne gatunki szkła mają także ustaloną wartość i tolerancje przewodnictwa elektrycznego (metodę badań ob. „Szkło i Ceramika" nr 11, 1953 r.). Zagadnienie to jest ważne szczególnie dla szkieł, w które są wtapiane przepusty metalowe. Szkło zachowuje się jak elektrolit. Po doprowadzeniu napięcia do przepustów metalowych jony sodu zaczynają wędrować z masy szklanej do przepustów, przez co zostaje naruszony skład szkła i powstają pęknięcia. Ponieważ przewodnictwo szkła wzrasta z temperaturą, przeto podaje się dla poszczególnych szkieł wartość temperatury, przy której pręcik szklany o określonych wymiarach ma określony opór właściwy.

Ważnym parametrem części szklanych jest poza tym ich grubość. Grubość i lepkość musi być dobrana z całą precyzją, gdyż niewłaściwa grubość jednej z części szklanych powoduje pękanie całej lampy przy obróbce cieplnej i stratę dużej ilości cennych części sporządzonych z całą precyzją z surowców często jeszcze importowanych. Dlatego też każda część szklana ma ustaloną grubość i jej tolerancję. Przed wejściem do produkcji każda część jest kilkakrotnie i dokładnie kontrolowana.

Innym zagadnieniem jest równomierna grubość części. Tolerancje równomiernej grubości są mniejsze niż tolerancje grubości i są ustalone oddzielnie, niezależnie od tolerancji grubości.

Części szklane nie mogą zawierać w masie szklanej kamieni, pęcherzy, wtopionych obcych ciał, kapilar, smug ani żadnych innych wad, które osłabiają wytrzymałość mechaniczną szkła i mogą powodować nieszczelności w lampie.

Zagadnienie łączenia szkła z metalem. Łączenie szkła z metalem jest zabiegiem trudniejszym niż łączenie szkła ze szkłem.

Krzywe rozszerzalności wszystkich szkieł mają podobny przebieg. Różnice współczynników rozszerzalności dwu szkieł w temperaturze powyżej 300°C są niewielkie, brak jest załamań krzywej rozszerzalności aż do temperatury mięknienia szkła.

Takie metale, jak molibden, wolfram, mają prostoliniowy przebieg krzywej rozszerzalności w funkcji temperatury, natomiast krzywe rozszerzalności żelaza i jego stopów mają kilka załamań w punktach przemian magnetycznych. Załamania te są bardzo niebezpieczne dla złącza szkła z metalem. Dla takich przypadków łączenia szkła z metalem punkt transformacji szkła, tj. w przybliżeniu punkt przejścia szkła ze stanu kruchego w plastyczny, powinien występować w temperaturze niższej, niż temperatura punktu załamania krzywej rozszerzalności metalu. Poza tym należy dobierać do stapiania szkło o takiej krzywej rozszerzalności, ażeby różnice krzywych rozszerzalności metalu i szkła nie powodowały pękania złącza. Dopuszczalne tolerancje współczynników rozszerzalności dla szkła i metalu przy łączeniu ich ze sobą wynoszą w przybliżeniu 10% współczynnika rozszerzalności samego metalu. Ażeby tolerancje te dokładnie ustalić, wykonuje się pomiary rozszerzalności szkła i metalu, wyznacza się dilatometrycznie punkty przemian magnetycznych i różnice współczynników rozszerzalności. Należy przy tym zwracać uwagę na to, że krzywa rozszerzalności metali ferromagnetycznych — po nagrzaniu ich powyżej punktu przemiany, następnie po ostudzeniu metalu i powtórnym nagrzaniu — nie ma poprzedniego przebiegu.

Prócz współczynnika rozszerzalności bardzo ważną rzeczą dla złączy szkło-metal jest także przyleganie szkła do metalu. W tym zagadnieniu dominującą rolę odgrywa prędkość tworzenia się tlenków metalu oraz ich rozpuszczalność w szkle. Najczęściej szkło nie przylega dobrze do czystego metalu, natomiast przylega dobrze do tlenków niektórych metali. Ustalenie technologii otrzymywania tlenków metali rozpuszczalnych w szkle jest zagadnieniem trudnym.

N a p r ę ż e n i a w s z k l e. Naprężenia w szkle są bezpośrednią przyczyną jego pękania. Występują dwa rodzaje naprężeń w szkle: naprężenia tzw. termiczne, które powstają podczas ogrzewania szkła, i naprężenia stałe, wywołane stale działającą siłą. Naprężenia termiczne wywołane są naciskiem jednych cząstek szkła na drugie, spowodowanym nierównomiernym rozkładem temperatury w całej masie szklanej wskutek złego przewodnictwa cieplnego szkła. Naprężenia termiczne można usunąć przez proces odprężania. Odprężanie polega na podgrzaniu szkła do odpowiedniej temperatury charakterystycznej dla danego gatunku szkła i powolnym jego ochłodzeniu. Krzywe odprężania szkła (krzywe zmian temperatur w funkcji czasu) są zależne od gatunku szkła odprężanego, grubości części szklanej i temperatury odprężania. Krzywe odprężania są wyznaczane dla każdej części oddzielnie.

Naprężenia stałe powstają pod działaniem siły działającej stale. Siła taka występuje przy różnicy współczynników rozszerzalności dwóch stopionych ze sobą szkieł lub szkła i metalu, przy wtopionym w szkło kamieniu lub żelazie, przy smugach w szkle wywołanych niejednorodnością masy szklanej i szeregu innych przyczyn. Naprężeń takich nie można usunąć przez proces odprężania. Jednak wielkość ich można regulować temperaturą odprężania, np. w złączu szkło-metal.

4. Zagadnienia warunków technicznych.

Ostatnio przyjęto następujący schemat podziału warunków technicznych na szkło i wyroby szklane: 1) normy na surowce szklane, 2) normy na masę szklaną, 3) normy ogólne na poszczególne rodzaje części szklanych, na przykład części dmuchane, części prasowane, rurki, pręty, perełki, 4) normy szczegółowe na poszczególne typy części szklanych, na przykład balony do lamp całoszklanych.

Niestety, nie mamy dotychczas w kraju kompletu norm państwowych nawet na surowce szklane. Ponadto nie ma żadnej polskiej normy na masę szklaną, ani na wyroby szklane. Przemysł lampowy posługuje się dotychczas tymczasowymi normami zakładowymi. Ciągle jeszcze trwają pertraktacje pomiędzy przemysłem lampowym a przemysłem szklanym na temat norm. Przemysł lampowy chciałby otrzymać możliwie najlepszy materiał, ale materiał produkowany przez przemysł szklany często nie odpowiada wymaganiom przemysłu lampowego. Ustalone normy są stale zmieniane w zależności od możliwości produkcyjnych przemysłu szklanego. W tych warunkach norma państwowa albo nie odpowiadałaby wymaganiom przemysłu lampowego, albo byłaby nierealna dla przemysłu szklanego.

Obecnie najbardziej ustabilizowaną normą zakładową tymczasową jest norma na balony do lamp radiowych całoszklanych i balony do lamp elektrycznych. Wszelkie próby projektów norm państwowych na masę szklaną i inne części

Tablica I

Rodzaj części	1955	1956	1957	1958	1959	1960
Szkło ołowiowe						
Rurki	1	1,5	2,2	2,5	3	3,8
Części prasowane	1	1,2	1	0,9	0,8	0,7
Szkło ołowiowe o małej stratności dielektrycznej						
Rurki	1	3,7	1,50	22,5	37,0	45,0
Balony	1	2,5	5	7,5	10	12,5
Szkło wapniowo-sodowe						
Rurki	1	1,7	2,5	3,1	3,7	4,5
Balony A	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Balony B	1	1,6	1,7	2,2	2,5	2,8
Balony C	1	1,2	1,25	1,3	1,35	1,38
Balony D	1	1,3	1,5	2	2,6	3,25
Rury jarzeniowe	1	1,1	1,4	1,6	1,9	2,25
Szkło manganowe						
Pręty	1	1,8	2	2,5	2,8	3,2
Szkło manganowo-ołowiowe						
Pręty	1	1,1	1,2	1,5	1,6	1,75
Szkło mleczne						
Balony	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Szkło niebieskie						
Balony	1	1,5	2,5	3	4	4,5
Szkło przepuszczające nadfiolet						
Balony	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Szkło molibdenowe						
Części dmuchane	1	1,8	3,3	13	21	25
Części prasowane	—	1	10	60	60	80
Rurki	1	2,2	3,5	4	7	8,5
Szkło do złącz Fe-Ni-Co						
Rurki	1	2,5	5	10	15	25
Szkło molibdenowe twardsze						
Rurki	1	2	3	5	7,5	10
Szkło wolframowe						
Detale dmuchane	—	1	2	4	6	8
Detale prasowane	—	1	2,5	5	7,5	10
Rurki	—	1	2	4	5	5
Szkło twarde specjalne						
Rurki, balony, części prasowane	początek produkcji w 1957 r.					
Szkło „nonex"						
Balony	1	2	4	6	8	10
Rurki	1	2	4	6	8	10

szklane były nieudane i nie uwzględniały zasadniczych żądań przemysłu lampowego. Sytuacja wymaga uregulowania. Można przypuszczać, że najszybciej sprawa ta zostałaby uregulowana wtedy, gdyby produkcja szkła lampowego przeszła do przemysłu lampowego; w przeciwnym przypadku targi będą trwały jeszcze długo — kilka lub kilkanaście lat.

5. Zagadnienie kontroli technicznej i braków.

K o n t r o l a m a s y s z k l a n e j. Każda część szklana przed oddaniem do produkcji jest kontrolowana. Kontrolę masy szklanej wykonywa zawsze przemysł szklany i wyrywkowo przemysł lampowy. Przemysł szklany kontro-

luje tylko współczynnik rozszerzalności. Przemysł lampowy kontroluje wyrywkowo współczynnik rozszerzalności, lepkość i przewodnictwo elektryczne. Wyniki kontroli współczynnika rozszerzalności powinny pociągać za sobą ewentualne poprawienie masy szklanej; jednak raz wytopiona masa szklana, nawet o niewłaściwym współczynniku rozszerzalności, idzie często do dalszej produkcji. Wyniki badań współczynnika rozszerzalności przemysłu szklanego nie zawsze są dokładne ze względu na brak odpowiednich urządzeń i płynność kadr; z tych samych powodów przemysł szklany nie przeprowadza żadnych innych pomiarów parametrów masy szklanej.

Kontrola przemysłu szklanego jest więc niewystarczająca. Ażeby przemysł lampowy mógł ze swej strony właściwie ustawić wstępną kontrolę masy szklanej, szkło musi być pakowane poszczególnymi wytopami z oznaczeniem daty wytopu oraz numeru pieca i donicy. Tylko wtedy kontrola wyrywkowa da pożądane rezultaty. Jednak przemysł szklany — mimo żądań przemysłu lampowego — ma trudności w pakowaniu szkła wytopami, ponieważ ma jedną tylko ciągownię, w której podczas odprężania cała produkcja ulega pomieszaniu. Jeżeli kontrola przemysłu lampowego wykryje części szklane o niewłaściwym współczynniku rozszerzalności, wówczas cała partia jest odrzucana, co nie zawsze może być słuszne, lecz jest konieczne właśnie ze względu na to, że poszczególne wytopy nie są oddzielnie pakowane. Sytuacja taka wymaga szybkiej reformy. Jednak właściwe pakowanie wytopami jest praktycznie nieosiągalne póty, póki szkło lampowe będzie produkowane w przemyśle szklanym, a nie w przemyśle lampowym.

Kontrola części szklanych. Części szklane kontroluje przemysł szklany w 100 procentach; przemysł lampowy kontroluje je wstępnie wyrywkowo, a przed wejściem części do produkcji w 100 procentach. Kontrola polega na sprawdzeniu, czy część odpowiada warunkom podanym w normie.

6. Wytyczne i dezyderaty dla dalszych badań ze wskazaniem ośrodków badawczych.

Sugestie co do wyposażenia i zakresu prac ośrodków badawczych. Produkcja szkła lampowego powinna być oparta na silnym zapleczu naukowym. Jeden z istniejących instytutów powinien zainteresować się szczególnie następującymi problemami dotyczącymi produkcji szkła lampowego: 1) wyszukiwanie najbardziej odpowiednich surowców, 2) określenie materiałów ogniotrwałych, ich badanie i zastosowanie do budowy pieców do topienia szkła, 3) zamiana poszczególnych zestawów szkła, podyktowana względami ekonomicznymi i jakością szkła, 4) badanie wpływu składników szkła na poszczególne jego własności (szczególnie przyleganie do metali, współczynnik rozszerzalności, wytrzymałość termiczna i mechaniczna), 5) budowa pieców szklarskich, 6) ekonomiczna gospodarka gazem, służącym do wytopów szkła.

Instytut naukowy prowadzący te badania powinien stale interesować się bieżącą produkcją szkła i być z nią ściśle związany.

Sugestie co do produkcji szkła lampowego. Ażeby przemysł lampowy mógł pracować bez przestojów, konieczny jest odpowiedni rozwój produkcji szkła lampowego, zerwanie z obecnymi przestarzałymi metodami pracy przypominającymi stan nieomal chałupniczy. Produkcja szkła lampowego nie nadąża za produkcją lamp, a nawet ją hamuje, powodując przestoje z powodu braku dostaw szkła. Przemysł lampowy nastawiony jest na prace precyzyjne, pracochłonne (np. zwykła lampa radiowa przechodzi w swej produkcji około 500 operacji), natomiast przemysł szklany pracuje metodami „grubymi" nie wnikając we własności produkowanego szkła, nie mając ani odpowiedniego laboratorium, ani odpowiednich przyrządów kontrolnych. Rezultat jest taki, że przemysł lampowy często nie przyjmuje szkła wyprodukowanego przez zakłady szklarskie. Zaczynają się wówczas targi międzyzakładowe, zatrzymuje się produkcję pewnego typu części szklanych i zmusza się ostatecznie zakłady lampowe do przyjęcia nieodpowiedniego szkła groźbą przerwy w produkcji lamp.

Żeby zmienić stan powyższy, należy przede wszystkim zapewnić zakładom lampowym odpowiednią ilość i jakość części szklanych. Obecnie zakłady szklane nie są w stanie pokryć zapotrzebowania na szkła ze strony zakładów lampowych. Poza tym zakłady szklane i lampowe są położone daleko od siebie. Procent braków z winy transportu nie jest do pominięcia. Zakłady szklane nie są wyposażone ani w odpowiednie materiały ogniotrwałe, ani w gaz, ani w maszyny. Często brakuje im także surowców.

Powyższy stan rzeczy długo istnieć nie może, ponieważ uniemożliwia rozwój produkcji lamp. Zamiast wyposażać dotychczasowe huty położone daleko od zakładów lampowych, należałoby pobudować nowe, odpowiednio wyposażone i położone blisko. Przemysł lampowy potrzebuje do produkcji całego szeregu różnych części szklanych, których wykonanie i obróbka są skomplikowane i wymagają wielkiej dokładności; poza tym nie wszystkie gatunki szkła mogą być topione w jednym pomieszczeniu. Względy te wskazują na potrzebę wybudowania nowego kompleksu budynków do produkcji szkła, do wykończania części, do sortowania, do magazynowania surowców i materiałów ogniotrwałych, do magazynowania części szklanych itd. Zadaniem hut szklanych będzie dostarczanie zakładom lampowym odpowiedniej ilości części szklanych o wymaganej jakości.

Produkcja szkieł lampowych powinna być korygowana i badana przez produkcyjne laboratorium badawcze, które powinno się zająć następującymi problemami: 1) kontrola i analiza głównych własności materiałów ogniotrwałych, 2) analiza surowców do wyrobu szkła, 3) badanie własności masy szklanej, 4) kontrola temperatury i termoelementów w piecach szklarskich, 5) kontrola kaloryczności, ciśnienia i zużycia gazu świetlnego, 6) ustalanie i kontrola przepisów technologicznych dla produkcji szkła, 7) prace badawcze nad produkcją szkła i obróbką przepustów metalowych, 8) badanie złącza szkła z metalem i szkła ze szkłem.

Tylko dobrze zorganizowane i wyposażone huty, położone w pobliżu zakładów lampowych, będą mogły zaopatrywać te zakłady w odpowiednią ilość części szklanych o wymaganej jakości.

Dla zilustrowania konieczności rozwoju przemysłu szklanego podano w tabl. I przewidywany wzrost zapotrzebowania szkła ze strony przemysłu lampowego w planie 5-letnim. Jako jednostkę przyjęto w tej tablicy zapotrzebowanie w roku 1955 lub (dla nowych części) w roku rozpoczęcia produkcji.

Sprawa domaga się natychmiastowego rozwiązania, ponieważ już obecnie zakłady szklane nie są w stanie zaspokoić zapotrzebowania zakładów lampowych w odpowiednie szkło.

MGR INŻ. KAZIMIERZ MALIKOWSKI
Zakład L-1, Warszawa

Spoiwa

621.326.63/.632

Treść. Własności surowców używanych do produkcji kitów w przemyśle lampowym. Kilka typowych składów past. Zagadnienie norm surowcowych.

1. Wstęp.

Uruchomienie w okresie powojennym w Polsce masowej produkcji żarówek i lamp radiowych wysunęło problem opracowania — na podstawie surowców krajowych — spoiw (tzw. kitów) do łączenia cokołów z bańkami szklanymi lamp elektrycznych. Zastosowano do tego celu żywice syntetyczne termoutwardzalne z odpowiednimi wypełniaczami mineralnymi i rozpuszczalnikami organicznymi.

Spoiwa stosowane w zakładach przemysłowych produkujących lampy elektryczne muszą być dobrej jakości, gdyż odklejanie się cokołów powoduje wadliwe działanie lub nawet zniszczenie lampy.

2. Dane technologiczne.

Spoiwa do cokołowania przyrządza się zwykle w zakładzie produkującym lampy. Do tego celu potrzebny jest zespół prostych urządzeń, jak stalowy młyn kulowy do rozdrabniania materiałów, suszarka ogrzewana do suszenia wstępnego surowców i mieszalniki mechaniczne do uzyskiwania kitów o konsystencji mazistej. Główny składnik — żywicę syntetyczną fenolowo-formaldehydową w rodzaju nowolaku lub bakelitu „A" — rozdrabnia się mechanicznie z dodatkiem różnych plastyfikatorów, jak kalafonia lub szelak, i miesza się dokładnie z wypełniaczem nieorganicznym (kreda szlamowana, mączka marmurowa, litopon i inne). Uzyskaną mieszaninę doprowadza się w mieszalniku mechanicznym do stanu masy

o dużej lepkości, stosując jako składnik płynny alkohol etylowy.

W przypadku użycia żywic nowolakowych utwardzalnych pośrednio na gorąco (180°C), konieczne są małe dawki urotropiny jako środka utwardzającego. Żywice typu bakelitu „A" utwardzają się na gorąco samorzutnie bez żadnych dodatków. Gotowe spoiwo po kontroli lepkości przekazuje się do stanowisk produkcyjnych, gdzie w sposób mechaniczny jest nakładane na cokoły. Ilość kitu przypadająca na jedną lampę waha się w granicach od 2 do 4 g. Bańkę szklaną ze świeżo przyklejonym cokołem umieszcza się w szablonie metalowym w celu wytworzenia odpowiedniego nacisku cokołu na szkło i ogrzewa się w obrotowej maszynie gazem świetlnym aż do utwardzenia kitu. Czas utwardzania wynosi około 10 minut. Wskaźnikiem ukończenia procesu jest zmiana barwy zieleni malachitowej, której w tym celu dodaje się do kitu.

Lampy osadzone na cokole bada się na trwałość, trzymając je w wodzie — w termostatach o temperaturze około 60°C — przez 24 godziny, a następnie mierząc wytrzymałość kitu na skręcanie. Najmniejsza wartość momentu skręcającego powinna wynosić około 30 cm. kG.

Żywice nowolakowe odznaczają się dużą rozszerzalnością cieplną, co powoduje podczas utwardzania duże ciśnienie na szkło bańki. Zjawisko to wywołuje naprężenia w szkle i pękanie lamp. Pęknięcia mogą występować jeszcze podczas magazynowania, a nawet u odbiorcy. Z tego powodu nie stosuje się w praktyce kitów, których jedynymi składnikami klejącymi są żywice nowolakowe. Małe dodatki kalafonii, szelaku lub innych zmiękczaczy nadają spoiwu elastyczność i przeciwdziałają silnemu zgniotowi, chroniąc szkło od pękania.

Oprócz żywic nowolakowych stosuje się do wyrobu kitów rezole (bakelity „A"). Produkty te utwardzają się na gorąco bez żadnych przyspieszaczy. Związki te są wynikiem kondensacji fenolu z formaldehydem, przeprowadzonej w środowisku alkalicznym z nadmiarem formaldehydu. Nowolaki natomiast są produktami kondensacji powyższych substratów, przeprowadzonej w środowisku kwaśnym z nadmiarem fenolu. Niektóre firmy zagraniczne (np. Philips) stosują rezole modyfikowane kalafonią, tzw. albertole, również z dodatkiem szelaku.

Jak wiadomo, szelak jest żywicą naturalną sprowadzaną z zagranicy. Poszczególne gatunki szelaku różnią się między sobą barwą i własnościami fizycznymi (temperaturą mięknięcia, lepkością itp.). W rachubę wchodzą jedynie szelaki pierwszego gatunku, dające kity o najlepszej jakości. Ponieważ szelak, mający duże znaczenie w przemyśle drzewnym (meblarstwo), jest artykułem importowanym, istnieje tendencja wyeliminowania go z produkcji lampowej. Wymaga to oczywiście szeregu długotrwałych prób w celu zastąpienia szelaku produktami krajowego pochodzenia. Mogą tu być użyte takie surowce, jak kalafonia lub specjalne zmiękczacze lakierowe, np. trójkrezylofosforan. W tym kierunku prowadzone są intensywne prace badawcze. Stwierdzono już wielokrotnie, że spoiwa (kity) oparte na nowolaku z odpowiednią kompozycją przewyższają kity czysto szelakowe pod względem wytrzymałości mechanicznej i odporności na wodę w wyższej temperaturze. W radzieckim przemyśle lampowym z powodzeniem używany jest specjalny gatunek nowolaku, określany nazwą iditolu.

Kity nowolakowo-szelakowe umożliwiają łatwe zdejmowanie cokołów z lamp. Jest to wygodne dla produkcji lampowej; w przypadku na przykład błędnego umocowania cokołu można poprawić dużą ilość lamp. Natomiast cokoły przytwierdzone do baniek szklanych kitami nowolakowymi bez szelaku trudno wymienić, w wielu przypadkach jest to nawet niemożliwe.

Pozostałe składniki spoiw — wypełniacze (mączka marmurowa, kredowa) i alkohol etylowy — są pochodzenia krajowego. Wypełniacze nieorganiczne powinny być bezwzględnie wysuszone do stałego ciężaru i odpowiednio zgranulowane (sito DIN 0,40 odpowiadające 256 oczkom na 1 cm^2). Alkohol etylowy stosować należy wysokoprocentowy, najlepiej bezwodny.

Problem cokołowania lamp radiowych lub żarówek jest dosyć poważny i kłopotliwy dla zakładu wytwórczego. Niejednokrotnie wyprodukowana z dużym nakładem pracy i cennych surowców lampa elektryczna podlega odrzuceniu wskutek odklejenia się cokołu.

Konstruktorzy nowoczesnych lamp elektronowych poszli w kierunku całkowitego usunięcia tego uciążliwego procesu, konstruując lampy całoszklane; wymagało to pokonania poważnych trudności technologicznych. Natomiast w przemyśle żarówkowym — z uwagi na koszt i masową produkcję — proces osadzania trzonków na gorąco pozostanie bez zmiany.

Poza kitami opartymi na żywicach organicznych — sztucznych lub naturalnych — stosuje się mieszaniny różnych połączeń nieorganicznych, utwardzających się na zimno. Mieszanin tych używa się do specjalnych wysokowartościowych lamp (np. oscyloskopowych), które powinny być zaopatrzone w cokół nakładany bez ogrzewania — na zimno — z obawy pęknięcia lampy. Najbardziej rozpowszechniony jest kit gipsowy (dwie części wagowe gipsu na jedną część wody). Proces utwardzania na zimno przebiega szybko wskutek dodania wody krystalicznej według następującego schematu:

$$2CaSO_4 \cdot H_2O + 2H_2O = 2(CaSO_4 \cdot 2H_2O).$$

Spoiwa nieorganiczne są nieodporne na działanie gorącej wody, ich czas utwardzania jest bardzo długi, własności izolacyjne słabe. Spoiwa te w przemyśle lampowym nie odgrywają większej roli.

3. Skład ilościowy spoiw.

Niżej podano skład ilościowy różnych spoiw stosowanych w technice lampowej:

Spoiwo do żarówek i lamp elektronowych (ZSRR)

lakier iditolowy (78%)	1 kg,
kalafonia	1 kg,
urotropina	0,080 kg,
proszek marmurowy (suszony w 200°C)	7 kg,
zieleń malachitowa (2,5-procentowy roztwór alkoholowy)	15 cm^3
spirytus etylowy	400—600 cm^3
olej rycynowy (techn.)	0,2 kg.

Spoiwo „Osram" nr 6

bakelit SA30	7,8 kg,
kalafonia	6,2 kg,
szpat wapienny	79,4 kg,
zieleń malachitowa	0,002 kg,
spirytus	6,6 kg.

Spoiwo szelakowo-nowolakowe do lamp radiowych

szelak	0,25 kg,
nowolak (żywica 82, „Kabel", Kraków)	0,10 kg,
kalafonia	0,05 kg,
urotropina	0,0125 kg,
mączka marmurowa	2,12 kg,
spirytus etylowy	225 cm^3.

Spoiwo do świetlówek

nowolak (żywica 82, „Kabel" Kraków)	0,10 kg,
kalafonia	0,02 kg,
urotropina	0,02 kg,
mączka marmurowa	1,0 kg,
spirytus etylowy	125 cm^3.

Spoiwo „Philips" do lamp radiowych

albertol 11-L	15 kg,
benzol techn.	14 l,
szelak	28 kg,
spirytus etylowy	30 l,
kreda szlamowana	25 kg,
szpat wapienny	15 kg.

Przygotowywanie spoiw według powyższych recept przebiega jednakowo, a mianowicie żywice sztuczne lub naturalne, urotropinę i zieleń malachitową rozpuszczamy w spirytusie, a następnie dodajemy mączki kredowej lub marmurowej. Po wymieszaniu mechanicznym spoiwo wylewa się do blaszanych zbiorników, w których transportuje się je do produkcji. Kontrola jakości spoiwa polega na zbadaniu jego lepkości — pomiarze czasu zanurzania się w próbce ostrego rylca obciążonego odpowiednimi ciężarkami. Poza tym wykonuje się — zwłaszcza przy zmianie surowców — badania na próbnych partiach lamp elektronowych lub żarówek.

4. Zagadnienie norm surowcowych.

Zakłady produkujące lampy elektryczne nie mają odpowiednich norm surowcowych na żywice nowolakowe K. Z. W. E.-K-1 (Kraków) mają swą wewnętrzną normę surowcową (ZNC) (2K-1-52) na nowolak nr 82. Zakład ten złożył również

u władz nadrzędnych projekt normy na nowolak, który ma być podstawą do opracowania państwowej normy. Opracowaniem takiej normy powinien zająć się Instytut Tworzyw Sztucznych.

Norma powinna uwzględniać wymagania przemysłu lampowego. Metody badania surowców, zawarte w normie, powinny być łatwo wykonalne w zakładach produkcyjnych, które mają ograniczone możliwości laboratoryjne. Normy surowcowe pozostałych składników spoiw są już opracowane i jako normy wewnętrzne znajdują zastosowanie w praktyce.

Z uwagi na duże wymagania stawiane spoiwom co do trwałości i odporności na wilgoć Instytut Tworzyw Sztucznych powinien zbadać możliwości zastępowania innych (poza bakelitem i nowolakiem) tworzyw termoutwardzalnych.

5. Problemy i dezyderaty.

Następujące problemy wymagają przedyskutowania na konferencji:

1) Z uwagi na konieczność zmniejszenia odpadu produkcyjnego z powodu złych spoiw wydaje się rzeczą celową opracowanie przez odpowiednie placówki (np. instytuty zajmujące się masami plastycznymi) spoiw termoutwardzalnych o możliwie niskiej temperaturze utwardzania i nie wywołujących szkodliwych naprężeń w szkle.

2) Produkcja spoiw do lamp elektronowych opiera się na razie na surowcach zagranicznych. Z tego powodu należy opracować odpowiednie plastyfikatory, które w połączeniu z żywicami fenoloformaldehydowymi (np. rezole zwykłe nowolaki lub rezole modyfikowane) będą zapobiegać pękaniu balonów szklanych podczas mocowania cokołów. Zagadnienie to wiąże się z wprowadzeniem do produkcji artykułu zastępującego importowany z zagranicy szelak.

3) Wydaje się rzeczą słuszną zwrócenie uwagi odpowiednich fachowców (instytuty lub placówki wyższych uczelni w zakresie mas plastycznych) na potrzebę opracowania syntetycznych spoiw szybko utwardzających się na zimno w celu wyeliminowania spoiw bakelitowych.

LITERATURA

E s p e - K n o l l W. Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik, str. 227

K o z ł o w s k i A. Z. Kleje syntetyczne, PWT, 1950, str. 42

MGR INŻ. K. MIKKE
I. P. P. T. PAN

Materiały zmiennooporowe

621.7:621.3.028.002.2:575.2.001.2

T r e ś ć. Właściwości i technologia materiałów termistorowych i materiałów na oporniki nieliniowe ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięć krajowych. Krótki przegląd właściwości i zastosowań termistorów i oporników nieliniowych. Kierunki dalszych badań i warunki szerokiego rozwoju zastosowań oporników półprzewodnikowych w kraju.

1. Wstęp.

Najprostszym zastosowaniem półprzewodników w technice są elementy, w których wykorzystuje się bezpośrednio zależność ich oporności od czynników zewnętrznych. Rozróżniamy trzy sposoby oddziaływania na oporność półprzewodnika:

1) ogrzewanie — wzbudzenie termiczne,
2) oświetlenie — wzbudzenie fotonowe,
3) wzbudzenie „napięciowe", tj. oddziaływanie na oporność przez włączenie półprzewodnika pod napięcie.

Oporność półprzewodnika może podlegać tym trzem wpływom równocześnie, przy czym zwykle stopień wrażliwości na poszczególne czynniki jest różny. W elementach oporowych półprzewodnikowych pożądane są uczulenie elementu na jeden z czynników zewnętrznych i możliwie jak najmniejsza wrażliwość na działanie czynników pozostałych. Uzyskuje się to przez właściwy dobór materiałów i przez zastosowanie odpowiednich procesów technologicznych. Otrzymane na tej drodze oporniki dzielimy — zależnie od zastosowanego sposobu oddziaływania na oporność — na trzy rodzaje:

1) termistory,
2) komórki fotoelektryczne oporowe,
3) oporniki nieliniowe.

W artykule niniejszym będą omówione tylko materiały termistorowe oraz materiały na oporniki nieliniowe.

2. Charakterystyka materiałów zmiennooporowych.

C h a r a k t e r y s t y k a m a t e r i a ł ó w t e r m i s t o r o w y c h

O g ó l n e w ł a ś c i w o ś c i m a t e r i a ł ó w t e r m i s t o r o w y c h. Jako materiały termistorowe stosuje się tlenki lub mieszaniny tlenków metali o przewodnictwie czysto elektronowym i dużym ujemnym współczynniku temperaturowym oporności. Do produkcji termistorów, przeznaczonych do pracy w temperaturach niższych od 300°C, stosuje się mieszaniny tlenków typu *p*, a do produkcji termistorów „ogniotrwałych", których temperatura pracy jest rzędu 1000°C, mieszaniny tlenków typu *p* i typu *n*. Materiały termistorowe winny odznaczać się dużą stałością swych właściwości z upływem czasu oraz niewrażliwością na przypadkowe zanieczyszczenia.

Materiały termistorowe należą do grupy substancji określanych nazwą półprzewodników. Przez półprzewodnik rozumiemy materiał o czysto elektronowym przewodnictwie elektrycznym, o oporności właściwej od 0,1 Ω cm do 10^{10} Ω cm w temperaturze pokojowej i o ujemnym współczynniku temperaturowym oporności. Substancje o oporności właściwej mniejszej od 0,1 Ω cm nie mają typowej dla półprzewodników zależności oporności od temperatury. W substancjach, których oporność właściwa jest większa od 10^{10} Ω cm, pojawia się składowa jonowa przewodnictwa.

Jeżeli oprzeć się na pasmowym modelu ciała stałego, należałoby powiedzieć, że półprzewodniki są to takie substancje, dla których odległość od pasma podstawowego do pasma przewodnictwa —wyrażona w jednostkach energii (eV) — jest zawarta w granicach 0,1 ÷ 1,5 eV. Przewodnictwo półprzewodnika wzrasta, gdy pod wpływem czynników zewnętrznych pojawiają się nośniki prądu elektrycznego w jednym z pasm lub w obu pasmach równocześnie. Nośniki mogą pojawiać się bądź parami (gdy elektron przechodzi z pasma podstawowego do pasma przewodnictwa), bądź pojedynczo (gdy elektron przechodzi na poziom domieszkowy z pasma podstawowego lub z poziomu domieszkowego do pasma przewodnictwa) *).

Czynnikiem zewnętrznym oddziałującym na oporność materiału termistorowego jest wzrost temperatury. Zależność oporności od temperatury wyraża się wzorem

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{\frac{W_z}{2k}\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right)} = \rho_0 \cdot e^{B\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right)} \tag{1}$$

gdzie W_z — szerokość strefy zabronionej dla półprzewodnika samoistnego,
k — stała Boltzmanna,
ρ_0 — oporność właściwa w temperaturze T_0,
ρ — oporność właściwa w temperaturze T,
$B = \frac{W_z}{2k}$ — wielkość charakterystyczna i stała dla danego materiału.

Wrażliwość danego materiału na zmiany temperatury określa liczbowo współczynnik temperaturowy oporności zdefiniowany wyrażeniem.

$$\alpha = \frac{1}{R}\frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2}. \tag{2}$$

Dla dobrych materiałów termistorowych wartość α zawarta jest w granicach od 3%/°C do 5,5%/°C.

O właściwościach termistora decydują w dużym stopniu wartości ρ_0 i α. Na rys. 1 podano zestawienie tych wielkości. Na rysunku tym poszczególne półprzewodniki są reprezentowane przez pojedyncze punkty. Jak widać duże wartości α spotyka się w materiałach o dużej oporności właściwej. Wskaźnik 25 oznacza, że pomiar współczynnika α wykonywany był w temperaturze 25°C.

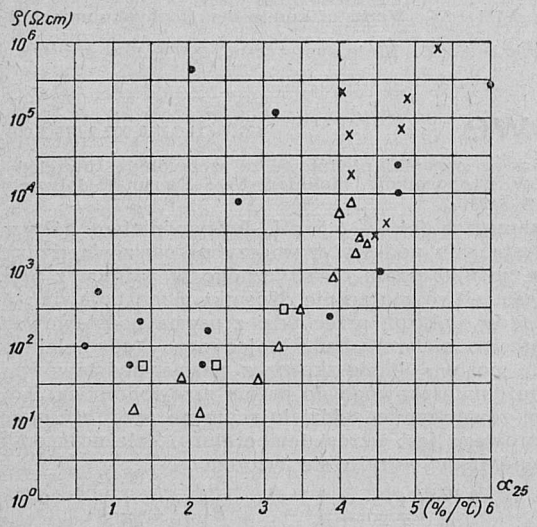
Kryształy niemetaliczne nie wykazujące odstępstw od praw stechiometrycznych są zwykle izolatorami lub półprzewod-

*) Pierwszy przypadek spotyka się w półprzewodnikach s a m o i s t n y c h, tj. substancjach o regularnej sieci krystalicznej. W drugim przypadku mamy do czynienia z półprzewodnikami n i e s a m o i s t n y m i, albo d o m i e s z k o w y m i. Ich cechą charakterystyczną jest obecność w nich „domieszek" — wszelkiego rodzaju odstępstw od regularności budowy sieci krystalicznej (mogą to być odstępstwa od reguł stechiometrii, obce atomy w sieci i inne). Półprzewodniki, w których nośnikami są elektrony w pasmie przewodnictwa przeniesione tam z poziomów domieszkowych, nazywamy półprzewodnikami „typu *n*" albo półprzewodnikami „elektronowymi". Natomiast półprzewodniki, w których przepływ prądu spowodowany jest przechodzeniem elektronów z pasma podstawowego na poziomy domieszkowe, określa się nazwą półprzewodników „typu *p*" lub „dziurowych". Nazwa „dziura" dotyczy miejsca po elektronie przeniesionym z pasma podstawowego na poziom domieszkowy. Przy zapełnieniu tych pustych miejsc przez elektrony „dziury" w pasmie podstawowym mogą przemieszczać się podobnie, jak elektrony w pasmie przewodnictwa, z tym tylko zastrzeżeniem, że należy im przydzielić ładunek dodatni.

nikami samoistnymi. Wszelkiego rodzaju odstępstwa od tych praw powodują wzrost przewodnictwa. Jednym z interesujących wyjątków jest $Fe(FeO_2)_2$, który ma dużą przewodność, gdy zachowane są ściśle prawa stechiometrii. Natomiast przewodnictwo jego znacznie spada w kryształach niedoskonałych.

Przypuszcza się, że przyczyną tego jest obecność w obszarze zabronionym poziomów jonów Fe^{++} i Fe^{+++}, których rozkład na pozycjach kationowych w sieci jest przypadkowy. Dzięki możliwości wymiany elektronów między tymi jonami jony Fe^{+++} przemieszczają się w krysztale w taki sam sposób, jak dziury w pasmie podstawowym. Tym tłumaczy się niska wartość energii wzbudzenia ($\sim$ 0,1 eV) i duża przewodność ($\sim 200\,\Omega^{-1}\,cm^{-1}$), przy czym cechą charakterystyczną tego przewodnictwa jest to, że elektrony nie wchodzą zupełnie do pasma przewodnictwa.

Dokładniejsze objaśnienie tego modelu można otrzymać badając bliżej cechy układu krystalograficznego spineli (spi-



Rys. 1. Oporność właściwa i współczynnik temperatury oporności dla różnych materiałów termistorowych

Δ, x — materiały opracowane w ZEIPPT

□ — materiały opracowane w Zakł. Trakcji IEl.

• — dane z literatury

nelami nazywamy ogólnie substancje krystalizujące w układzie takim, jak minerał o tej nazwie). Osobliwością tego układu jest to, że w jego cząsteczkach istnieją dwa rodzaje możliwych pozycji zajmowanych przez jony metaliczne (kationy). W Fe_3O_4 jedna z tych pozycji obsadzona jest „mieszaniną" jonów Fe^{++} i Fe^{+++}. Zapisujemy to w postaci $Fe^{+++}(Fe^{++}Fe^{+++})O_4$. Tym tłumaczy się duże przewodnictwo Fe_3O_4. Ponieważ rozkład jonów Fe^{++} i Fe^{+++} w identycznych krystalograficznie położeniach jest zupełnie dowolny, przejście elektronu od jonu Fe^{++} do jonu Fe^{+++} (w wyniku tego pierwszy stanie się jonem Fe^{+++}, a drugi jonem Fe^{++}) nie zmieni dowolności rozkładu jonów. Pole jonów otaczających jest w dwu położeniach identycznych krystalograficznie takie samo, wobec czego energia elektronu przed jego przejściem i po przejściu jest jednakowa.

Takie przejścia elektronów mogą występować równocześnie w wielu miejscach w krysztale. Przypuszcza się, że niska wartość energii aktywacji jest związana z tymi przejściami. Dzięki małej energii aktywacji dodatkowe elektrony w Fe^{++} (w porównaniu z Fe^{+++}) mają znaczną swobodę i tak, jak elektrony przewodnictwa w metalu, nie mogą być ściśle zlokalizowane, a raczej należą do zespołu jonów żelaza. Elektrony takie ustawicznie przemieszczają się w sieci i są przyczyną znacznego przewodnictwa Fe_3O_4.

Należy podkreślić, że zasadniczego założenia (dowolność rozkładu jonów Fe^{++} i Fe^{+++}) nie da się stwierdzić na drodze analizy rentgenowskiej; wynika ono z całego szeregu reguł, podających metody przewidywania najbardziej prawdopodobnego rozkładu jonów metalicznych w sieci typu spinelu. Jeżeli założenie to jest słuszne, to zastąpienie jonów Fe^{+++} innymi trójwartościowymi jonami winno zmniejszyć znacznie przewodnictwo. Wniosek ten został potwierdzony na drodze otrzymywania kryształów mieszanych Fe_3O_4 i innych spineli. Najprostszym przykładem są substancje otrzymane przez zmieszanie Fe_3O_4 i $FeAl_2O_4$ w stosunku 1 : 1. W każdej parze jonów Fe^{+++} jeden z nich zostaje tu zastąpiony przez jon Al^{+++}. Analiza rentgenowska pozwala stwierdzić, że jony Al^{+++} wbudowywane są w miejsce tych jonów Fe^{+++}, którym przypisuje się możność wymiany elektronów z jonami Fe^{++}. Strukturę tę zapisujemy w postaci $Fe^{+++}(Fe^{++}Al^{+++})O_4$. Kryształy otrzymane na tej drodze mają przewodność właściwą rzędu $0{,}004\,\Omega^{-1}cm^{-1}$, a więc ok. 10^5 razy mniejszą od samego $Fe(FeO_2)_2$. Zaletą kryształów mieszanych jest mała wrażliwość na niepożądane zanieczyszczenia.

Do ostatniej grupy materiałów termistorowych należą materiały o tak zwanej „regulowanej wartościowości". Przewodzenie prądu elektrycznego w materiałach tego typu polega na wbudowaniu w sieć pewnej liczby jonów o innej wartościowości bez równoczesnego wytwarzania defektów sieci (w sensie naruszenia reguł stechiometrycznych). Równocześnie należy wbudować w sieć pewną liczbę obcych jonów o ładunku kompensującym ładunek od jonów o odmiennej wartościowości.

W tabl. I zestawiono główne układy, w których wprowadzono jony o odmiennej wartościowości. W pierwszej kolumnie

Tablica I. Zestawienie materiałów zawierających jony o odmiennej wartościowości

Substancja podstawowa	Substancja zawierająca jon dodatkowy	Jon normalny	Jon o odmiennej wartościowości
NiO	Li_2O	Ni^{++}	Ni^{+++}
CoO	Li_2O	Co^{++}	Co^{+++}
MnS	Li_2S	Mn^{++}	Mn^{+++}
$CaTiO_3$	La_2O_3	Ti^{4+}	Ti^{+++}
$SrTiO_3$	La_2O_3	Ti^{4+}	Ti^{+++}
$BaTiO_3$	La_2O_3	Ti^{4+}	Ti^{+++}
$CaMn^{III}O_3$	La_2O_3	Mn^{4+}	Mn^{+++}
$LaMn^{III}O_3$	CaO	Mn^{+++}	Mn^{4+}
$LaMn^{III}O_3$	SrO	Mn^{+++}	Mn^{4+}
$LaFe^{III}O_3$	SrO	Fe^{+++}	Fe^{4+}
$ZnFe_2O_4$	TiO_2	Fe^{+++}	Fe^{++}
$MgFe_2O_4$	TiO_2	Fe^{+++}	Fe^{++}
$NiFe_2O_4$	TiO_2	Fe^{+++}	Fe^{++}
$CoFe_2O_4$	TiO_2	Fe^{+++}	Fe^{++}
Fe_2O_3	TiO_2	Fe^{+++}	Fe^{++}
Fe_2O_3	SnO_2	Fe^{+++}	Fe^{++}
Fe_2O_3	WO_3	Fe^{+++}	Fe^{++}
SnO_2	Sb_2O_5	Sn^{4+}	Sn^{+++}
TiO_2	Ta_2O_5	Ti^{4+}	Ti^{+++}
$MgWO_4$	Cr_2O_3	W^{6+}	W^{5+}
NiO + MgO	Li_2O	Ni^{++}	Ni^{+++}
$SrTiO_3 + SrZrO_3$	Li_2O_3	Ti^{4+}	Ti^{+++}
$Fe_2O_3 + CrO_3$	TiO_2	Fe^{+++}	Fe^{++}

podano substancję podstawową, w drugiej substancję zawierającą jon dodatkowy, a w kolumnach trzeciej i czwartej wymieniono jony normalne i jony o odmiennej wartościowości występujące w układzie końcowym.

Zmiany właściwości. Należy tu odróżnić zmiany właściwości w czasie (starzenie się) oraz przypadkowe zmiany właściwości podczas procesów produkcyjnych (rozrzuty).

Zmiany właściwości w czasie mają dla zwykłych materiałów termistorowych charakter wykładniczego wzrostu oporności w czasie. Zmiany te są rzędu kilku procentów w pierwszym tygodniu pracy. Po przeprowadzeniu wstępnego starzenia termistora wzrost oporności po roku pracy jest rzędu 0,2%. W przypadku termistorów ogniotrwałych oporność ich maleje z czasem. Czas wystarzania jest dla nich znacznie większy.

Rozrzuty występujące w normalnym procesie produkcyjnym są rzędu 20 ÷ 30%. Zwężenie tolerancji uzyskuje się drogą selekcji. Rozrzuty zależą od typu termistora. Na przykład dla termistorów perełkowych rozrzuty są większe niż dla płytkowych.

Przegląd materiałów. Warunki stawiane przez użytkowników materiałom termistorowym i termistorom są następujące: powtarzalność charakterystyk, stateczność wła-

ściwości, wytrzymałość mechaniczna, duży wybór typów pod względem rozmiarów, kształtów, współczynnika α i mocy dopuszczalnej.

Dla spełnienia tych warunków (najtrudniejsze są dwa pierwsze) należy: a) na materiały termistorowe wybierać półprzewodniki czysto elektronowe, odporne na działanie atmosferyczne w wyższych temperaturach, niewrażliwe na zanieczyszczenia napotykane zwykle podczas wytwarzania lub podczas pracy; b) procesy technologiczne przeprowadzać tak, aby zapewnić trwałość i pewność styków i uzyskać takie rozmieszczenie krytycznych zanieczyszczeń, które odpowiada stanowi równowagi lub jest bardzo bliskie tego stanu.

Według danych literatury do wytwarzania termistorów stosuje się następujące materiały:

(*a*) czyste tlenki,
(*b*) mieszaniny tlenków manganu i niklu,
(*c*) mieszaniny spineli,
(*d*) substancje metalowo-ceramiczne,
(*e*) substancje „ogniotrwałe",
(*f*) mieszaniny tlenków o regulowanej wartościowości.

Dane dotyczące właściwości termistorów wykonanych z tych materiałów zestawiono w tabl. II. Do grupy (*a*) należą UO_2, CuO i Ag_2O. Z dwutlenku uranu były wykonywane pierwsze termistory dostępne na rynku pod nazwą „urdox". Wykazują one jednak zjawiska polaryzacyjne, a zatem można je stosować wyłącznie w układach prądu zmiennego. Mała wartość współczynnika α również stawia dwutlenek uranu niżej od nowoczesnych materiałów termistorowych. Pod nazwą „urdox" produkuje się również termistory wykonane z mieszaniny TiO_2 i MgO. Tlenek miedzi i tlenek srebra używane były do wytwarzania termistorów o rynkowej nazwie „kanega". Skąpe wiadomości na temat tych oporników wskazują chyba, że nie znalazły one szerszego zastosowania. Przyczyną jest przypuszczalnie mała wartość współczynnika α i współczynnika R_o/R_{min}.

Materiały wymienione w grupie (*b*) należą do najczęściej obecnie stosowanych. Poza podstawowymi tlenkami (NiO, Mn_2O_3) stosuje się domieszki tlenków kobaltu, chromu i miedzi.

Mieszaniny spineli z grupy (*c*) są tym znamienne, że oporność wykonanych z nich termistorów zależy od stosunku Fe_3O_4 i drugiego spinela, wskutek czego mimo znacznych zmian w procesach produkcyjnych uzyskuje się łatwo powtarzalność wyników.

Informacje na temat materiałów grupy (*d*) są sprzeczne. Według jednych źródeł wyniki uzyskane są dobre, podano je w tabl. II. Nie wiadomo jednak, jakie to są materiały. Według innych źródeł nie możliwe jest uzyskanie w tym przypadku zadowalającej stateczności i powtarzalnych właściwości. Wśród zbadanych substancji wymienione są jako składnik ceramiczny TiO_2, MgO, SiO_2, ZrO_2 i inne, a jako składnik metaliczny Ni, Fe, Mo, W, ponadto grafit.

Bliższych danych na temat materiałów stosowanych do wytwarzania termistorów ogniotrwałych z grupy (*e*) brak. Wiadomo tylko, że pozytywne wyniki uzyskuje się w przypadku mieszanin tlenków typu *p* i typu *n*.

Materiały należące do grupy (*f*) materiałów termistorowych podano w tabl. I. Brak jest danych technicznych wykonywanych z nich termistorów.

Charakterystyka materiałów na oporniki nieliniowe

Ogólne właściwości. Materiałem stosowanym obecnie do wytwarzania oporników nieliniowych jest węglik krzemu (SiC). Oporność ziaren węglika krzemu w funkcji temperatury zmienia się w sposób typowy dla półprzewodników i nie zależy od doprowadzonego napięcia, jeżeli są wyeliminowane zjawiska kontaktowe. Jeżeli natomiast zjawiska kontaktowe są uwypuklone przez odpowiedni bieg procesów technologicznych, to otrzymuje się nieliniową charakterystykę prądowo-napięciową. Przeciętnie biorąc natężenie jest proporcjonalne do piątej potęgi napięcia (tj. 10-krotny wzrost napięcia powoduje 100 000-krotny wzrost natężenia prądu). Teoria zjawisk występujących w opornikach nieliniowych nie jest dostatecznie opracowana. Istotną rolę w tych procesach odgrywają warstewki izolacyjne powstające podczas procesu produkcyjnego wokół ziaren półprzewodnika. W przypadku węglika krzemu warstwę izolującą stanowi SiO_2. Celem polepszenia właściwości oporników stosuje się również domieszki, np. żelazo, grafit i węgiel bezpostaciowy.

Zmiany właściwości. Rozrzuty parametrów oporników nieliniowych są rzędu 20 — 30%. Rozrzut oporności mierzonej przy niskich napięciach jest znacznie większy niż przy napięciach dużych, co wskazuje, że o stateczności właściwości decydują w głównym stopniu właściwości ceramicznej substancji wiążącej.

Te same zjawiska są przyczyną zmian właściwości z biegiem czasu, zwanych starzeniem się opornika. Zmiany te uwypuklają się przy znacznym przeciążeniu opornika. Stabilizację z biegiem czasu uzyskuje się za pomocą tzw. procesu formowania.

Tablica II. Właściwości termistorów wykonanych z różnych materiałów

Materiał termistoru	Oporność na zimno przy 20°C R_o (Ω)	Współczynnik R_o/R_{min}	Najwyższa temperatura pracy: w bańce ochronnej (°C)	Najwyższa temperatura pracy: w powietrzu (°C)	Moc dopuszczalna (W)	Cieplna strata czasu (S)	Współczynnik temperaturowy oporności przy 20°C (%/°C)
Czyste tlenki:							
a) dwutlenek uranu	$5 \cdot 10^3 \div 10^5$	200	600	(400)	0,001 ÷ 1	0,1 ÷ 10	—1,5
b) tlenek miedzi	0,5 ÷ 10^5	10	—	220	0,01 ÷ 6	1 ÷ 100	—2,6
Mieszaniny tlenków Mn, Ni, Co	10 ÷ 10^6	10 ÷ 200	300	150	0,005 ÷ 10	1 ÷ 100	—3 ÷ —5,5
Spinele	$10^2 \div 10^5$	200 ÷ 500	500	(300)	2,5 ÷ 9	10 ÷ 600	—1,3 ÷ —2,3
Substancje metaliczno-ceramiczne	0,1 ÷ $5 \cdot 10^6$	5 ÷ 500	600	450	0,005 ÷ 100	0,1 ÷ 600	—2 ÷ —4
Substancje „ogniotrwałe"	$10^3 \div 10^4$	—	—	1100	—	—	—0,8 ÷ —1,5

3. Właściwości oporników półprzewodnikowych.

Właściwości termistorów

Określenie i klasyfikacja. Termistorami nazywamy oporniki wrażliwe na doprowadzane do nich ciepło. Termistor składa się z półprzewodnika i dwu elektrod doprowadzających prąd. Typowe konstrukcje termistorów są następujące: perełka o ogrzewaniu bezpośrednim, perełka o ogrzewaniu pośrednim, płytka, pałeczka, listek, termistor drukowany.

Zasadnicze wielkości charakteryzujące termistory. Wielkości, które są cechą termistora, można podzielić na wielkości elektryczne i wielkości cieplne. Do wielkości elektrycznych należy omówiona wyżej stała *B* oraz oporność termistora *R*. Wartość *R* można otrzymać znając oporność właściwą ϱ materiału termistorowego i wymiary termistora. Do wielkości cieplnych należy pojemność cieplna *H* i współczynnik strat *K* oraz cieplna stała czasu τ_c, która jest wielkością pochodną dwu poprzednich.

Pojemność cieplna *H* zależy od rozmiarów termistora i tych części układu zawierającego termistor, które biorą udział w wymianie ciepła z otoczeniem. Wartość *H* wynosi zależnie od typu termistora od kilku do kilkuset milidżuli na 1°C.

Współczynnik strat *K* jest to energia, którą należy wydzielić w termistorze, aby podnieść jego temperaturę o 1°C w ciągu 1 s:

$$K = \frac{W}{(T - T_o)\,t} = \frac{P}{T - T_o}. \tag{3}$$

Jeżeli ciepło odprowadzane jest głównie przez przewodnictwo lub konwekcję, to moc narasta liniowo z temperaturą, czyli *K* ma wartość stałą. Wartość współczynnika strat podaje się zwykle dla termistora umieszczonego w powietrzu o temperaturze 25°C. Zależy ona od rozmiarów termistora i od tych części układu, które mogą wpływać na warunki wymiany

ciepła między termistorem i otoczeniem. Zawarta jest ona zwykle w granicach od kilkudziesięciu mikrowatów na stopień do części wata na stopień. Można ją znacznie zwiększyć przez zaopatrzenie termistora w radiatory lub pogrążenie go w cieczy.

Trzecią wielkością jest c i e p l n a s t a ł a c z a s u termistora.

Zależność temperatury termistora od czasu przedstawiona jest następującym równaniem:

$$T = T_o + (T_p - T_o)\, e^{-\frac{t}{\tau_c}}, \tag{4}$$

gdzie $\tau_c = \frac{H}{K}$ — oznacza cieplną stałą czasu,

t — czas,

T_p — temperaturę początkową,

T_o — temperaturę otoczenia.

Stała cieplna czasu jest to czas potrzebny na to, aby nastąpiła zmiana temperatury termistora o 63%, tj. $\left(\frac{e-1}{e}\right)$ różnicy temperatur $(T_p - T_o)$. Cieplna stała czasu zawarta jest w granicach od kilku sekund do kilkudziesięciu minut zależnie od typu termistora.

W a r u n k i p r a c y t e r m i s t o r a. Oddziaływanie na oporność termistora odbywa się przez zmianę warunków wymiany ciepła między termistorem i otoczeniem. Na warunki wymiany ciepła składają się:

1) doprowadzenie ciepła przez ogrzewanie bezpośrednie, przez ogrzewanie pośrednie, przez pobór ciepła z otoczenia drogą przewodnictwa, promieniowania lub konwekcji;

2) odprowadzanie ciepła przez przewodnictwo, przez konwekcję, przez promieniowanie.

Ogrzewanie bezpośrednie jest to ogrzewanie ciepłem Joule'a prądu płynącego przez półprzewodnik. Ogrzewanie pośrednie jest to ogrzewanie ciepłem Joule'a prądu płynącego przez dodatkowy grzejnik.

Możliwe są wszelkie kombinacje warunków wymiany ciepła. Jako szczególnie ważne z punktu widzenia zastosowań rozpatrzymy trzy następujące przypadki:

(a) wymiana ciepła między termistorem a otoczeniem następuje tylko przez przewodnictwo i konwekcję,

(b) termistor absorbuje energię przez promieniowanie, a oddaje ją otoczeniu przez przewodnictwo i konwekcję,

(c) termistor pobiera energię w postaci ciepła Joule'a, a oddaje je otoczeniu przez przewodnictwo i konwekcję.

Przypadek (a) odpowiada termometrii kontaktowej. W stanie ustalonym temperatura termistora jest równa temperaturze otoczenia. W stanie nieustalonym zmiany temperatury przebiegają według równania:

$$HdT + K[T - \Theta(t)]\, dt = 0, \tag{5}$$

gdzie $\Theta(t)$ oznacza funkcję, według której zmienia się w czasie temperatura otoczenia.

Małe wartości stałej czasu $\left(\frac{H}{K}\right)$ pożądane są wtedy, kiedy termistor ma dokładnie rejestrować zmiany temperatury $\Theta(t)$. Gdy termistor ma rejestrować średnią wartość temperatury, pożądane są duże wartości $\frac{H}{K}$.

Przypadek (*b*) odpowiada pyrometrii optycznej. Jeżeli termistor pochłania energię W, a temperatura otoczenia jest T_o, to jego temperatura wyraża się równością

$$HdT + K(T - T_o)\, dt = W dt. \tag{6}$$

Jeżeli $W = \text{const}$, to otrzymujemy rozwiązanie tego równania w następującej postaci:

$$T = T_o + \frac{W}{K}\left(1 - e^{-\frac{K}{W}t}\right). \tag{7}$$

Jeżeli w przypadku (*c*) $U(t)$ oznacza napięcie działające na termistor, a T_o temperaturę otoczenia, to temperatura termistora T spełnia zależność

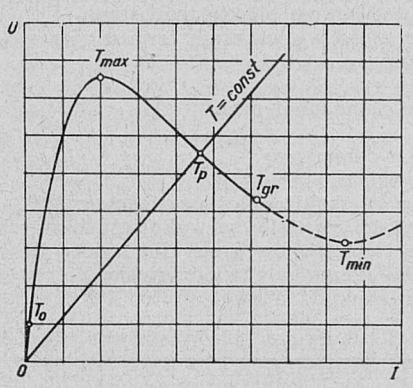
$$HdT + K(T - T_o)\, dt = \frac{U(t)^2}{R}\, dt. \tag{8}$$

Całkowanie tego równania możliwe jest tylko metodą wykreślną.

W przypadku równowagi ($dT = 0$) U i I wyrażają się układem równań parametrycznych:

$$\begin{cases} I = \sqrt{\dfrac{K(T - T_o)}{R(T)}}, \\ U = \sqrt{K(T - T_o)\, R(T)}. \end{cases} \tag{9}$$

Przebieg zależności $U = f(I)$ podano na rys. 2. Jak widać, napięcie w funkcji natężenia ma dwa „extrema". Nachylenie prostej OT na tym rysunku jest równe oporności $R(T)$, odpowiadającej punktowi pracy T_p. W praktyce interesuje nas tylko zakres temperatur niższych od T_{gr}, tj. najwyższej dopuszczalnej temperatury pracy termistora. T_{gr} jest znacznie niższa od T_{min}. Na krzywej tej można wyróżnić dwa zakresy: A i B.



Rys. 2. Charakterystyka $U = f(I)$ termistora

A) Zakres małych mocy: $T_o < T_p < T_{max}$; ta część charakterystyki prądowo-napięciowej jest niemal dokładnie prostoliniowa i kończy się na pierwszym „extremum".

B) Zakres dużych mocy: $T_{max} < T_p < T_{gr}$; w tym zakresie charakterystyka $U(I)$ jest opadająca. Oporność przyrostowa termistora w tym zakresie jest ujemna. Na przebieg charakterystyki $U(I)$ mogą wpływać różne czynniki, np. zmiany stałej B, temperatury otoczenia lub współczynnika strat. Wpływy tych czynników są wykorzystywane w praktycznych zastosowaniach termistorów.

W ł a ś c i w o ś c i o p o r n i k ó w n i e l i n i o w y c h

Oporniki nieliniowe zbudowane są z półprzewodnika i pogrążone w odpowiedniej masie ceramicznej. Wykonuje się je dotychczas wyłącznie w kształcie płaskich płytek lub pierścieni zaopatrzonych z obu stron w elektrody metalowe. W zależności od maksymalnej mocy wydzielanej w oporniku stosuje się pojedyncze płytki lub ich zespoły.

Zasadniczą właściwością opornika nieliniowego jest nieliniowość charakterystyki napięciowo-prądowej. W zakresie normalnej pracy charakterystyka ta wyraża się równaniem

$$U = kI^s, \tag{10}$$

gdzie k i s oznaczają pewne stałe, przy czym $0 < s < 1$. Zwyczajne oporniki są szczególnym przypadkiem, dla którego $s = 1$, a $k = R$. Wartości s bywają rzędu $0{,}1 \div 0{,}6$ a k rzędu $1 \div 600$ kΩ. Charakterystyka napięciowo-prądowa jest symetryczna względem początku układu, co nie oznacza jednak, że poszczególne styki między ziarnami mają oporność niezależną od kierunku przepływu prądu.

Właściwy zakres pracy opornika nieliniowego można określić rozpatrując jego charakterystykę $R = f(U)$. Charakterystyka ta opada stromo w dół przy wzroście napięcia, a przy małych i dużych napięciach przechodzi w proste równoległe do osi U, a więc w proste stałej oporności. Zakres, w którym oporność zależy od napięcia, jest zakresem pracy opornika nieliniowego.

4. Zastosowanie oporników półprzewodnikowych.

N a j w a ż n i e j s z e z a s t o s o w a n i a t e r m i s t o r ó w

W zastosowaniach termistorów wykorzystuje się zależność oporności od temperatury i wynikającą stąd nieliniowość charakterystyki prądowo-napięciowej. O właściwościach termistora w konkretnych warunkach decyduje zespół czynników elektrycznych, cieplnych i geometrycznych.

Zastosowania termistorów można podzielić na dwie grupy: 1) zastosowania, w których prąd przepływający przez termistor nagrzewa go bardzo mało; 2) zastosowania, w których prąd płynący przez termistor powoduje jego znaczne nagrzanie.

G r u p a p i e r w s z a

T e r m o m e t r i a o p o r o w a. Duży współczynnik temperaturowy oporności pozwala zwiększyć ~10-krotnie dokładność pomiarów w porównaniu z dokładnością osiąganą

przy innych metodach. Mała bezwładność cieplna termistorów pozwala na odczyt natychmiastowy, a ich duża oporność jest bardzo korzystna przy zdalnej kontroli temperatury. Wykorzystując zdolność pochłaniania przez półprzewodnik promieniowania cieplnego można mierzyć temperaturę przedmiotów niedostępnych. Można wykrywać tą metodą promieniowanie o mocy rzędu 1 mμW, co odpowiada zmianie temperatury detektora o $\sim 10^{-6}$ °C.

Stabilizacja temperatury. Termistor jest w tym przypadku czujnikiem; przez mostek, wzmacniacz i ewentualnie przekaźnik reguluje on urządzenie grzejne.

Kompensacja zmian temperaturowych. Jak w poprzednim przykładzie termistor jest w tym przypadku czujnikiem temperaturowym, który przez odpowiedni układ utrzymuje na stałej wartości np. oporność uzwojeń lub ich indukcyjność, częstotliwość oscylatora itp.

Grupa druga

Stabilizacja napięcia. Stabilizatory tego typu odznaczają się dużą prostotą. Wykorzystuje się tu ujemną oporność przyrostową termistora. Prosty stabilizator stanowi dwójnik — szeregowo połączony termistor i zwyczajny opornik. W układzie napięcie pozostaje stałe z dokładnością 3% w zakresie prądu 100 ÷ 300 mA. Większą dokładność stabilizacji uzyskuje się w nieco bardziej skomplikowanych układach.

Pomiary mocy. Przy stałej temperaturze otoczenia oporność termistora jest funkcją wydzielanej w nim mocy. Dzięki małym rozmiarom, odporności na przeciążenia, możności wykonania opornika o dowolnym kształcie i łatwości skalowania za pomocą prądu stałego termistory stosowane są do pomiaru mocy mikrofal. Termistory do pomiaru mocy są to perełki umieszczane w bańkach ochronnych. Górna granica mocy mierzonej wynosi ok. 0,3 W.

Pomiary ciśnienia. W próżniomierzach termistorowych termistor jest miernikiem przewodności cieplnej gazu w urządzeniu próżniowym, która z kolei jest funkcją ciśnienia gazu. Zakres zastosowania próżniomierza wynosi od 10 Tr do 10^{-5} Tr.

Pomiary wilgotności i szybkości przepływu cieczy i gazów. W tych przypadkach termistor pracuje na takich samych zasadach, jak w próżniomierzu. Jego oporność jest funkcją zmian warunków wymiany ciepła między nim a otoczeniem.

Urządzenia opóźniające i przekaźniki czasowe. Zależnie od izolacji cieplnej i sposobu ogrzewania można za pomocą termistora uzyskiwać opóźnienia od kilku milisekund do kilkudziesięciu minut. Odmianą tego typu układów są urządzenia zabezpieczające od przeciążeń udarowych. Pospolitym przykładem są tu urdoksy, zabezpieczające grzejniki lamp elektrycznych przy włączaniu żarzenia. Należą tu również rozruszniki termistorowe silników elektrycznych.

Zmienne oporniki. Termistory o ogrzewaniu pośrednim stanowią bardzo wygodne zmienne oporniki, umożliwiające ciągłą zmianę oporności w stosunku 100 : 1. Uzwojenie grzejne jest izolowane pod względem elektrycznym od obwodu grzejnego, a więc grzejnik i termistor mogą być włączane w niezależne obwody.

Poza opisanymi wyżej istnieje szereg innych zastosowań termistorów. Należą tu np. urządzenia spustowe, stabilizatory amplitudy drgań, automatyczne regulatory wzmocnienia, urządzenia do zwiększenia i zmniejszania dynamiki, generacji i wzmacniania drgań.

Zastosowania oporników nieliniowych (układy najbardziej typowe)

Zabezpieczenia przed przepięciami. W obwodach o dużej indukcyjności występują znaczne przepięcia przy włączaniu i wyłączaniu napięcia. Mogą one doprowadzić do uszkodzenia izolacji lub wyładowań łukowych na stykach. Opornik nieliniowy, bocznikujący dany obwód, usuwa całkowicie skutki przepięć. Oporniki nieliniowe stosuje się do zabezpieczenia czułych przyrządów przed przypadkowymi przeciążeniami oraz do zabezpieczania kondensatorów elektrolitycznych przed przepięciami. W wielu przypadkach pozwala to na stosowanie kondensatorów o znacznie niższej wartości napięcia pracy.

Zmiany skali elektrycznych aparatów pomiarowych. Opornik nieliniowy, bocznikujący woltomierz, powoduje zwężenie jego skali w zakresie wysokich napięć. Opornik nieliniowy włączony w szereg z woltomierzem powoduje rozszerzenie skali w tym zakresie.

Stabilizacja napięcia. Układ mostkowy, zawierający w dwu przeciwległych gałęziach oporniki nieliniowe, a w pozostałych dwu zwyczajne oporniki, pozwala uzyskać stabilizację napięcia w szerokim zakresie napięć. Na jedną z przekątnych mostka doprowadza się napięcie niestabilizowane. Napięcie stabilizowane pobiera się z drugiej przekątnej mostka. Układ taki ma wyższość nad termistorową stabilizacją napięcia, którą cechowała znaczna bezwładność.

5. Zapotrzebowanie przemysłu krajowego.

Można przypuszczać, że jeżeli zastosowania termistorów będą dostatecznie spopularyzowane, roczne zużycie wyniesie pod koniec planu pięcioletniego ok. 100 000 szt. termistorów.

Do wykonania takiej liczby termistorów potrzebne są następujące surowce: tlenek manganu 400 kg, tlenek niklu 400 kg, tlenek kobaltu 100 kg, tlenek miedzi 100 kg. Obliczenie to przeprowadzono w założeniu, że ok. 30% produkcji będą stanowiły termistory płytkowe do rozruszników silników elektrycznych oraz że stosowane będą materiały opracowane dotychczas w krajowych instytutach badawczych.

6. Stan technologii.

Metody wykonywania termistorów. Procesy produkcyjne przy wykonywaniu termistorów dzielą się na trzy etapy: przygotowanie, obróbka cieplna i wykonanie styków.

Czynności przygotowawcze obejmują mielenie składników oraz zazwyczaj formowanie materiałów w próbki odpowiedniej wielkości i kształtu. Mielenie wykonywa się w młynach kulowych. W wyniku mielenia uzyskuje się dokładne wymieszanie składników i rozdrobnienie większych konglomeratów zanieczyszczeń krytycznych. Nadawanie odpowiednich wielkości i kształtów może odbywać się trzema metodami:

a) przez stopienie składników, a następnie wycinanie elementów o pożądanych wymiarach (w tym przypadku proces obróbki cieplnej poprzedza formowanie elementów);

b) przez natryskiwanie materiału wraz z odpowiednim lepikiem; odmianą tego sposobu jest otrzymywanie perełek przez nakładanie lepkiego materiału na naciągnięte druty;

c) przez prasowanie lub przeciskanie przez odpowiednie otwory składników zmielonych i zmieszanych z odpowiednim lepikiem.

Obróbka cieplna może być wykonana przez stapianie składników lub przez ich spiekanie. Obecnie jest niemal wyłącznie stosowana druga z tych metod. W temperaturze spiekania proszki ulegają rekrystalizacji i zmniejszają często znacznie swe wymiary. Metoda ta umożliwia mieszanie tlenków w różnych stosunkach i pozwala na otrzymywanie jednorodnego ciała stałego. Dzięki temu można pokryć tym samym układem tlenków szeroki zakres oporności właściwej i współczynnika temperaturowego oporności. Swoboda w otrzymywaniu dużej różnorodności kształtów i wielkości pozwala pokryć szeroki zakres oporności i mocy.

W procesie spiekania ważny jest dobór zarówno temperatury, jak atmosfery i czasu obróbki cieplnej. Stosowane temperatury leżą zwykle w granicach od 1000 do 1500°C. Nie są dostępne w literaturze technicznej dane, dotyczące sposobu zbliżania się do temperatury spiekania, czasu spiekania, sposobów chłodzenia i doboru odpowiedniej atmosfery. Wskazuje się jedynie niekiedy na konieczność dodawania do zmieszanych zasadniczych składników „odpowiednich" drobnych domieszek, których zadaniem jest stabilizacja właściwości wykonanego termistora.

Czynnością końcową przy fabrykacji termistorów jest wykonanie styków, jeżeli nie wykonano ich w poprzednim etapie (jak np. w przypadku termistorów perełkowych).

Najczęściej stosowanym sposobem jest srebrzenie za pomocą odpowiedniej pasty srebrowej. Stosuje się również pasty zawierające złoto lub platynę względnie natryskuje się styk. Końcówki mocuje się zwykle przez przylutowanie ich do posrebrzonych części stopem o dobranym odpowiednio punkcie topnienia i dobranych właściwościach mechanicznych.

W niektórych przypadkach należy zabezpieczyć termistor przed działaniem ośrodków, w których ma pracować. Termistor pokrywa się wówczas cienką warstwą ochronną szkliwa lub lakieru.

Termistory podlegają po zakończeniu procesu produkcyjnego dodatkowemu procesowi, którego zadaniem jest ustabilizowanie ich właściwości na długi czas. Proces ten nazywa-

ny bywa zwykle wystarzaniem. Wystarzanie termistorów osiąga się przez pracę ich w temperaturze wyższej od znamionowej maksymalnej temperatury pracy w ciągu kilku dni lub tygodni.

Należy jeszcze omówić pokrótce metody otrzymywania poszczególnych typów termistorów.

Pierwszą czynnością przy wykonywaniu termistorów perełkowych jest napięcie dwu równoległych drucików platynowych lub platyno-irydowych oddalonych od siebie o 5 do 10 średnic drutu. Na napięte druty nakłada się mieszaninę termistorową w postaci lepkiej masy. Napięcie powierzchniowe ściąga tę masę w małe perełki. Zwykle nakłada się równocześnie 20 do 30 perełek. Perełki suszy się, a następnie ogrzewa lekko do uzyskania trwałości na tyle dużej, aby można było druty odciąć od napinającej je podstawy. Kolejnym procesem jest spiekanie. Na skutek występującego przy spiekaniu skurczu, materiał termistorowy przylega silnie do drutu i stwarza dobry i trwały styk elektryczny. Po spieczeniu przecina się druciki, aby oddzielić poszczególne perełki, i zależnie od przeznaczenia pokrywa się je cienką warstwą szkliwa lub zatapia w opróżnionych lub napełnionych gazem baniecz-kach szklanych. Średnice perełek są rzędu 0,15 do 1,5 mm, a średnice drucików 10 do 50 mikronów.

Przy wykonywaniu termistorów w kształcie pałeczek pierwszą czynnością jest, jak zawsze, zmielenie materiałów i zmieszanie z odpowiednim lepikiem. Z kolei następuje przeciskanie masy przez odpowiednie otwory, suszenie, cięcie, wygrzewanie dla usunięcia lepika i spiekanie w wysokiej temperaturze. Styki wykonuje się przez nałożenie rozcieńczonej pasty srebrnej, złotej lub platynowej i wygrzanie jej w dobranej temperaturze. Końcówki lutuje się do styków lub przypieka pastami z ciężkich metali. Średnice pałeczek są rzędu 0,08 cm do 0,64 cm, długości od 0,15 cm do 5 cm.

Termistory płytkowe wytwarza się w sposób podobny jak pałeczkowe, lecz przeciskanie zlepionych proszków zastąpione jest prasowaniem w odpowiednich formach. Średnice krążków bywają od 0,15 cm do 5 cm, grubości od 0,08 cm do 0,64 cm.

Przy produkcji termistorów listkowych materiał termistorowy z odpowiednim lepikiem i rozpuszczalnikiem ma konsystencję mazistą. Maź tę rozpościera się na dużej powierzchni szklanej i suszy, a następnie tnie się na listki pożądanej wielkości i kształtu. Listki umieszcza się na płaskich powierzchniach ceramicznych i spieka w wysokiej temperaturze. Styki wykonuje się jak w innych metodach. Spotykane wymiary listków są następujące: grubość 0,001 do 0,004 cm, długość 0,1 do 1,0 cm, szerokość 0,02 do 0,1 cm.

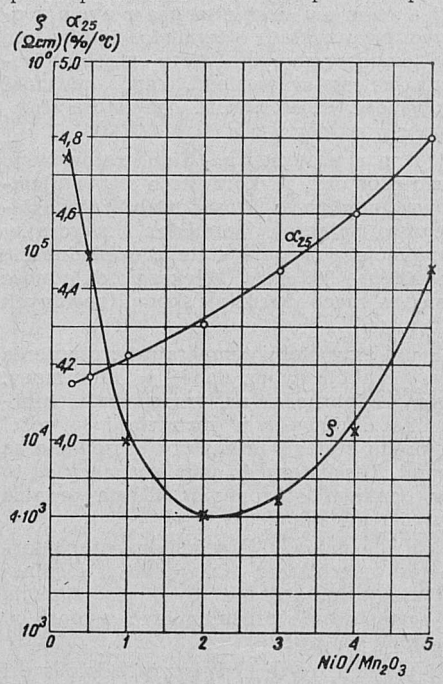
Ciekawym przykładem jest wykonywanie termistorów o bardzo małej stałej czasu. W tym przypadku materiał termistorowy wraz z lepikiem jest natryskiwany na zawieszone nici (np. kwarcowe), a następnie podlega normalnej obróbce cieplnej.

Metody wykonywania oporników nieliniowych. Procesy produkcyjne przy otrzymywaniu oporników nieliniowych mają bieg podobny, jak przy fabrykacji termistorów. Przez odpowiednią obróbkę danego zespołu ziaren można mu nadać właściwości termistora lub opornika nieliniowego.

W termistorach dąży się do uzyskania w zespołach ziaren właściwości zbliżonych do właściwości poszczególnych ziaren. Obróbka mechaniczna i cieplna ma wtedy na celu możliwie jak najdokładniejsze wyeliminowanie zjawisk stykowych na granicach ziaren przez wzajemne przenikanie warstw granicznych. Uzyskuje się to przez prasowanie pod dużym ciśnieniem i spiekanie w wysokiej temperaturze.

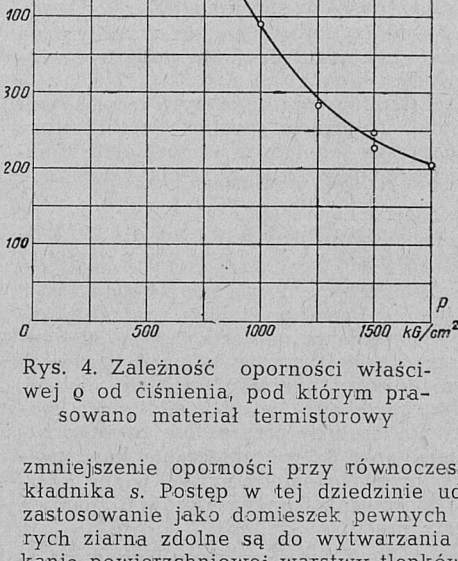
Jeżeli natomiast zależy — jak w opornikach nieliniowych — na uwypukleniu zjawisk stykowych w porównaniu z właściwościami półprzewodnika, to należy prasować próbki pod małym ciśnieniem, a spiekanie wykonywać przy możliwie najniższej temperaturze. Pierwszą czynnością jest zmieszanie sproszkowanego SiC z domieszkami i substancją wiążącą. Dodaje się przy tym niewielkiej ilości wody, aby zapewnić spójność mieszaniny po prasowaniu. Prasowanie wykonywa się w prasach hydraulicznych pod naciskiem rzędu 1 t/cm^2. Sprasowane próbki suszy się celem usunięcia wody, a następnie wygrzewa w atmosferze azotu lub wodoru. Wybór atmosfery, w której odbywa się spiekanie, jest ważny, gdyż atmosfera decyduje w dużym stopniu o wytworzeniu się warstwy izolatora wokół ziaren półprzewodnika. Piec skonstruowany jest w ten sposób, że wygrzewane próbki przesuwają się ze stałą szybkością przez ogrzewaną elektrycznie rurę, pozostając cały czas w atmosferze azotu. Stosowane temperatury spiekania są rzędu 1000°C. Po spieczeniu próbki mają dużą wytrzymałość mechaniczną, lecz są porowate, co umożliwiałoby kondensację wilgoci w porach i w konsekwencji prowadziłoby do niestatecznej pracy. Z tego względu próbki poddaje się — po natryskaniu elektrod metalowych — nasycaniu próżniowemu materiałem niewrażliwym na wilgoć.

Wpływ obróbki cieplnej na właściwości końcowe próbki jest nie mniej decydujący niż wpływ składu. Nieznaczna zmiana temperatury spiekania lub szybkości przesuwu próbki przez piec może zmienić oporność próbki dla danego napięcia o czynnik 10^5. Gdy szybkość przesuwu maleje, tj. gdy czas spiekania wzrasta, oporność próbki maleje. Zmiany temperatury spiekania rzędu 0,2% wystarczają do wywołania znacznych zmian oporności próbek. Spadek oporności występujący podczas procesu spiekania jest związany z powstawaniem coraz większej ilości dobrych styków o charakterystyce liniowej. Styki te bocznikują nieliniowe styki między ziarnami i powodują zmniejszenie odstępstw od liniowości charakterystyki całego opornika.



Rys. 3. Zależność parametrów ϱ i α od składu materiału termistorowego

Jednym z najważniejszych zabiegów dla polepszenia właściwości oporników nieliniowych jest stosowanie domieszek. Najczęściej stosowanymi domieszkami są żelazo, grafit i węgiel bezpostaciowy. Pozwalają one obniżyć wartość stałej k (tj. zmniejszyć oporność) oraz przesunąć krzywą $U(I)$ ku większym natężeniom prądu. Żelazo pozwala ponadto przesunąć zakres nieliniowości charakterystyki ku niższym natężeniom prądu. Jednakże nieodłącznym skutkiem stosowania domieszek jest równoczesny wzrost wykładnika s do wartości bliskich jedności co zmniejsza znacznie nieliniowość charakterystyki.



Rys. 4. Zależność oporności właściwej ϱ od ciśnienia, pod którym prasowano materiał termistorowy

Celem ustabilizowania oporności styków stosuje się przy produkcji oporników nieliniowych proces analogiczny do procesu starzenia termistorów. Proces ten zwany jest formowaniem i polega na zastosowaniu impulsu wysokiego napięcia o takiej wartości, aby nie przekraczać wartości mocy dopuszczalnej statycznie.

Celem nowych opracowań oporników nieliniowych jest zmniejszenie oporności przy równoczesnym zmniejszeniu wykładnika s. Postęp w tej dziedzinie udało się uzyskać przez zastosowanie jako domieszek pewnych półprzewodników, których ziarna zdolne są do wytwarzania podczas procesu spiekania powierzchniowej warstwy tlenków izolujących. Pierwsze wyniki na tej drodze to wartość wykładnika $s = 0{,}1$ uzyska-

na przy niskich opornościach. W oporniku o tej wartości wykładnika uzyskujemy 10-krotny wzrost natężenia prądu przy wzroście napięcia od 240 do 300 V.

Należy przypuszczać, że celem dalszych prac w dziedzinie oporników nieliniowych będzie dokładniejsze zbadanie przydatności innych półprzewodników poza SiC.

7. Stan obecny technologii w kraju.

Otrzymywanie materiałów termistorowych. W Zakładzie Elektroniki I. P. P. T. otrzymywano materiały termistorowe Mn_2O_3, NiO, CuO przez wyprażanie octanu manganowego, węglanu niklowego i kwaśnego węglanu miedziowego. Zakład Trakcji Elektrycznej Instytutu Elektrotechniki stosował jako produkty wyjściowe techniczny tlenek manganu przesiany, zmielony i wyprażony oraz czysty tlenek niklu również wyprażony przy ~ 1100°C w atmosferze powietrza. Celem wyprażania było usunięcie zanieczyszczeń z tlenku manganu oraz stabilizacja zawartości tlenu w obu tlenkach. Stosowany w dalszych próbach tlenek kobaltu był o czystości technicznej.

Technologia termistorów płytkowych. Czynności przygotowawcze nie nasuwają większych wątpliwości. Mielenie składników odbywa się w młynie kulowym, prasowanie na prasie hydraulicznej przy ciśnieniu poniżej 1000 kG/cm². Zakład Trakcji Elektrycznej IEl stosował jako czynnik wiążący kalafonię rozpuszczoną w alkoholu etylowym. ZEIPPT używał do tego samego celu niewielkiej domieszki kaolinu. Przed prasowaniem zwilżano materiał w obu przypadkach wodą destylowaną. Końcowa obróbka cieplna była dokonana w piecu rurowym w temperaturze 1100 — 1300°C. Wstępna obróbka cieplna w przypadku stosowania kalafonii jako czynnika wiążącego składała się z dwu etapów (usunięcie wody i usunięcie kalafonii), w przypadku zaś stosowania kaolinu polegała jedynie na usunięciu wody przez wygrzewanie w temperaturze ok. 500°C.

Wykonanie styków polegało w obu przypadkach na redukcji tlenku srebra nałożonego w postaci odpowiednio spreparowanej pasty na płytkę termistorową.

Termistory perełkowe. Otrzymywanie perełek termistorowych jest zadaniem znacznie trudniejszym od otrzymywania termistorów płytkowych. Materiał termistorowy w postaci pasty o dużej lepkości nakładano na naciągnięte i umieszczone w niewielkiej odległości od siebie druciki platynowe lub platynowo-irydowe. Dla osiągnięcia dostatecznej lepkości otrzymywanych w ten sposób perełek najodpowiedniejszą substancją okazał się miód pszczeli. Obróbka cieplna termistorów perełkowych była taka sama, jak płytkowych *).

Zestawienie otrzymanych wyników. Zestawienie zasadniczych właściwości materiałów termistorowych opracowanych w kraju podano na rys. 1. Jak widać, uzyskano duże wartości α i szeroki zakres wartości ρ, dzięki czemu materiały te nie ustępują materiałom zagranicznym. Starzenie się termistorów krajowych jest do pominięcia, a rozrzut parametrów (ρ i α) nie przekracza na ogół $\pm 15\%$ (dla termistorów perełkowych jest on na razie rzędu $\pm 30\%$). Technologia jest tak dalece opracowana, że podana wartość rozrzutu dotyczy nie tylko jednego wypieku, lecz szeregu kolejnych wypieków.

*) Dokładny opis technologii termistorów ob. w pracach A. Jabłońskiego (IEl) oraz w komunikacie ZE IPPT.

Na rys. 3 podano zależność oporności właściwej ρ i parametru α od stosunku tlenku niklu do tlenku manganu. Jak widać, α pozostaje równe —4,2%/°C w zakresie molowej zawartości Mn_2O_3 od 20% do 60%. Powyżej 60% tej zawartości α wzrasta osiągając dla czystego Mn_2O_3 —6,8%/°C. Gdy zawartość tlenku manganu staje się niższa od 10% elementy wykazują znaczny brak stateczności.

Oporność właściwa przechodzi przez minimum przy stosunku molowym obu tlenków równym jedności. Wynosi ona wtedy 4 000 Ω cm. Dla czystego tlenku manganu wartość ρ jest 10^{10} Ω cm, a dla czystego tlenku niklu 10^8 Ω cm. Domieszka tlenku miedzi pozwala obniżyć oporność właściwą do wartości 40 Ω cm przy wartości α większej od —3%/°C.

Oporność termistora płytkowego zależy od ciśnienia, pod którym prasowano płytkę. Wpływ ciśnienia uwidoczniono na rys. 4.

8. Wytyczne dalszych prac badawczych.

Główne tematy dalszych prac badawczych nad materiałami zmiennooporowymi są następujące:

a) poszukiwanie materiałów termistorowych na zakres do 300°C o dużej trwałości, odtwarzalności, dużym współczynniku α i o odpowiedniej wartości oporności właściwej;

b) poszukiwanie materiałów na termistory ogniotrwałe;

c) studia nad strukturą materiałów termistorowych.

Wydaje się również konieczne podjęcie prac nad materiałami na oporniki nieliniowe.

9. Dezyderaty dla przemysłów surowcowych i pomocniczych.

Ponieważ potrzeby materiałowe przyszłego przemysłu termistorowego są duże pod względem asortymentu, lecz nikłe pod względem ilościowym, wydaje się, że zaspokajanie tych potrzeb powinny przejąć instytuty, a nie zakłady przemysłowe.

Potrzebne materiały można podzielić na trzy grupy:

1) materiały wyjściowe do otrzymywania materiałów termistorowych (tlenki, węglany i inne),

2) materiały na styki i doprowadzenia,

3) emalie ochronne.

W zakresie materiałów grupy pierwszej celem byłoby nie tyle wytwarzanie potrzebnych substancji, ile opracowanie metod ujednolicenia substancji znajdujących się na rynku (jak wykazało dotychczasowe doświadczenie, ich stopień czystości zwykle wystarcza).

W drugiej grupie potrzeb kryje się pozornie błaha sprawa otrzymywania drutów platynowych lub platynowo-irydowych o średnicach 20 μ, 15 μ, 10 μ. Uzyskanie takich średnic jest konieczne do otrzymywania czułych termistorów perełkowych.

W ostatniej grupie należy wymienić jako szczególnie ważne zagadnienie opracowania emalii odpornych na wysokie temperatury.

LITERATURA

Jabłoński A. Rozruszniki termistorowe (Prace IEl, nr 1(9), 1954)

Mikke K. Oporniki półprzewodnikowe (Prace PIT, 1955, w druku)

Rutkowski W. Badania nad termistorami (Biul. Inf. Instytutów Min. Hutn., nr 4, 1954).

Schmidt B., Mikke K., Sołtys Z. O pewnych właściwościach elektrycznych spieków tlenków manganu, niklu i miedzi (Archiw. Elektrot., 1955, w druku)

MGR INŻ. ZDZISŁAW MAJEWSKI, ZAST. PROF.
Zakł. Elektroniki Inst. Podstaw. Probl. Techn. P.A.N.

German i krzem

546.289:546.28:621.315.592

Treść. Wybrane zagadnienia technologii germanu i krzemu z punktu widzenia zastosowania tych materiałów w elektronowych przyrządach półprzewodnikowych: tranzystorach, diodach krystalicznych i inn. Zarys obecnego stanu wiedzy o właściwościach germanu i krzemu ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk, które występują wyłącznie w materiałach półprzewodzących, tj. zjawisk wprowadzania i dyfuzji nośników mniejszościowych. Technologia otrzymywania, oczyszczania i monokrystalizacji germanu i krzemu, technologia stosowania tych materiałów w elektronowych przyrządach półprzewodnikowych oraz metody kontroli specjalnych właściwości elektrycznych: ruchliwości i czasu trwania nośników. Stan obecny i perspektywy rozwoju technologii germanu i krzemu w kraju oraz postulaty w sprawie dalszych badań w tej dziedzinie, a także wytyczne dla odpowiednich gałęzi przemysłu.

1. Wstęp.

Półprzewodniki są ciałami o budowie krystalicznej, wyróżniającymi się trzema zasadniczymi cechami: a) czułością strukturalną, b) wzrostem przewodności ze wzrostem temperatury, c) przewodzeniem prądu elektrycznego za pośrednictwem dwóch rodzajów nośników. Z racji tych własności stanowią one ośrodek, w którym — jak w próżni lub w gazach rozrzedzonych — mogą występować zjawiska oddziaływania na nośniki prądu pól elektrycznego i magnetycznego, a także energii cieplnej, promieniowania i energii kinetycznej cząstek.

Wartości przewodności właściwej półprzewodników są zawarte pomiędzy wartościami przewodności metali i izolatorów i wynoszą przeciętnie od 10^6 do 10^{-2} Ω cm w temperaturze normalnej (300°K). Przewodność półprzewodników wzrasta szybko ze wzrostem zawartości domieszek obcych pierwiastków w sieci krystalicznej (co jest jednym z przejawów czułości strukturalnej) oraz na ogół wzrasta ze wzrostem temperatury w sposób wykładniczy.

Zjawiska związane z temperaturową zmiennością przewodności są wykorzystywane w przyrządach zwanych termistorami, tj. w przyrządach oporowych o dużej czułości cieplnej (thermal sensitivity resistors).

W najważniejszych we współczesnej elektronice półprzewodnikowej przyrządach prostowniczych i wzmacniających wykorzystuje się zjawiska powstawania barier potencjałowych na granicy różnych warstw w półprzewodnikach (tzw. warstw *p-n*) — lub odpowiednich barier pomiędzy półprzewodnikiem i ostrzem metalowym — oraz różne zachowanie się nośników obydwóch rodzajów w stosunku do tych barier.

Systematyczne badania nad półprzewodnikami natrafiały początkowo na trudności ze względu na ogromną wrażliwość tych materiałów na najmniejsze zawartości domieszek obcych ciał oraz zależność właściwości próbek od ich budowy krystalicznej, sposobu obróbki itd. Dopiero rozwój metod technologicznych, pozwalający na uzyskanie bardzo czystych materiałów o strukturze monokrystalicznej doprowadził do wyników o wymaganej ścisłości i powtarzalności. Technicznym rezultatem tego było opracowanie w okresie drugiej wojny światowej diod krzemowych, zastosowanych jako mieszacze mikrofalowe w urządzeniach radarowych, oraz wykrycie w 1946 r. zjawiska wzmocnienia prądów za pomocą półprzewodników z trzema elektrodami (zjawisko tranzystorowe).

Chociaż pierwsze badania nad półprzewodnikami dotyczyły raczej minerałów powszechnie występujących w przyrodzie i wykazujących omawiane właściwości (np. siarczków, tlenków itp.), to jednak wzrost wymagań technicznych zwrócił zainteresowania badawcze w kierunku pierwiastków, gdzie procesy technologiczne były łatwiejsze do przeprowadzenia, a interpretacja wyników znacznie prostsza.

Takimi pierwiastkami są german i krzem.

Rozpatrując zagadnienia germanu i krzemu należy uwzględnić następujące okoliczności:

a) szereg zagadnień nie jest jeszcze dostatecznie lub jednoznacznie opracowanych wobec stosunkowo niedługiego okresu interesowania się nauki i techniki półprzewodnikami;

b) przy niezmiernie szybkim postępie prac w dziedzinie półprzewodników w literaturze światowej stale ukazują się przyczynki mogące zmienić nasze poglądy na niektóre fragmenty poruszanych zagadnień;

c) w półprzewodnikach zachodzą nieznane gdzieindziej zjawiska elektronowe (np. wprowadzanie nośników), co utrudnia oparcie się na utartych pojęciach elektrotechniki;

d) półprzewodniki stosuje się w nowych przyrządach (np. tranzystorach) jako ośrodek zjawisk elektronowych, a więc przy wyborze kryteriów oceny materiałów należy rozważyć szereg specjalnych metod pomiarowych.

Wymienione okoliczności sprawiają, że zagadnienia germanu i krzemu nie mogą być omówione tak systematycznie jak zagadnienia innych materiałów, których zastosowanie w elektronice jest ugruntowane od szeregu lat, oraz że w referacie stosunkowo więcej miejsca należy poświęcić nietypowym właściwościom elektrycznym tych materiałów i metodom stosowanym do ich badania.

2. Charakterystyka germanu i krzemu.

Z j a w i s k a p r z e w o d n i c t w a. Zasadnicze właściwości elektryczne półprzewodnika w stanie równowagi termodynamicznej *) określa przewodność właściwa i stała Halla materiału.

Przewodność zależy od gęstości i ruchliwości nośników w następujący sposób:

$$\sigma = e\,(n_e u_e + n_h \cdot u_h), \tag{1}$$

gdzie n — gęstość nośników (cm^{-3}),
u — ruchliwość nośników ($cm^2/V \cdot s$),

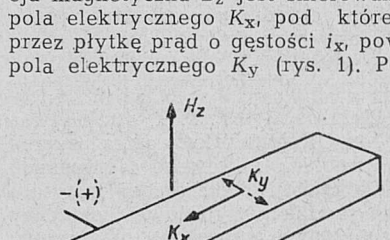
przy czym wskaźnik e dotyczy elektronów, zaś wskaźnik h dotyczy dziur. Jeżeli można pominąć gęstość nośników mniejszościowych, to wyrażenie na przewodność uprości się:

$$\sigma_n = e\,n_e u_e \quad \text{(półprzewodnik donorowy)}, \tag{2}$$

$$\sigma_p = e\,n_h u_h \quad \text{(półprzewodnik akceptorowy)} \tag{3}$$

*) Zagadnienia związane z teorią pasmową półprzewodników, a w szczególności pojęcia pasm energetycznych, zakłóceń doskonałej sieci krystalicznej, elektronów i dziur, nośników większościowych i mniejszościowych nie mogą być omawiane w niniejszym referacie. Czytelnik znajdzie je w następujących pracach autora: „Fizyczne podstawy elektroniki półprzewodników" (Rozprawy Elektrotechn., 1955, nr 2) oraz „Półprzewodnikowe elementy nieliniowe" Prace Przemysł. Inst. Telekomun., 1954, nr 11).

Stała Halla określa wpływ poprzecznej składowej pola magnetycznego na nośniki znajdujące się pod działaniem pola elektrycznego. W płytce półprzewodnikowej, w której indukcja magnetyczna B_z jest skierowana prostopadle do natężenia pola elektrycznego K_x, pod którego działaniem przepływa przez płytkę prąd o gęstości i_x, powstaje poprzeczne natężenie pola elektrycznego K_y (rys. 1). Pole to powstaje w wyniku oddziaływania pola magnetycznego na prąd elektryczny nośników. Przy krawędziach płytki tworzy się ładunek przestrzenny, czemu towarzyszy pojawienie się składowej poprzecznej pola elektrycznego. Zwrot wektora pola zależy od zwrotów wektorów K_x i B_z oraz od znaku nośników. Przy przewodnictwie elektronowym zwrot wektora K_y jest przeciwny niż przy przewodnictwie dziurowym. Zjawisko Halla może służyć zatem do określenia typu przewodnictwa półprzewodnika. Natężenie pola poprzecznego jest proporcjonalne do gęstości prądu oraz indukcji magnetycznej:



Rys. 1. Zjawisko Halla w półprzewodniku

$$K_y = R \cdot B_z \cdot i_x. \tag{4}$$

Stała proporcjonalności R nazywa się stałą Halla. Można dowieść, że stała Halla w przypadku półprzewodnika o znacznej przewadze nośników jednego typu zależy od gęstości i ruchliwości nośników w sposób następujący:

$$R_n = -\frac{3\pi}{8}\,\frac{1}{e\,n_e} \quad \text{(półprzewodnik donorowy)}, \tag{5}$$

$$R_p = -\frac{3\pi}{8}\,\frac{1}{e\,n_h} \quad \text{(półprzewodnik akceptorowy)}. \tag{6}$$

Z pomiarów przewodności właściwej stałej i Halla w półprzewodniku o znacznej przewadze nośników jednego typu można bezpośrednio określić gęstość i ruchliwość nośników po odpowiednim przekształceniu wyrażeń (2) i (5) lub (3) i (6):

$$n_e = \frac{3\pi}{8}\,\frac{1}{e\,R_n}, \qquad n_h = \frac{3\pi}{8}\,\frac{1}{e\,R_p}, \tag{7}$$

$$u_e = \frac{8}{3\pi}\,\sigma_n R_n, \qquad u_h = \frac{8}{3\pi}\,\sigma_p \cdot R_p. \tag{8}$$

Zagadnienie komplikuje się w przypadku konieczności uwzględnienia obu rodzajów nośników. Przewodność jest określona wtedy przez równanie (1), a stała Halla zależy od gęstości i ruchliwości zarówno elektronów, jak i dziur:

$$R = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{n_e u_e^2 - n_h u_h^2}{(n_e u_e + n_h u_h)^2}. \tag{9}$$

W równaniach (1) i (9) występują wtedy cztery zmienne niezależne, co wymaga przeprowadzenia dodatkowych pomiarów innymi metodami (rozdz. 4).

Gęstość i ruchliwość nośników zależą od temperatury oraz gęstości domieszek. Zależność gęstości nośników od temperatury ma charakter wykładniczy.

$$n = \text{const} \cdot T^{3/2} \cdot e^{-\frac{\Delta W}{kT}}\ (cm^{-3}) \quad \text{— półprzewodnik niesamoistny}, \tag{10}$$

$$n = \text{const} \cdot T^{3/2} \cdot e^{-\frac{\Delta W_s}{2\,kT}}\ (cm^{-3}) \quad \text{— półprzewodnik samoistny}. \tag{11}$$

W ten sposób krzywa teoretyczna $\log n$ $\frac{1}{T}$ jest w przybliżeniu linią prostą. W istocie składa się ona z trzech odcinków zbliżonych do prostoliniowych. W małych temperaturach następuje wzrost jonizacji centrów obcych, co warunkuje przewodnictwo niesamoistne. Mamy do czynienia z tzw. zakresem zapasu. Przy zwiększaniu temperatury osiąga się taką jej wartość, przy której wszystkie centra obce zostają zjonizowane, wobec czego dalszy wzrost temperatury nie powoduje wzrostu gęstości nośników w pasmie przewodnictwa; krzywa gęstości osiąga nachylenie zbliżone do zera. Jest to tzw. zakres wyczerpania. W odpowiednio wysokiej temperaturze średnia energia cieplna elektronów jest już wystarczająca do przeniesienia ich z pasma podstawowego do pasma przewodnictwa.

Tworzą się wtedy pary elektron — dziura warunkujące przewodnictwo samoistne (10). Następuje wtedy bardzo szybki wzrost gęstości nośników z wzrostem temperatury.

Zwiększenie liczby domieszek powoduje wzrost wartości gęstości nośników w określonej temperaturze w zakresie zanacznie bardziej skomplikowana. Na wykresach (rys. 5) przedstawiono zależności obu rodzajów ruchliwości od temperatury dla germanu i krzemu o różnej zawartości domieszek. W tabl. II zestawiono odpowiednie zależności i wartości liczbowe.

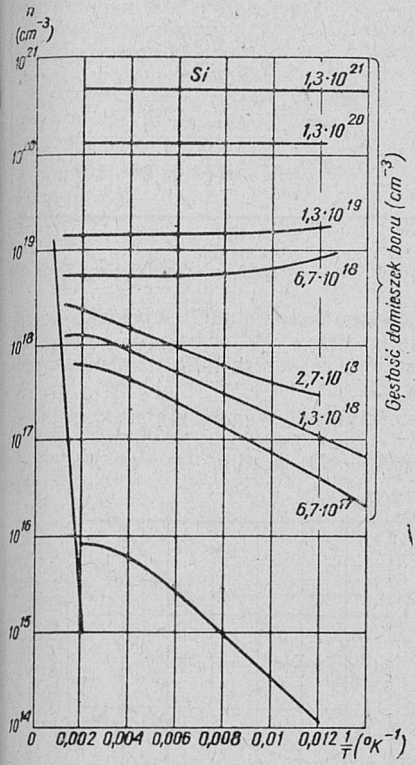
W przypadku, gdy konieczne jest uwzględnienie ruchliwości domieszkowej, wartość wypadkową ruchliwości otrzymuje się z przybliżonej zależności:

$$\frac{1}{u} \approx \frac{1}{u_L} + \frac{1}{u_I}, \qquad (12)$$

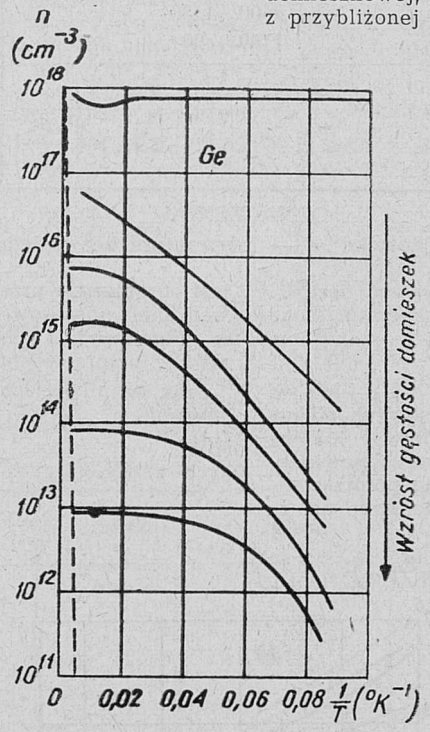
bądź też bardziej dokładnie z wykresu $u_L/u_I = f/u/u_L$ na rys. 6.

Na rys. 7 przedstawiono zależności ruchliwości wypadkowej nośników w germanie i krzemie od temperatury dla próbek o różnych gęstościach domieszek.

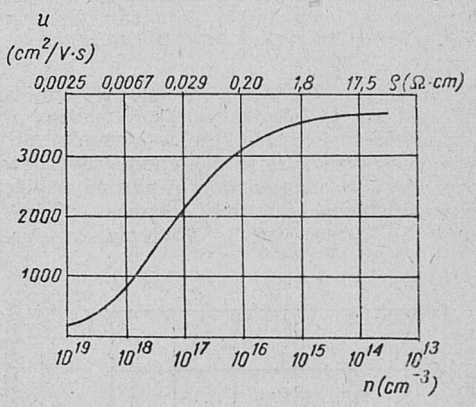
Wartość oporności półprzewodnika stanowi odwrotność iloczynu wartości gęstości nośników i ruchliwości. Krzywe



Rys. 2. Gęstość nośników w funkcji temperatury w przypadku krzemu o różnej zawartości domieszek



Rys. 3. Gęstość nośników w funkcji temperatury w przypadku germanu o różnej zawartości domieszek

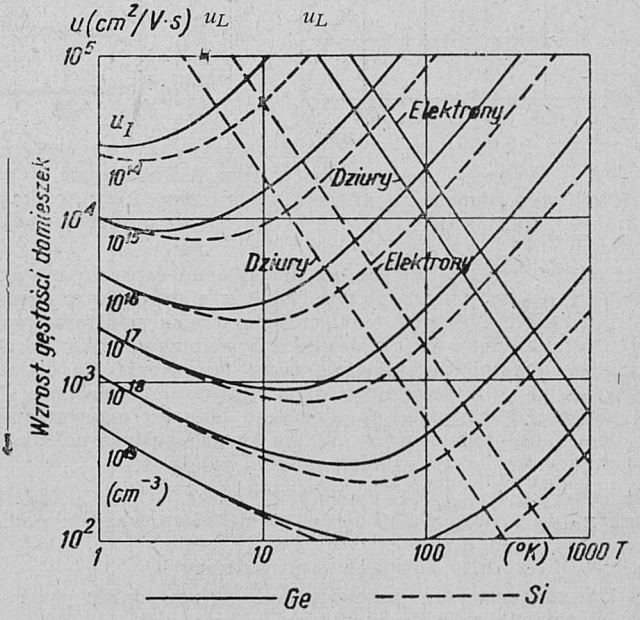


Rys. 4. Ruchliwość nośników w funkcji gęstości nośników (german)

pasu oraz skrócenie zakresu wyczerpania, który przy większej liczbie domieszek może w ogóle zaniknąć. Gęstość nośników w zakresie przewodnictwa samoistnego nie zależy, oczywiście, od gęstości domieszek. Należy zauważyć, że znaczny wzrost zawartości domieszek może doprowadzić do przewodnictwa o charakterze metalicznym. Na wykresach (rys. 2 i 3) przedstawiono krzywe gęstości nośników w funkcji temperatury dla krzemu i germanu o różnej zawartości domieszek. W tabl. I zestawiono odpowiednie zależności z uwzględnieniem wartości liczbowych występujących stałych.

Ruchliwość nośników jest to średnia prędkość w kierunku pola elektrycznego wywołana przez pole o natężeniu jednostkowym. Ruchliwość nośników w półprzewodniku jest uwarunkowana przez dwa zasadnicze zjawiska: zderzenie nośników z węzłami sieci oraz oddziaływanie nośników ze zjonizowanymi donorami i akceptorami. Wielkość wywołana pierwszym zjawiskiem nazywa się ruchliwością sieciową (u_L), wielkość wywołana drugim zjawiskiem — ruchliwością domieszkową (u_I). Krzywa zależności ruchliwości germanu typu n w funkcji gęstości elektronów przewodnictwa (rys. 4) wskazuje na to, że poczynając od gęstości mniejszych niż $\sim 10^{-15}$ cm^{-3} (tj. oporności właściwych większych od 2 Ω cm) ruchliwość jest praktycznie niezależna od zawartości domieszek, a więc wpływ ruchliwości domieszkowej można pominąć.

Ruchliwość sieciowa w półprzewodnikach jest proporcjonalna do temperatury w potędze $-\frac{3}{2}$ i nie zależy oczywiście od domieszek. Ruchliwość domieszkowa zależy zarówno od temperatury jak i od zawartości domieszek. Postać funkcji jest



Rys. 5. Składowe ruchliwości nośników w funkcji temperatury w przypadku germanu i krzemu o różnej zawartości domieszek

Tablica I. Gęstość nośników w germanie i krzemie

	German	Krzem
Gęstość nośników w półprzewodniku samoistnym w temperaturze T°K (cm^{-3})	$n = 9{,}7 \cdot 10^{15} \cdot T^{3/2} e^{-\frac{4350}{T}}$	$n = 2{,}8 \cdot 10^{16} \cdot T^{3/2} e^{-\frac{6450}{T}}$
Gęstość nośników w półprzewodniku samoistnym w temperaturze 300°K (cm^{-3})	$n = 2{,}5 \cdot 10^{13}$	$n = 6{,}8 \cdot 10^{10}$

Tablica II. Ruchliwość nośników w germanie i krzemie

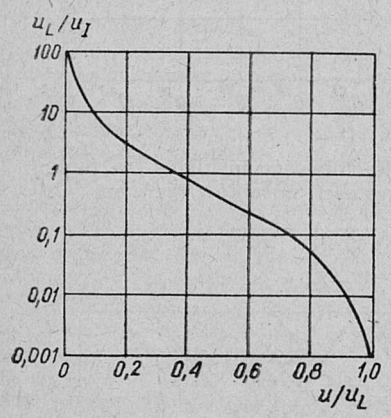
		German	Krzem
Ruchliwość sieciowa ($cm^2/V \cdot s$)	elektrony (T°K)	$19 \cdot 10^6 \cdot T^{-3/2}$	$6{,}2 \cdot 10^6 T^{-3/2}$
	dziury (T°K)	$8{,}9 \cdot 10^6 \cdot T^{-3/2}$	$1{,}3 \cdot 10^6 T^{-3/2}$
	elektrony (300°K)	3600 ± 180	1200 ± 120
	dziury (300°K)	1700 ± 90	250 ± 120
Ruchliwość domieszkowa ($cm^2/V \cdot s$)		$8{,}5 \cdot 10^{17} \frac{m}{m_{sk}} \frac{T^{3/2}}{N \cdot \ln\left(1 + 8{,}3 \cdot 10^8 \frac{T^2}{N^{2/3}}\right)}$	$4{,}7 \cdot 10^{17} \frac{m}{m_{sk}} \frac{T^{3/2}}{N \cdot \ln\left(1 + 4{,}5 \cdot 10^8 \frac{T^2}{N^{2/3}}\right)}$

OZNACZENIA

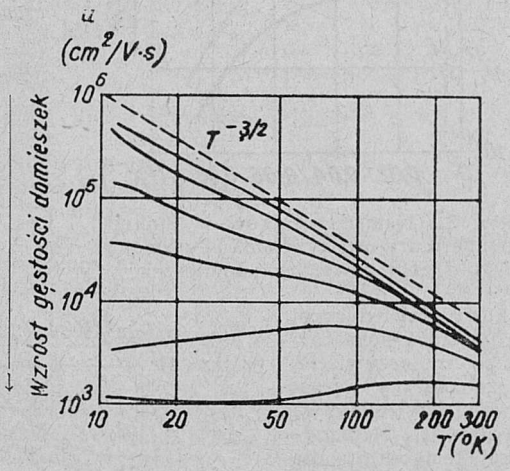
m — masa elektronu m_{sk} — masa skuteczna nośnika T — temperatura bezwzględna (°K) N — gęstość domieszek (cm^{-3})

oporności mają przebieg odpowiadający krzywym gęstości z tą jedynie różnicą, że w zakresie średnich temperatur mogą występować niewielkie minima odpowiadające maksimom krzywych ruchliwości (rys. 8 i 9).

Zjawiska wprowadzania nośników. Zjawisko wprowadzania nośników mniejszościowych polega na tym, że w półprzewodnikach można wywoływać lokalne zmiany gęstości nośników w stosunku do stanu odpowiadającego równowadze termodynamicznej. Jeżeli do półprzewodnika typu n zostanie doprowadzone napięcie dodatnie np. za pośrednictwem elektrody ostrzowej, to prąd, który popłynie



Rys. 6. Wykres pozwalający określić wypadkową ruchliwość nośników



Rys. 7. Ruchliwość wypadkowa nośników w funkcji temperatury w przypadku germanu i krzemu o różnej zawartości domieszek

w obwodzie zamkniętym, będzie się składać zarówno z elektronów z pasma przewodnictwa, jak i z elektronów z pasma podstawowego. Pobranie elektronów z pasma podstawowego jest równoważne wprowadzeniu do półprzewodnika porcji nośników dodatnich, czyli tzw. dziur. Pojawienie się dodatniego ładunku przestrzennego dziur wywołuje pojawienie się natychmiast równoważącego ujemnego ładunku przestrzennego elektronów dodatkowych. W ten sposób gęstość nośników w półprzewodniku zmienia się według zależności

$$n = n_{eo} + n_h + n_e, \tag{13}$$

gdzie n_{oe} — gęstość nośników w stanie równowagi termodynamicznej,

$n_h - n_e$ — gęstość nośników wprowadzonych.

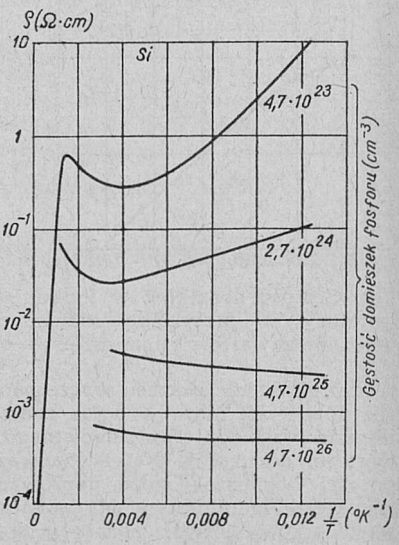
Analogiczne zjawisko zachodzi w półprzewodniku typu p w odniesieniu do elektronów.

Wprowadzenie nośników może być dokonane za pośrednictwem elektrod ostrzowych lub obszarów półprzewodnika zwanych emiterami. Napięcie emitera musi być dodatnie, jeżeli obszar, do którego wprowadzane są nośniki mniejszościowe, jest typu n i ujemne, jeżeli jest on typu p. Wprowadzenie nośników może być także zrealizowane na zasadzie pobudzenia fotoelektrycznego.

Nośniki mniejszościowe rozchodzą się w półprzewodniku z prędkością odpowiadającą ich ruchliwości, wywołując lokalne zmiany przewodności oraz oddziaływając na bariery potencjałowe, tworzące się na granicy warstw o odmiennym typie przewodnictwa. Penetracja nośników mniejszościowych jest ograniczona przez zjawisko rekombinacji. Zjawisko wprowadzania nośników mniejszościowych występuje wyłącznie w półprzewodnikach; jest ono zasadnicze dla działania przyrządów półprzewodnikowych.

Prąd nośników mniejszościowych wyraża się następującym równaniem:

$$\vec{i} = eun\vec{K} - eD \cdot \text{grad } n, \tag{14}$$



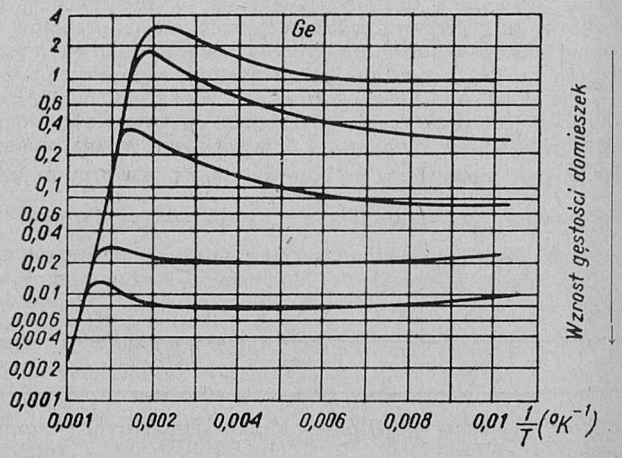
Rys. 8. Oporność w funkcji temperatury w przypadku krzemu o różnej zawartości domieszek

gdzie e — ładunek elektronu,

u — ruchliwość nośników mniejszościowych,

D — stała dyfuzji nośników mniejszościowych,

K — natężenie pola.



Rys. 9. Oporność w funkcji temperatury w przypadku germanu o różnej zawartości domieszek

Stała dyfuzji uzależniona jest od ruchliwości za pośrednictwem tzw. zależności Einsteina: $D = \frac{kT}{e} \cdot u$.

We wzorze (14) pierwszy składnik przedstawia składową unoszenia, wywołaną oddziaływaniem pola elektrycznego na nośniki i proporcjonalną do gradientu potencjału, drugi składnik przedstawia składową dyfuzyjną wywołaną cieplnym rozpraszaniem nośników i proporcjonalną do gradientu gęstości nośników. Rozpatrując rekombinację nośników, które pojawiły się w dowolnym obszarze półprzewodnika, zakłada się, że wartość przyrostu (ujemna) ich gęstości jest proporcjonalna w każdej chwili do wartości gęstości. Tak więc istnieje zależność:

$$dn = -C \cdot n \cdot dt, \tag{15}$$

a po rozwiązaniu:

$$n(t) = n_0 e^{-\frac{t}{\tau}}, \tag{16}$$

gdzie n — gęstość nośników mniejszościowych w chwili t,
n_0 — gęstość nośników w chwili $t = 0$.

Stałą czasu τ tej funkcji nazywa się średnim czasem trwania nośników*). Średni czas trwania nośników, jest to zatem czas, po którym gęstość nośników mniejszościowych n_0, które pojawiły się w półprzewodniku w chwili $t = 0$, spada do wartości n_0/e.

W przypadku ciągłego pojawiania się nośników mniejszościowych w pewnym obszarze ich rozkład przestrzenny osiągnie na skutek zjawisk dyfuzji i rekombinacji pewien przebieg ustalony. Parametry funkcji, określającej ten przebieg, można powiązać z wartością czasu trwania nośników. Jeżeli rozpatrzy się półprzewodnik, na którego powierzchni tworzą się nośniki mniejszościowe, przy czym wydajność procesu jest stała, to wartość gęstości nośników w dowolnym punkcie w odległości x od powierzchni jest określona przez ogólne równanie dyfuzji

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}. \tag{17}$$

Uwzględniając zależność (15) otrzymuje się równanie różniczkowe drugiego rzędu:

$$\frac{\partial^2 n}{\partial t^2} = \frac{n}{D\tau}, \tag{18}$$

którego rozwiązaniem jest następująca funkcja

$$n = n_0 \cdot e^{-\frac{x}{\sqrt{D \cdot \tau}}}. \tag{19}$$

Wielkość $\sqrt{D \cdot \tau}$ nazywamy średnią drogą dyfuzji i oznaczamy symbolem L. Stała dyfuzji nośników w germanie wynosi 44 cm²/s, a czas trwania nośników zawiera się w granicach od kilku do kilku tysięcy mikrosekund.

Wartość czasu trwania nośników zależy przede wszystkim od czystości półprzewodnika, jego krystalizacji oraz stanu powierzchni. Uzyskanie dużych wartości czasu trwania nośników jest jednym z głównych warunków prawidłowego działania przyrządów półprzewodnikowych. Duże czasy trwania osiąga się z reguły w czystych półprzewodnikach o prawidłowej krystalizacji. Skrócenie czasu trwania może być wywołane w wielu przypadkach przez zjawisko rekombinacji powierzchniowej. Ażeby wyeliminować szkodliwy wpływ powierzchni stosuje się różne zabiegi technologiczne, przede wszystkim wytrawianie oraz projektuje się jak najbardziej korzystny kształt półprzewodnika w przyrządach.

Właściwości fizyczne germanu i krzemu są zestawione w tabl. III.

Tablica III. Własności fizyczne germanu i krzemu

Wielkość	Jednostka	German	Krzem
Liczba atomowa		32	14
Ciężar atomowy		72,6	28,09
Stała sieci	Å	5,62	5.42
Gęstość atomów	cm^{-3}	$4{,}52 \cdot 10^{22}$	$5{,}0 \cdot 10^{22}$
Ciężar właściwy	G/cm^3	5,35	2,4
Twardość w skali Brinella	$kG \cdot mm^2$		240
Współczynnik sprężystości	cm^2/kG		0,32
Współczynnik rozszerzalności liniowej	$10^{-6}/°C$	6,1(0 ÷ 300°C) 6,6(300 ÷ 650°C)	7,63 (40°C) 7,8 (50°C) 4,68 (15 — 1000°C)
Temperatura topnienia	°C	936	1410
Ciepło topnienia	cal/mol	8300	
Ciśnienie par w temp. topnienia	Tr	$4{,}5 \cdot 10^{-5}$	$3{,}16 \cdot 10^{-2}$
Temperatura wrzenia	°C	2700	2630
Ciepło parowania	cal/mol		44000
Temperatura krytyczna	°C		4920
Ciśnienie krytyczne	atm		1450
Ciepło właściwe	cal/g·st	0,074 (0 — 100°C)	0,170 (24°C) 0,196 (129°C)
Ciepło atomowe	cal/g·st		4,84 (24°C) 5,56 (129°C)
Przewodność cieplna	cal/cm·s·st	0,14 (25°C) 0,11 (100°C)	0,20
Szerokość pasma zabronionego	eV	0,76	1,11
Energia aktywacji donorów	eV	0,04	0,054
Energia aktywacji akceptorów	eV	0,04	0,08
Oporność samoistna	Ω·cm	57	63600
Ruchliwość elektronów (większościowych)	$cm^2/V \cdot s$	2600	300
Ruchliwość elektronów (mniejszościowych)	$cm^2/V \cdot s$	3600	1200
Ruchliwość dziur (większościowych)	$cm^2/V \cdot s$		100
Ruchliwość dziur (mniejszościowych)	$cm^2/V \cdot s$	1700	250
Średnia droga swobodna elektronu	cm	$5{,}6 \cdot 10^{-6}$	$8{,}6 \cdot 10^{-6}$
Średnia droga swobodna fononu	cm	$4{,}8 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
Praca wyjścia	eV		4,8
Stała dielektryczna		16	12

Uwaga: Wszystkie dane, przy których nie podano wartości temperatury, dotyczą temperatury pokojowej (20°).

3. Zastosowanie germanu i krzemu w przyrządach półprzewodnikowych.

German i krzem znajdują zastosowanie w półprzewodnikowych przyrządach prostowniczych, wzmacniających, fotoelektrycznych itp. Stanowią one w tych przyrządach części (zwykle w postaci niewielkich płytek), w których są wytwarzane obszary o nieliniowym przestrzennym przebiegu potencjału. Wprowadzenie mniejszościowych nośników elektryczności do tych obszarów oraz przenoszenie w nich obydwóch rodzajów nośników pod wpływem pola zewnętrznego oraz dyfuzji termicznej powoduje wyżej wymienione rodzaje działania.

Przyrządami o działaniu prostowniczym są diody krystaliczne, złożone z półprzewodnika elektronowego i z dwóch elektrod. Przyrządy te odznaczają się asymetrią charakterystyki napięciowo-prądowej w stosunku do początku układu współrzędnych.

Przyrządami wzmacniającymi są tranzystory złożone z półprzewodnika elektronowego i co najmniej z trzech elektrod. Wykazują one działanie czwórnika czynnego o trzech parametrach stanowiących oporności nieliniowe oraz czwartym — tzw. wzmocnieniu prądowym.

*) Stosowany jeszcze niekiedy termin „czas życia" należy uznać za niepoprawny z punktu widzenia języka polskiego.

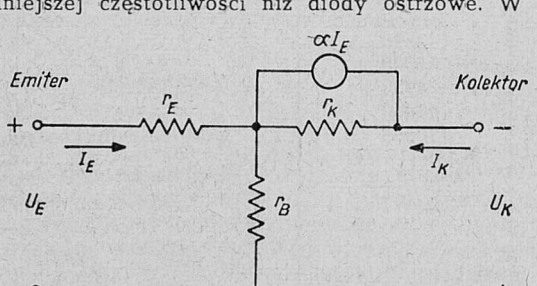
Diody krystaliczne i tranzystory stają się przyrządami o masowym już obecnie zastosowaniu w technice łączności, elektronice i automatyce.

Przyrządami fotoelektrycznymi są fototranzystory, wskaźniki promieniowania i ogniwa słoneczne. W przyrządach tych wyzyskuje się oddziaływanie energii promieniowania na parametry elektryczne warstw *p-n* w półprzewodnikach.

Poza tym znane są następujące przyrządy półprzewodnikowe, w których — jak w poprzednio wymienionych — wyzyskuje się german i krzem: fieldistory, linie opóźniające, gyratory, magnetometry, ogniwa atomowe, odgromniki. Przyrządy te znajdują w chwili obecnej niewielkie jeszcze zastosowania, a stan opracowania niektórych z nich (ogniwa słoneczne, ogniwa atomowe, odgromniki) nie wykroczył poza ramy opracowań laboratoryjno-badawczych.

Diody krystaliczne wykonywa się w postaci przyrządów ostrzowych oraz warstwowych. Wśród diod ostrzowych specjalną klasę stanowią diody mieszające i detekcyjne, a wśród diod warstwowych — diody mocy. Działanie prostownicze diod ostrzowych uzyskuje się za pomocą styku pomiędzy powierzchnią germanu lub krzemu oraz ostrzem metalowym (wolfram, platynoiryd itp.). Krzemowe diody ostrzowe stosuje się jako mieszacze lub detektory w pierwszych stopniach odbiorników mikrofalowych. Odznaczają się one dużym nachyleniem charakterystyki w kierunku przewodzenia (ok. 100 Ω przy 1 mA), niewielkim napięciem wstecznym (kilka woltów), małą pojemnością (ok. 0,5 pF), bardzo małymi szumami w zakresie mikrofalowym (współczynnik temperatury szumów $\vartheta \geqslant 1{,}5$) oraz dużą częstotliwość graniczną (do 30 000 MHz). Germanowe diody ostrzowe stosuje się we wszelkich układach elektronowych zamiast diod próżniowych, jeżeli pozwalają na to warunki napięciowe, energetyczne i częstotliwościowe. Częstotliwość graniczna tych diod wynosi zazwyczaj 100 MHz, pojemność ok. 1 pF, największy prąd wyprostowany 50 mA, a największa moc admisyjna jest rzędu 100 mW. Wykonywane są diody ostrzowe o napięciu wstecznym do 200 V przy oporności dynamicznej rzędu 200—400 Ω oraz diody detekcyjne o niewielkim napięciu wstecznym (do 20 V) i bardzo małej oporności dynamicznej (20—40 Ω).

W diodach warstwowych działanie prostownicze występuje w obszarze przejściowym pomiędzy warstwami *p* i *n* półprzewodnika. Diody warstwowe są przyrządami większej mocy, lecz mniejszej częstotliwości niż diody ostrzowe. W handlu



Rys. 10. Układ zastępczy tranzystora

znajduje się obecnie wyłącznie diody warstwowe germanowe niewielkiej mocy. Prowadzone są intensywne prace badawcze nad diodami warstwowymi dużej mocy oraz diodami warstwowymi krzemowymi o bardzo wielkiej oporności wstecznej i dużej odporności termicznej. Typowa germanowa dioda warstwowa (4 J A I A 4) ma napięcie wsteczne 400 V, prąd wyprostowany 0,5 A, częstotliwość graniczną 50 MHz. W komunikatach z prac badawczych nad diodami germanowymi mocy podaje się, że uzyskano diody o obciążalności prądowej 500 A/cm², spadku napięcia (przy prądzie 1000 A) poniżej 1 V, prądzie wstecznym (przy napięciu 100 V) mniejszym od 30 mA oraz mocy admisyjnej 150 W/cm². Opracowano diodę germanową z chłodzeniem wodnym, która pozwala uzyskać średni prąd wyprostowany 200 A i szczytowy prąd wyprostowany 600 A przy napięciu wyprostowanym 100 V i spadku napięcia przy pełnym obciążeniu 0,8 V. Diody germanowe nie mogą pracować w temperaturze przekraczającej 80°C. Z analogicznych komunikatów o diodach krzemowych wynika, że w diodach warstwowych o małej powierzchni warstwy (0,00005 cm²) uzyskuje się niezwykle małe prądy wsteczne (10^{-10} A w temperaturze pokojowej), współczynnik prostowania 10^8 (przy napięciu 1 V) oraz częstotliwość graniczną dochodzącą do 20 MHz. Opracowano diodę krzemową o większej powierzchni warstwy, której moc prostowana wynosi 1,2 kW. Diody krzemowe mogą pracować w temperaturze dochodzącej do 300°C.

Diody półprzewodnikowe są przyrządami o bardzo małych rozmiarach. Objętość diod ostrzowych wynosi przeciętnie ok. 0,2 cm³, objętość diod warstwowych zależy od wartości mocy prostowanej. Rozmiary ich są niewielkie: wymieniona wyżej dioda germanowa dużej mocy mieści się z łatwością w dłoni.

Tranzystory wykonywa się w postaci przyrządów ostrzowych i warstwowych. W tranzystorze ostrzowym dwie elektrody — emiter i kolektor — stykają się z powierzchnią płytki półprzewodnikowej, której zmetalizowana powierzchnia przeciwległa stanowi trzecią elektrodę, tzw. bazę. Średnica styku emitera i kolektora z półprzewodnikiem jest rzędu 1,5 ÷ 3 μ, a odległość wzajemna styków — ok. 20 μ. Emiter jest elektrodą sterującą. W obwodzie kolektor-baza występuje wzmocnienie mocy.

Tranzystor warstwowy składa się z trzech warstw półprzewodnika *n-p-n* lub *p-n-p*. Pierwsza warstwa o niewielkiej oporności (rzędu 10^{-2} Ω cm) stanowi emiter, warstwa środkowa o odmiennym typie przewodnictwa i o bardzo małej grubości (kilkadziesiąt mikronów) stanowi bazę, warstwa zaś ostatnia — kolektor. Doprowadzenia mają charakter metalizacji powierzchniowej i nie wykazują dostrzegalnych zjawisk stykowych. Proces wzmocnienia zachodzi w złączu *p-n-p* lub *n-p-n*, przy czym nośniki mniejszościowe emitera dyfundując przez obszar bazy, wywołują zmiany bariery potencjału w obwodzie kolektora, spolaryzowanego w kierunku wstecznym.

Tranzystory ostrzowe i warstwowe stosuje się jako elementy czynne w układach wzmacniających i generacyjnych, a także innych specjalnych układach elektronowych (np. tryggerach). Tranzystor jest równoważny czwórnikowi czynnemu, którego układ zastępczy jest przedstawiony na rys. 10. Typowe przeciętne wartości parametrów obu rodzajów tranzystorów są zestawione w tabl. IV.

Pojemność emitera i kolektora są większe w tranzystorach warstwowych. Jak wynika z porównania wartości przytoczonych w tablicy, w tranzystorach ostrzowych osiąga się większą częstotliwość graniczną oraz większe wzmocnienie prądowe, jednakże przy większym współczynniku szumów. Tranzystory warstwowe charakteryzują się mniejszymi szumami, lecz mniejszą jednocześnie częstotliwością graniczną. Rozwój techniki tranzystorów zmierza w kierunku zwiększenia wartości mocy, zwiększenia częstotliwości granicznej, zmniejszenia szumów oraz dostosowania oporności zastępczych czwórnika do wartości odpowiadających różnym wymaganiom układów. Odrębnym zagadnieniem jest sprawa osiągnięcia właściwej powtarzalności oraz stateczności parametrów.

Zwiększenie częstotliwości granicznej w tranzystorach ostrzowych uzyskano przez zastosowanie dodatkowej elektrody, przez którą przepływa dodatkowy prąd w obszarze kolektora. W tranzystorach warstwowych zagadnienie częstotliwości rozwiązuje się przez zmniejszenie grubości warstwy bazy lub przez zastosowanie dodatkowej warstwy pośredniej półprzewodnika samoistnego (tzw. tranzystory *n-p-i-n*). Na skalę przemysłową wykonywa się wyłącznie tranzystory germanowe. Prowadzone są prace nad tranzystorami krzemowymi pod kątem zwiększenia częstotliwości granicznej oraz mocy ze względu na możliwość dopuszczenia znacznie większej temperatury złącza.

Z pozostałych przyrządów półprzewodnikowych należy wymienić fototranzystory ostrzowe i warstwowe, w których prze-

Tablica IV. Przeciętne własności tranzystorów — ostrzowego i warstwowego

	Oporność emitera	Oporność bazy	Oporność kolektora	Wzmocnienie prądowe	Współczynnik szumów (przy 1 kc/s)	Częstot. graniczna
	Ω	Ω	Ω	—	d B	MHz
Tranzystor ostrzowy	120	75	$1{,}5 \cdot 10^4$	2,5	45	7
Tranzystor warstwowy	25	250	$5 \cdot 10^6$	0,94	15	5

bieg charakterystyki wstecznej jest uzależniony od natężenia światła padającego na obszar styku lub warstwy. Największą czułość uzyskuje się w zakresie podczerwieni ($\lambda = 1{,}5\ \mu$). Charakterystyka czułości fototranzystora ostrzowego rozciąga się w zakresie od 0,7 do 2 μ. Fototranzystor warstwowy wykazuje szerszy zakres czułości widmowej w zakresie fal krótszych. Fototranzystory wykonywa się z germanu.

Ogniwa słoneczne są przyrządami, w których zjawisko fotoelektryczne jest wykorzystywane do zmiany energii słonecznej na elektryczną. Otrzymuje się wydajność ok. 200 W/m^2 przy sprawności rzędu 8%. Prace w tej dziedzinie nie wyszły poza stadium laboratoryjne. Ogniwa słoneczne wykonywa się z cienkich płytek krzemowych, na których powierzchni otrzymuje się warstwę grubości rzędu kilku mikronów o odmiennym typie przewodnictwa.

Na zakończenie należy wspomnieć o ogniwach atomowych, w których naświetlanie warstwy *p-n* półprzewodnika przez promieniowanie β preparatu promieniotwórczego, umieszczonego w jej sąsiedztwie, powoduje powstawanie siły elektromotorycznej. Właściwości doświadczalnych ogniw atomowych są zestawione w tabl. V. Pierwsze wzmianki o ogniwach atomowych zanotowano w roku 1954. Wyniki znane w chwili obecnej są raczej skromne, ale perspektywy bezpośredniej przemiany energii jądrowej na elektryczną — bardzo poważne.

4. Stan obecny technologii germanu i krzemu.

Wytwarzanie

Surowce. German występuje w przyrodzie wyłącznie w stanie związanym. Skorupa ziemska zawiera ok. 7 G germanu na tonę (niklu 100 G/t, cynku 40 G/t, kadmu 0,5 G/t), jednakże znajduje się on w stanie rozproszenia; brak jest rud o znacznej koncentracji germanu. Zasadnicze źródła otrzymywania germanu stanowią: blendy cynkowe zawierające do 1% siarczku germanu oraz węgle kamienne zawierające do 1% germanu, a w rzadkich przypadkach do 4% (Jugosławia, Japonia).

Poza tym german występuje w następujących dość rzadkich minerałach:

a) germanit, siarczek germano-miedziowy zawierający żelazo i gal (7 CuS, FeS, GeS_2) — zawiera do 6% germanu,

b) argyrodyt, siarczek srebra i germanu (4Ag_2S, GeS_2) — zawiera do 7% germanu,

c) ultrabazyt, siarczek germanu, antymonu, ołowiu i srebra (2 Sb_2S_3, 3 GeS_2, 11 Ag_2S, 28 PbS) — zawiera 3 — 4% germanu. Ślady germanu zawierają również pewne wody mineralne i popioły niektórych wodorostów morskich.

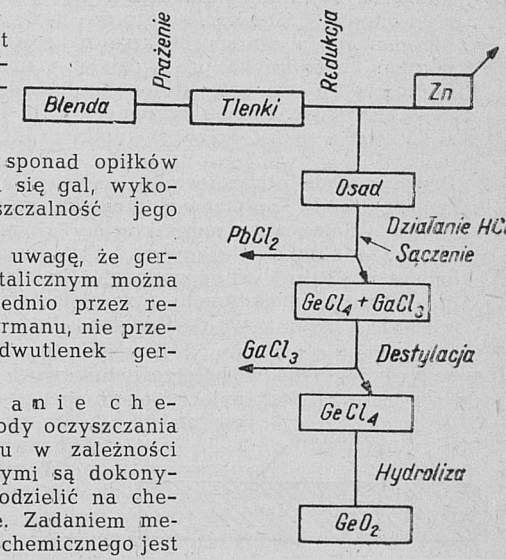
Krzem jest najbardziej rozpowszechnionym ze wszystkich pierwiastków występujących w warunkach normalnych w stanie stałym. Występuje on wyłącznie w postaci związków przede wszystkim w minerałach zawierających dwutlenek krzemu SiO_2.

Zagadnienie surowca wyjściowego nie odgrywa więc w technice półprzewodników poważniejszej roli.

Ekstrakcja. German wydobywa się na skalę przemysłową głównie z odpadków rud cynkowych oraz węgla kamiennego. Schemat ekstrakcji w pierwszym przypadku jest przedstawiony na rys. 11. Siarczki podlegają prażeniu, przechodząc w tlenki. Te są następnie redukowane węglem w temperaturze, w której cynk odprowadzany jest w postaci pary. W pozostałościach znajduje się german i gal. Działanie na nie kwasem solnym i odsączenie z gorącego roztworu chlorków oraz innych pozostałości nierozpuszczalnych pozwala otrzymać wyłącznie mieszaninę chlorków germanu i galu. Czterochlorek germanu ($GeCl_4$, temper. wrzenia 83,1°) oddziela się na zasadzie destylacji, a następnie hydrolizuje na dwutlenek germanu (GeO_2).

Podobnie otrzymuje się german z węgla (rys. 12). Produkty prażenia sadzy węglowej poddaje się działaniu kwasu solnego oraz destylacji. W otrzymanym czterochlorku germanu mogą wystąpić ślady trójchlorku arsenu. Przeprowadza się drugą destylację w atmosferze chloru, wskutek czego trójchlorek arsenu przechodzi w pięciochlorek, który jest o wiele mniej lotny.

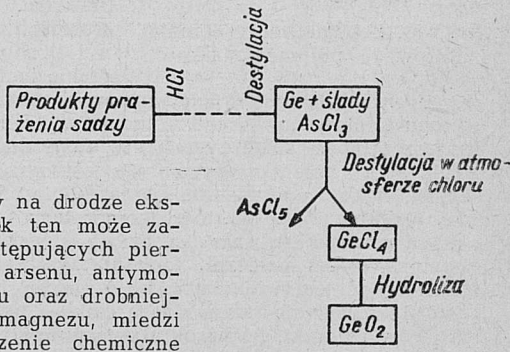
W procesach stosowanych przez poszczególne placówki naukowe i techniczne stosuje się szereg modyfikacji, zależnie od występowania różnego rodzaju zanieczyszczeń. I tak na przykład usuwa się nieraz ślady arsenu destylując czterochlorek germanu sponad opiłków miedzi lub usuwa się gal, wykorzystując rozpuszczalność jego chlorku w eterze.



Rys. 11. Schemat ekstrakcji germanu z rud cynkowych

Należy zwrócić uwagę, że german w stanie metalicznym można otrzymać bezpośrednio przez redukcję chlorku germanu, nie przechodząc przez dwutlenek germanu.

Oczyszczanie chemiczne. Metody oczyszczania germanu i krzemu w zależności od środków, którymi są dokonywane, można podzielić na chemiczne i fizyczne. Zadaniem metod oczyszczania chemicznego jest doprowadzenie czystości półprzewodnika do stopnia umożliwiającego zastosowanie subtelniejszych metod oczyszczania fizycznego, bądź też usunięcia tych zanieczyszczeń, które metodami fizycznymi usunąć się nie pozwalają. W procesie oczyszczania chemicznego germanu punktem wyjścia jest dwutlenek, otrzymany na drodze ekstrakcji. Dwutlenek ten może zawierać ślady następujących pierwiastków: glinu, arsenu, antymonu, cynku, ołowiu oraz drobniejsze — krzemu, magnezu, miedzi i boru. Oczyszczenie chemiczne obejmuje przejście od dwutlenku do czterochlorku germanu i wielokrotną destylację aż do otrzymania substancji o czystości spektralnej. Następnie czterochlorek germanu ponownie podlega hydrolizie. Otrzymany dwutlenek poddaje się redukcji w atmosferze wodoru w temp. 600—650°C. Temperatura powinna być niższa od 710°C, tj. od temp. sublimacji tlenku germanu. Przeprowadzając przez dwutlenek germanu strumień wodoru z prędkością 0,5 m^3/h można uzyskać 100 g metalicznego germanu w przeciągu 2 — 3 godz. przy wydajności procesu równej 96 — 98% wydajności teoretycznej. Na zakończenie redukuje się resztki tlenku w temperaturze 900°C oraz ogrzewa się german powyżej temperatury 1000°C w celu stopienia go.



Rys. 12. Schemat ekstrakcji germanu z węgla kamiennego

O czystości otrzymanego germanu świadczy przede wszystkim wartość jego oporności właściwej; wynosi ona zwykle od 0,1 do kilku omocentymetrów. Uzyskanie pozytywnych wyników wymaga dużej staranności: używane naczynia powinny być kwarcowe, gazy — spektralnie czyste, woda — wielokrotnie destylowana; stwierdzono nawet wpływ czystości powietrza w laboratorium na otrzymywane wyniki.

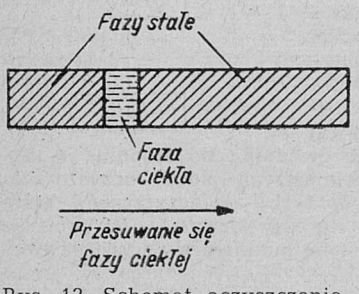
Tablica V. Właściwości doświadczalnych ogniw atomowych

	Powierzchnia warstwy (cm^2)	Pierwiastek promieniotwórczy	Natężenie promieniowania β (m. Curie)	Siła elektromotoryczna (mV)	Prąd zwarcia (μA)	Sprawność (%)
Krzem	0,25	Stront 90	55	250	10	0,4
German	0,25	Itr 90	50	30	20	

Krzem odpowiedniej czystości otrzymuje się przez redukcję czterochlorku cynkiem w temperaturze 950°C. Reakcję przeprowadza się w ogrzewanej ciepłem Joule'a rurze kwarcowej, przez którą przepływają pary cynku i czterochlorku krzemu. Jeden tylko produkt reakcji — krzem — jest ciałem stałym w temperaturze reakcji i osadza się w postaci igiełkowych kryształów na dnie reaktora. Powstający z reakcji chlorek cynku oraz ewentualny nadmiar cynku przechodzą w postaci par do odpowiednich kondensatorów, gdzie ulegają zestaleniu. Z otrzymanego w ten sposób krzemu usuwa się resztki zanieczyszczeń chemicznych przez działanie nań kwasem solnym i fluorowodorowym oraz staranne płukanie go wodą destylowaną. Czystość krzemu otrzymanego tą metodą jest większa od 99,9%, jeżeli tylko składniki reakcji są dostatecznie czyste.

Druga metoda otrzymywania krzemu przydatnego w technice przyrządów półprzewodnikowych polega na wielogodzinnym działaniu na sproszkowany krzem metalurgiczny kwasami — solnym, siarkowym i fluorowodorowym w odpowiednim stężeniu i w odpowiedniej kolejności. Poszczególne etapy procesu chemicznego przedziela staranne odsączenie i płukanie krzemu wodą destylowaną.

O c z y s z c z a n i e f i z y c z n e. Technologia współczesnych przyrządów półprzewodnikowych wymaga oczyszczenia materiału tak dalece, jak to jest praktycznie możliwe. Dąży się do otrzymania półprzewodnika samoistnego. W niektórych przypadkach taki półprzewodnik podlega celowemu zanieczyszczeniu w ilościach dozowanych z najwyższą osiągalną dokładnością.



Rys. 13. Schemat oczyszczania strefowego półprzewodników

Oporność właściwa germanu samoistnego w temperaturze normalnej wynosi 57 Ω cm. Ażeby osiągnąć wartości zbliżone do podanej liczby, stosuje się specjalne metody oczyszczania, wśród których najbardziej owocną okazała się metoda wytopu strefowego. W tej metodzie wykorzystuje się różnice rozpuszczalności zanieczyszczeń w fazie stałej i ciekłej germanu. Jeżeli pałeczka germanowa jest ogrzewana w ten sposób, że tylko w niewielkim obszarze otrzymuje się temperaturę przekraczającą wartość temperatury topnienia (rys. 13) i jeżeli następnie obszar ten będzie ulegał powolnemu przesuwaniu wzdłuż pałeczki, to zanieczyszczenia, których rozpuszczalność jest większa w fazie ciekłej niż w fazie stałej, będą przesuwać się razem z fazą ciekłą i grupować w jednym z końców pałeczki. Po parokrotnym powtórzeniu procesu przy przesuwaniu strefy topionej z szybkością paru centymetrów na godzinę otrzymuje się na drugim końcu pałeczki stan dużej czystości, charakteryzujący się opornością rzędu kilkudziesięciu omocentymetrów.

Stosunek stężeń pierwiastka zanieczyszczającego na granicy stałej i ciekłej nazywa się współczynnikiem segregacji tego pierwiastka. W tabl. VI podano wartość współczynników segregacji niektórych typowych domieszek występujących w germanie.

Im bardziej wartość współczynnika segregacji odbiega od jedności, tym skuteczniej zachodzi przemieszczenie zanieczyszczeń danego pierwiastka pod wpływem wytopu strefowego. Jeżeli wartość współczynnika segregacji jest mniejsza od jedności, zanieczyszczenia przesuwają się zgodnie z kierunkiem ruchu fazy ciekłej, w przeciwnym przypadku — odwrotnie. Na rys. 14 przedstawiono krzywą wyników oczyszczania germanu metodą wytopu strefowego.

Poza metodą wytopu strefowego stosuje się metodę krystalizacji postępującej, której zasada jest podobna, lecz skuteczność na ogół mniejsza.

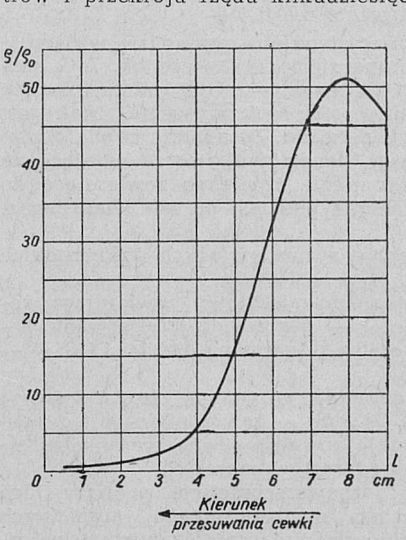
W przypadku krzemu stosuje się w ostatnim czasie również metody wytopu strefowego. Ze względu jednak na bardzo dużą aktywność chemiczną tego pierwiastka w stanie stopionym oraz ze względu na to, że w stanie stopionym przylega on (inaczej niż german) do kwarcu, wprowadza się metody wytopów beztyglowych.

M o n o k r y s t a l i z a c j a. Półprzewodniki polikrystaliczne mogą być stosowane tylko w przyrządach o styku ostrzowym, w przyrządach zaś warstwowych konieczne jest operowanie monokryształami.

T a b l i c a VI. Stałe segregacji różnych pierwiastków w stosunku do germanu

Bor	20	Chrom	0,007
Krzem	5	Antymon	0,006
Fosfor	0,12	Ind	0,001
Gal	0,1	Srebro	0,0001
Glin	0,1	Złoto	0,00003
Arsen	0,06	Miedź	0,000016
Cynk	0,01		

Przybliżoną monokrystalizację uzyskuje się w przypadku bardzo powolnego chłodzenia germanu po wytopie strefowym. Proces ten jednak trudno kontrolować, a jakość otrzymanych kryształów i powtarzalność wyników pozostawiają wiele do życzenia. W celu otrzymania dobrych monokryształów germanu stosuje się zwykle metodę wyciągania z fazy ciekłej za pomocą odpowiednio zorientowanego zarodka (metoda Czochralskiego). Temperatura ciekłego germanu oraz szybkość wyciągania określają przekrój otrzymanego monokryształu. Konieczne jest stosowanie bardzo dokładnej stabilizacji temperatury (rzędu 0,1°C). German wyciąga się zwykle wzdłuż osi **111** (duża przekątna sześcianu), jakkolwiek możliwe jest również wyciąganie wzdłuż innych osi. W ten sposób otrzymuje się monokryształy o długości do kilkunastu centymetrów i przekroju rzędu kilkudziesięciu milimetrów kwadratowych. Należy zauważyć, że podczas wyciągania odbywa się samorzutnie segregacja zanieczyszczeń, która jednakże nie zawsze jest w tym wypadku zjawiskiem pożądanym.



Rys. 14. Przebieg oporności wzdłuż pałeczki germanowej po oczyszczeniu strefowym

Monokryształy krzemu można uzyskiwać na tej samej zasadzie. Jednakże z uwagi na konieczność stabilizacji dużo wyższej temperatury oraz ze względu na duże ciśnienie par krzemu w temperaturze topnienia (tabl. III) proces ten jest znacznie trudniejszy do przeprowadzenia.

Należy podkreślić, że wszelkie procesy termiczne z krzemem i germanem wykonuje się bądź w wysokiej próżni, bądź w atmosferze gazu obojętnego.

S t o s o w a n i e. Metody technologiczne przy stosowaniu germanu i krzemu są związane z wytwarzaniem złącz *p-n* w tych materiałach oraz styków tych materiałów z metalami. Działanie wymienionych złącz i styków omówiono w rodz. 3.

Można wyróżnić dwie grupy metod: *a)* wytwarzanie zakłóceń w sieci przed krystalizacją materiału, b) wytwarzanie zakłóceń w sieci w materiale skrystalizowanym.

Do pierwszej grupy należy wprowadzenie domieszek do półprzewodnika w stanie stopionym. Znane jest na przykład wprowadzanie domieszek glinu w ilości 0,25 — 0,5% lub boru w ilości 0,003 — 0,006% do krzemu przeznaczonego do wyrobu krzemowych diod mieszających. W celu otrzymania złącz *p-n* w germanie stosuje się wprowadzanie ściśle określonej ilości domieszek podczas procesu wyciągania monokryształów. Uzyskuje się w ten sposób zmianę typu przewodnictwa w części monokryształu. Podobny wynik można uzyskać przez zmianę prędkości wyciągania, co jest związane ze zmianą segregacji domieszek.

W znacznej większości metod stosuje się wprowadzanie zakłóceń w gotowej płytce krystalicznej. Można tu wymienić działanie termiczne na półprzewodnik, działanie impulsów prądowych, bombardowanie nukleonowe i jonowe, dyfuzję termiczną domieszek, wtapianie i rekrystalizację pierwiastka donorowego lub akceptorowego, wreszcie pewne sposoby działania mechanicznego. Wiadomo, że ogrzanie do temperatury 800°C i szybkie ochłodzenie germanu o przewodnictwie typu *n* powoduje zmianę typu przewodnictwa. Metoda impul-

sów prądowych pozwala na wprowadzenie w półprzewodniku lokalnych zmian w obszarze styku. Bombardowanie krzemu jonami niektórych gazów (He, N, Ne, Ar) o energii rzędu 50 keV wywołuje zmiany powierzchniowe struktury półprzewodnika związane z obszarem o grubości kilkudziesięciu angstromów. Najbardziej subtelne są metody bombardowania nukleonowego. Stwierdzono na przykład, że bombardowanie monokryształu germanu strumieniem cząstek α o natężeniu $6 \cdot 10^9 \frac{1}{cm^2 \cdot h}$ i energii 5,3 MeV w ciągu 72 godzin wywołało przemianę n-p w obszarze o grubości rzędu 20 μ. Bombardowanie neutronami półprzewodnikowego stopu ind-antymon wywołuje przemianę części atomów antymonu na atomy akceptorowe cyny. Stwarza to możliwości nadzwyczaj ścisłego kontrolowania wprowadzonych domieszek.

Powszechnie stosowana jest metoda lokalnego wtapiania indu do germanu o przewodnictwie typu n w temperaturze ok. 500°C. Z powstałego stopu german przy obniżaniu temperatury rekrystalizuje się w postaci o przewodnictwie typu p. W technologii diod i tranzystorów warstwowych stosuje się przede wszystkim metodę wtapiania, w technologii zaś diod i tranzystorów ostrzowych stosuje się formowanie styków metodą impulsów prądowych.

Druga z wymienionych grup wprowadzania zakłóceń siatki krystalicznej wymaga operowania płytką germanu lub krzemu o określonym kształcie. Ażeby uzyskać taką płytkę stosuje się cały cykl obróbki mechanicznej i chemicznej. Należy tu wymienić cięcie monokryształu lub pałeczki otrzymanej z wytopu strefowego, niekiedy szlifowanie i polerowanie płytek, powtórne cięcie na małe prostopadłościany o objętości poniżej 1 mm^3, a wreszcie trawienie powierzchni. German i krzem należą do materiałów, które są dość odporne na działanie substancji trawiących. Stosuje się szereg mieszanin zawierających kwas fluorowodorowy (tabl. VII) oraz metody trawienia elektrolitycznego. Po wykonaniu styku lub złącza zachodzi konieczność wytworzenia niskooporowego liniowego styku z powierzchnią przeciwległą do powierzchni czynnej płytki w diodach oraz tzw. bazy w tranzystorach. Stosuje się tu szereg niskotopliwych stopów o dobrej przyczepności do germanu i często o zawartości pierwiastka akceptorowego. Krzem przed lutowaniem pokrywa się zazwyczaj elektrolitycznie niklem.

M e t o d y b a d a n i a. Właściwości germanu i krzemu decydujące dla ich zastosowań określają najlepiej parametry elektryczne.

Podczas ekstrakcji i oczyszczania chemicznego półprzewodnika pewne wskazówki dotyczące rodzaju i ilości zanieczyszczeń może dać analiza chemiczna bądź spektralna. Jednakże w ostatniej fazie oczyszczania chemicznego powinno się osiągnąć czystość przekraczającą granice czułości analizy widmowej. Dalsze oczyszczanie oraz następne procesy technologiczne kontroluje się metodami elektrycznymi.

Technologia oczyszczania, krystalizacji i wytwarzania warstw p-n w germanie i krzemie liczy zaledwie kilka lat i ulega stałym modyfikacjom. W ślad za tym ciągle jeszcze wprowadzane są nowe metody pomiarów, przy czym dąży się do przystosowania ich do badania ściśle określonych wielkości oraz do uczynienia ich najbardziej dostępnymi w technice. Nie można więc w chwili obecnej mówić o metodyce pomiarów półprzewodników elektronowych jako o zagadnieniu całkowicie opracowanym. Wydaje się jednak, że wielkościami, które w pełni określają materiał półprzewodzący z punktu widzenia zastosowania go w przyrządach półprzewodnikowych, są: gęstość, ruchliwość oraz czas trwania nośników. Gęstość i ruchliwość nośników większościowych określa się z pomiarów oporności oraz stałej Halla materiału. Ruchliwość oraz czas trwania nośników wprowadzanych mierzy się bezpośrednimi metodami o charakterze impulsowym lub fotoelektrycznym.

T a b l i c a VII. Mieszaniny do trawienia germanu

Lp.	HNO_3 (stężony) (ml)	H_2O_2 (30%) (ml)	HF (48%) (ml)	$CH_3 \cdot COOH$ (ml)	$Ag\,NO_3$ (g)	H_2O (ml)
1		50	50			
2	45		25	30		
3	20		40		2	40
4	23		13	64		
5		17	17			66
6	13		8	79		
7	5		3	92		
8	13		37		2	50
9	7		4	89	3	

Pomiar oporności przeprowadza się metodą kompensacyjną, ażeby wyeliminować zjawiska stykowe. Jeżeli półprzewodnik ma kształt pałeczki, jak w przypadku próbek otrzymanych z wytopu strefowego lub wyciąganych podczas monokrystalizacji, zasila się go na końcach, a wzdłużny rozkład oporności mierzy się za pomocą dwóch sond ostrzowych o zmiennym położeniu i regulowanej wzajemnej odległości. Jeżeli próbka ma kształt płytki, to postać ostrzy mają nie tylko sondy do kompensacji, lecz również elektrody zasilające. Rozkład pola w próbce określa się wstępnie na podstawie rozważań teoretycznych, przy czym — w zależności od kształtu próbki oraz stosunku odległości ostrzy do grubości płytki — wprowadza się różne wartości poprawek na mierzoną wartość oporności. Metoda dwupunktowa jest metodą prostą i dokładną. Metoda czteropunktowa wymaga — ze względu na teoretyczne obliczenie rozkładu pola pomiędzy elektrodami zasilającymi oraz ze względu na możliwość zakłócającego działania nośników wprowadzanych — bardzo starannego przeprowadzenia oraz sprawdzenia na innej drodze. Ruchliwość nośników większościowych określa się na podstawie pomiarów stałej Halla (ob. rozdz. 2). Zjawisko Halla jest znane od dawna i opracowane szczegółowo. W technice dogodne jest stosowanie napięcia zmiennego, co pozwala na zastosowanie wzmacniacza lampowego napięcia zmiennego. Stosuje się napięcia o niewielkiej częstotliwości akustycznej oraz wzmacniacz wybiorczy. Określenie rodzaju przewodnictwa za pomocą znaku stałej Halla wymaga sprawdzenia zależności fazowych napięcia wywołującego przepływ prądu oraz napięcia poprzecznego. Należy podkreślić, że pomiary oporności, jak i stałej Halla, pozwalają na określenie gęstości i ruchliwości nośników tylko w przypadku dużej przewagi gęstości nośników jednego rodzaju.

Pomiaru ruchliwości nośników wprowadzanych dokonuje się zwykle metodami impulsowymi. Najbardziej znana jest metoda Haynesa-Shockley'a, polegająca na pomiarze czasu, po którego upływie impuls nośników mniejszościowych, wprowadzonych do półprzewodnika za pomocą elektrody b, dociera do elektrody a. Znając natężenie pola oraz odległości pomiędzy elektrodami określa się ruchliwość. Schemat blokowy podanej metody w opracowaniu Prince'a przedstawiono na rys. 15a.

Natężenie pola przesuwającego nośniki pomiędzy elektrodami wytwarza się za pomocą szerokich impulsów prostokątnych o czasie trwania rzędu 100 μs. Na tle tych impulsów doprowadza się do elektrody b (emitera) krótkie impulsy wprowadzające. Pomiar przedziału czasowego metodą synchroskopową pomiędzy impulsami wprowadzającymi a impulsami unoszonych dziur w punkcie a (kolektor) pozwala określać ruchliwość (rys. 15b).

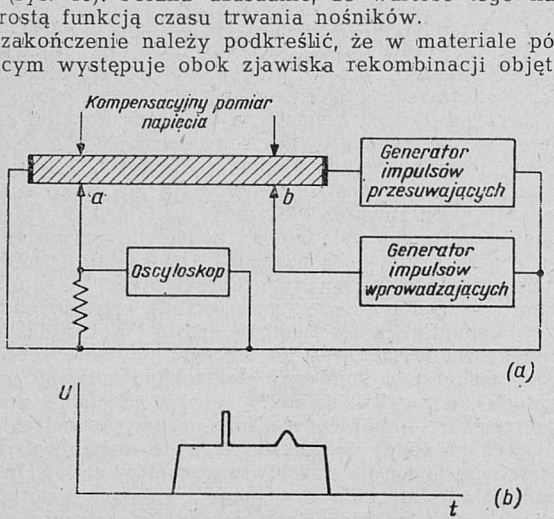
Liczne metody pomiarów czasu trwania nośników są oparte na zależnościach (16) i (19), podanych w rozdz. 2. Nośniki mniejszościowe o gęstości początkowej n_0 wprowadza się za pośrednictwem bądź impulsów napięciowych doprowadzonych do emitera, bądź też impulsów świetlnych. Pomiary zmian gęstości nośników pod wpływem rekombinacji (w założeniu, że charakter funkcji gęstości w czasie i przestrzeni jest wykładniczy) pozwalają określić stałą czasu tej funkcji, czyli średni czas trwania nośników. Zmiany gęstości nośników pod wpływem rekombinacji stwierdza się bądź na zasadzie pomiaru modulacji przewodności, bądź wreszcie na zasadzie pomiaru napięcia Halla, zawsze w obszarze położonym w pewnej odległości od obszaru wprowadzenia nośników.

Nie jest możliwe szczegółowe omówienie w niniejszym referacie poszczególnych metod, ze względu na dużą liczbę różnych modyfikacji i szczególne podstawy teoretyczne szeregu z nich. Wszystkie one jednak wykorzystują zasadę zjawiska wprowadzania i rekombinacji, omówionego w rozdz. 2. Można tu wspomnieć bardziej szczegółowo jedynie o metodzie „klasycznej" Haynesa-Shockley'a oraz o metodzie foto-magneto-elektrycznej, która powinna być dość łatwa do zrealizowania w warunkach pomiarów przemysłowych.

Pierwsza stanowi niewielką modyfikację podanej metody pomiaru ruchliwości; pomiar stosunku amplitud impulsu emitera i kolektora przy zmianie odległości pomiędzy tymi elektrodami pozwala wyznaczyć czas trwania.

Zjawisko foto-magneto-elektryczne polega na tym, że nośniki wprowadzane na powierzchnię płytki półprzewodnika i dyfundujące ku wnętrzu podlegają działaniu pola magnetycznego poprzecznego w ten sposób, że na przeciwległej powierzchni płytki powstaje napięcie analogiczne do napięcia Halla (rys. 16). Można uzasadnić, że wartość tego napięcia jest prostą funkcją czasu trwania nośników.

Na zakończenie należy podkreślić, że w materiale półprzewodzącym występuje obok zjawiska rekombinacji objętościo-



Rys. 15. Schemat blokowy modyfikacji metody Haynesa-Shockley'a do pomiaru ruchliwości

wej, zależnego od czystości i krystalizacji, również zjawisko rekombinacji powierzchniowej, na które głównie wpływa mechaniczna i chemiczna obróbka powierzchni. W większości metod dąży się do separacji obu zjawisk. Z punktu widzenia kontroli materiału istotny jest pomiar rekombinacji objętościowej.

Poza wymienionymi metodami pomiarów bezpośrednich można mierzyć szereg właściwości materiałów metodami pośrednimi, mierząc parametry przyrządów wykonanych z germanu lub krzemu. I tak np. napięcie wsteczne układu o styku



Rys. 16. Schemat zjawiska foto-magneto-elektrycznego

ostrzowym german-wolfram jest funkcją oporności germanu, a zjawisko tranzystorowe w zależności od odległości emiter-kolektor jest funkcją czasu trwania nośników. Metody te powinny być zakwalifikowane raczej do metod badania przyrządów, a zastosowanie ich do kontroli materiału wynika najczęściej z niedokładnego opracowania techniki pomiarów bezpośrednich i wymaga założenia, że na odpowiednie właściwości wpływają wyłącznie parametry materiału. Założenia takie są możliwe tylko w przybliżeniu i tylko w nielicznych przypadkach szczególnych. German lub krzem stosowane do przyrządów półprzewodnikowych należy charakteryzować na podstawie pomiarów bezpośrednich, natomiast wyniki pomiarów pewnych parametrów przyrządów będą zależały od zmian, którym podlegał materiał podczas procesu technologicznego zastosowanego przy wytwarzaniu przyrządu.

Zagadnienie normalizacji

Zagadnienia normalizacji materiałów półprzewodzących germanu i krzemu nie było, jak się zdaje, nigdzie jeszcze dotąd opracowane. Wynika to stąd, że procesy technologiczne tych materiałów ulegają szybkiemu rozwojowi, powodując nieustanny wzrost jakości materiałów z punktu widzenia zastosowania ich w przyrządach półprzewodnikowych. Niewątpliwie w krajach, gdzie wytwarzanie przyrządów półprzewodnikowych osiągnęło już stadium masowości, musiano opracować w fabrykach wewnętrzne warunki techniczne na materiały. Zapewne jednak ulegają one ciągle jeszcze zmianom, a zresztą stanowią tajemnicę producentów, podobnie jak i w małym zakresie ujawnia się szczegóły samych procesów technologicznych.

Zagadnienie normalizacji pozostaje wobec tego raczej w sferze badań naukowych. Pracuje się nad ustaleniem funkcji korelacyjnych pomiędzy parametrami przyrządów półprzewodnikowych a parametrami materiałów. Niektóre z tych zależności omówiono już wyżej. Wydaje się, że w wyniku wymienionych tam prac badawczych oraz po ustaleniu podczas produkcji pewnych współczynników uwzględniających charakter wykonawstwa masowego, można by wysunąć projekt norm materiałowych. Z powyższym wiąże się normalizacja metod pomiarowych. Jak wynika z poprzedniego rozdziału w chwili obecnej opracowuje się jednoznaczne i dogodne metody pomiarów. Każdy miesiąc przynosi nowe publikacje z tego zakresu. Wydaje się, że metodami, które zostały opracowane z dostateczną ścisłością dla celów kontroli technicznej, są: metoda kompensacyjna pomiaru oporności (dwu- i czteropunktowa) i metoda pomiaru zjawiska Halla.

W najbliższym czasie będzie zapewne można to samo powiedzieć o metodzie impulsowej pomiaru ruchliwości i metodzie foto-magneto-elektrycznej pomiaru czasu trwania nośników.

5. Stan obecny technologii germanu i krzemu w kraju.

Technologia wytwarzania. Nie rozporządzamy dotąd germanem krajowym. Stwierdzono, że niektóre gatunki węgla kamiennego w kraju zawierają german w ilościach całkowicie usprawiedliwiających podjęcie eksploatacji. W Politechnice Warszawskiej prowadzi się prace nad uruchomieniem ekstrakcji oraz oczyszczania chemicznego germanu w niewielkiej skali przemysłowej. German ten o czystości rzędu 99,99% nadawałby się do zastosowania metod oczyszczania fizycznego. Jego produkcja w najbliższych latach powinna całkowicie zaspokoić zapotrzebowanie krajowe.

Oczyszczenie fizyczne germanu metodą wytopu strefowego przeprowadzono po raz pierwszy w Zakładzie Elektroniki IPPT PAN w roku 1954. Uzyskano wzrost oporności germanu pochodzenia zagranicznego od kilku dziesiątych omocentymetra do ~ 20 Ω cm. Odpowiada to czystości w zasadzie wystarczającej do wytwarzania styków i złącz.

Krzem do przyrządów półprzewodnikowych uzyskiwano w Zakładzie Elektroniki z krzemu metalurgicznego metodą oczyszczania chemicznego. Otrzymano materiał spektralnie czysty. Dalsze oczyszczanie uzyskiwano drogą wytopu krzemu w wysokiej próżni.

Technologia stosowania. Prace w zakresie technologii wyzyskania germanu i krzemu w półprzewodnikowych przyrządach prostowniczych i wzmacniających rozpoczęto w Zakładzie Elektroniki IPPT PAN w roku 1953. Od tego czasu opanowano technologię styku ostrzowego krzem-wolfram o właściwościach detekcyjnych i mieszających oraz technologię styku ostrzowego german-wolfram o dużym napięciu wstecznym (ok. 150 V). Wymagało to opanowania oczyszczania krzemu, wytopu próżniowego krzemu, oczyszczania strefowego germanu, całokształtu obróbki mechanicznej i chemicznej tych półprzewodników, a wreszcie metod formowania mechanicznego i elektrycznego styków. W wyniku opracowano prototyp i dokumentację mikrofalowej diody krzemowej DK 1, prototypy diod germanowych DK10 i DK11. Opracowano również technologię podwójnych styków ostrzowych german-fosforobrąz o właściwościach wzmacniających. Wymagało to opanowania oprócz wymienionych już procesów technologicznych również konstrukcji ostrza podwójnego oraz specjalnych metod formowania styków. W wyniku opracowano w tym zakresie prototyp tranzystora ostrzowego TP 1, opublikowano szereg prac i komunikatów oraz wykonano serie próbne tranzystorów. Obecnie w toku są prace nad technologią złącz *p-n* w germanie o właściwościach prostowniczych i wzmacniających.

Zakład Elektroniki IPPT PAN jest jedyną placówką badawczą w kraju, która prowadzi prace w zakresie technologii przyrządów półprzewodnikowych germanowych i krzemowych. Przemysł lampowy podejmuje obecnie uruchamianie produkcji pewnych półprzewodnikowych elementów detekcyjnych a Instytut Łączności — produkcję tranzystorów do celów telekomunikacji przewodowej. Obydwie te akcje opierają się na dokumentacji i doświadczeniach Zakładu Elektroniki.

Metody badania i zagadnienia normalizacji. Zagadnienie pomiarów parametrów materiałów półprzewodzących jest niewątpliwie słabiej dotąd opracowa-

ne niż procesy technologiczne. Wynika to zapewne z wtórnego charakteru pomiarów w stosunku do technologii. Obecnie sprawa opracowania metod pomiarów dojrzała do intensywnego prowadzenia. Rozpoczęto prace w tym kierunku w Zakładzie Elektroniki IPPT, koncentrując się w pierwszym rzędzie na pomiarze oporności metodą dwu- i czteropunktową oraz na pomiarze czasu trwania nośników wprowadzanych. Jednocześnie pewne prace z tego zakresu są prowadzone w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej U. W. w odniesieniu do półprzewodników o właściwościach fotoelektrycznych. Jakkolwiek chodzi tu o inne materiały, możliwe jest, że osiągnięcia w zakresie metodyki badań dałoby się wykorzystać do pomiarów germanu i krzemu. Poza wymienionymi pracami wstępnymi w Zakładzie Elektroniki IPPT określa się właściwości materiałów metodami pośrednimi, wykorzystując zależności właściwości przyrządów od parametrów materiału.

W obecnym stanie prac nad półprzewodnikami w kraju nie można mówić o normalizacji materiałów, ani nawet o normalizacji metod. Należy natomiast postawić postulat szczegółowego opracowania następujących metod pomiarowych:

a) metod chemicznych i spektralnych badania germanu i krzemu podczas oczyszczania chemicznego,

b) metod elektrycznych (kompensacyjnych) i optycznych pomiarów oporności,

c) metod rentgenowskich badania monokrystalizacji,

d) metod impulsowych lub fotoelektrycznych pomiarów ruchliwości i czasu trwania nośników wprowadzanych.

Część z opracowanych metod miałaby charakter laboratoryjny, inne — wśród których należy wymienić przede wszystkim pomiary oporności i czasu trwania — mogłyby służyć za podstawę technicznej kontroli materiału w produkcji.

6. Krajowe zapotrzebowanie germanu i krzemu.

Za podstawę obliczeń zapotrzebowania materiałów półprzewodzących — germanu i krzemu — może służyć ilość germanu potrzebna do wykonania jednego przyrządu półprzewodnikowego. Można przyjąć, że płytka germanowa użyta do wykonania diody ostrzowej oraz tranzystora waży ok. 0,01 G. Podobne założenia w odniesieniu do diod warstwowych może być postawione w stosunku do jednostki mocy prostowanej. Można przyjąć, że w diodach warstwowych ciężar płytki wynosi 1 G na 1 kW. Obliczenie zapotrzebowania surowca musi uwzględniać odpad germanu podczas obróbki. W zależności od charakteru produkcji należy przyjąć od 20% przy częściowo zautomatyzowanej produkcji masowej do 80% odpadu przy małoseryjnej produkcji laboratoryjnej.

Produkcja diod oraz tranzystorów germanowych na skalę przemysłową będzie rozpoczęta w kraju w roku 1956. Obecnie prowadzi się jedynie produkcję małoseryjną wymienionych przyrządów w gospodarstwie pomocniczym Katedry Radiotechniki w Politechnice Warszawskiej. Jest rzeczą bardzo trudną wysnuwać jakieś wnioski co do krzywej wzrostu produkcji. Obecnie nie rozporządzamy danymi, które usprawiedliwiałyby taką ekstrapolację. Można przewidywać, że w końcu planu 5-letniego (r. 1960) produkcja roczna diod i tranzystorów może osiągnąć kilkaset tysięcy sztuk. Przyjmując nawet największy odpad surowca, można twierdzić, że zapotrzebowanie germanu ze strony przemysłu przyrządów półprzewodnikowych nie powinno przekroczyć w tym okresie 25 kG rocznie. Jeżeli uwzględni się konieczność intensywnego prowadzenia badań w tej dziedzinie i stosunkowo bardzo duże zużycie surowca związane z tymi badaniami, to całkowite roczne zapotrzebowanie germanu prawdopodobnie nie przekroczy 30 kG. Można przypuszczać, że w roku 1956 całkowicie wystarczy 20% tej ilości.

Należy podkreślić, że podane wyżej ilości są oparte na bardzo przybliżonych przesłankach, albowiem produkcja nie została jeszcze rozpoczęta, część potencjalnych użytkowników nie zdaje sobie jeszcze w pełni sprawy z możliwości zastosowań diod krystalicznych i tranzystorów, a produkcja przyrządów półprzewodnikowych zależy w ogromnej mierze od całokształtu rozwoju elektroniki w kraju. Wydaje się jednak, że podane liczby należy oceniać jako przyjęte ze znacznym zapasem tym bardziej, że jeżeli nawet liczba produkowanych przyrządów przekroczy założoną, to niewątpliwie będą opracowane metody obróbki materiału pozwalające bardzo wydatnie zmniejszyć jego odpad.

Podana ocenia dotyczyła wyłącznie diod ostrzowych oraz tranzystorów. Zapotrzebowanie germanu do produkcji diod krystalicznych dużej mocy wydaje się w tej chwili absolutnie niemożliwe do uchwycenia. Jak wynika z rozdz. 3, jest możliwe poważne zapotrzebowanie diod dla różnych resortów gospodarki krajowej. Należy tu wymienić przede wszystkim przemysł telekomunikacyjny, przemysł elektrotechniczny, a nawet trakcję elektryczną. Jeżeli uwzględni się stosunkowo dużą prostotę i taniość produkcji tych diod oraz ich niezmiernie małe rozmiary, to można przewidywać, że wyprą one w przyszłości całkowicie prostowniki selenowe oraz pewne typy niewielkich prostowników rtęciowych. Kiedy nastąpi to u nas, trudno dziś przewidzieć, ale w kraju, gdzie nie ma produkcji selenu, a zapasy germanu są dostatecznie duże, powinno to nastąpić szczególnie szybko.

Przytoczone rozważania mogą skłonić do zwiększenia podanego wyżej zapotrzebowania germanu, które jednak w żadnym wypadku nie przekroczy 100 kG rocznie (w r. 1960). Dziś możemy szacować to zapotrzebowanie w wysokości 5 kG na 1956 rok i ok. 50 kG na 1960 rok.

Czynnikiem, który mógłby radykalnie zwiększyć zużycie germanu byłoby masowe zastosowanie pewnych nowych przyrządów półprzewodnikowych, jak np. baterie atomowe i baterie słoneczne. Dotychczas jednak prace nad tymi przyrządami nie zostały jeszcze rozpoczęte w kraju i nic nie wskazuje na szybkie możliwości zastosowania ich w naszej gospodarce.

Czynnikiem, który może zmniejszyć zapotrzebowanie germanu jest częściowe wypieranie przyrządów germanowych przez przyrządy krzemowe. W chwili obecnej trudno nakreślić przebieg tego procesu. Wydaje się jednak, że przez długi czas ze względu na łatwość procesów technologicznych german będzie stosowany w przeważającej ilości.

W związku z tym zapotrzebowanie krzemu do przyrządów półprzewodnikowych powinno być co najwyżej równe zapotrzebowaniu germanu. Nie stwarza to dla nas, oczywiście, żadnego specjalnie trudnego problemu surowcowego.

7. Wytyczne do dalszych badań.

Stosunkowo niedawne podjęcie intensywnych prac naukowych za granicą w dziedzinie półprzewodników (lata 1940—1950) stworzyło możliwość prowadzenia u nas odpowiednich badań z niewielkim opóźnieniem w stosunku do krajów najbardziej zaawansowanych technicznie (ZSRR, USA) oraz perspektywę uzyskania wyników, które postawią nas w pozycji stanowczo nie gorszej niż takie kraje, jak NRD, ČSR i inne. Biorąc jednak pod uwagę niezwykle szybki rozwój badań nad półprzewodnikami, prowadzonych w innych krajach przy użyciu niejednokrotnie bardzo dużych środków materialnych i porównując ten stan ze skromnymi środkami, którymi my rozporządzamy, należy dać wyraz obawie, że możemy pozostać w tyle w tej tak bardzo ważnej dla gospodarki i obronności narodowej dziedzinie. Dlatego należy rozważyć czynniki, które pozwoliłyby właściwie postawić prace techniczno-badawcze nad materiałami półprzewodzącymi. Uczyńmy to na podstawie analizy głównych aktualnych kierunków badawczych w skali światowej. Są one następujące:

a) badania metod oczyszczania fizycznego, monokrystalizacji oraz wprowadzania domieszek ze szczególnym uwzględnieniem krzemu;

b) badanie technologii złącz p-n w germanie i krzemie, o zastosowaniach prostowniczych, wzmacniających, fotoelektrycznych i atomowych;

c) badanie technologii związków międzymetalicznych o właściwościach półprzewodzących i szczególnie dużej ruchliwości nośników;

d) badanie elektrycznych metod kontroli materiałów.

Umieszczając odpowiednie grupy tematów we właściwych krajowych placówkach naukowych należy brać pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia. W związku z tym wydaje się, że instytucją czuwającą nad tematyką naukowo-techniczną w zakresie elektroniki półprzewodników powinien być Zakład Elektroniki Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, który rozporządza doświadczeniem, odpowiednio wyszkolonym personelem naukowym oraz odpowiednimi urządzeniami.

Na podstawie dotychczasowych prac i wyników można wysunąć następujące grupy zagadnień techniczno-badawczych, które powinny być prowadzone w dziedzinie germanu i krzemu:

a) poszukiwania geologiczne wydajnych źródeł germanu (geologia),

b) ekstrakcja germanu z węgla kamiennego (metalurgia),

c) oczyszczania chemiczne germanu i krzemu (chemia),

d) oczyszczania fizyczne i monokrystalizacja germanu i krzemu (elektronika),

e) badanie właściwości germanu i krzemu (fizyka, elektronika),

f) technologia styków i złącz w germanie i krzemie (elektronika),

g) technologia germanopodobnych związków międzymetalicznych (metalurgia, elektronika),

h) otrzymywanie rzadkich pierwiastków domieszkowych niezbędnych do technologii przyrządów półprzewodnikowych (metalurgia, chemia).

W związku z tym należy wysunąć postulat zwiększenia środków materialnych przeznaczonych przez państwo na badania technologii półprzewodników oraz ustalenia zasad koordynacji prac techniczno-badawczych w tej dziedzinie.

8. Dezyderaty dla przemysłu.

Należy tu rozróżnić zagadnienie technologii materiałów półprzewodzących oraz zagadnienie technologii stosowania tych materiałów. W związku z przewidywaniem stosunkowo niewielkiego zapotrzebowania germanu w najbliższym okresie (rozdz. 6) nie nasuwa się potrzeba stawiania przed przemysłem chemicznym lub metalurgicznym zadania uruchomienia produkcji germanu w przyszłym planie 5-letnim. W tym okresie potrzeby surowcowe przemysłu przyrządów półprzewodnikowych powinny być zaspokajane przez odpowiednie instytuty lub katedry wyższych uczelni.

W sprawie technologi stosowania materiałów półprzewodnikowych istnieje konieczność szybkiego uruchomienia produkcji przyrządów półprzewodnikowych. Produkcja może być uruchomiona w Zakładach Wytwórczych Lamp Radiowych lub w innej placówce podległej Centralnemu Zarządowi Przemysłu Lampowego. Należy zauważyć, że za granicą powstaje odrębny przemysł przyrządów półprzewodnikowych; w NRD np. opracowanie prototypów i niewielka produkcja doświadczalna diod i tranzystorów germanowych są powierzone biuru konstrukcyjnemu fabryki oporników. Wydaje się, że u nas najlepiej wywiązałby się specjalny niewielki zakład przemysłowy, pozostający w ścisłym kontakcie z placówkami naukowymi. Do czasu opanowania nowej techniki przez przemysł produkcją przyrządów półprzewodnikowych mogłyby się zajmować instytuty naukowe bądź katedry wyższych uczelni.

LITERATURA

Aigrain P. Mesures de duré de vie des porteurs minoritaires dans les semi-conducteurs (Ann. Radioel., 1954, t. 9, nr 37)

Boltaks B. I. Elektriczeskije swojstwa kriemnia (Żurn. Tiechn. Fiziki, 1050, t. 20, nr 4)

Conwell E. M. Properties of Silicon and Germanium (Proc. Inst. Radio Eng. 1952, t. 40, nr 11, s. 1327)

Dürr W., Jaumann J., Seiler K. Löslichkeit und Ionisierbarkeit von Fremdstoffen in Germanium-Einkristallen (Z. Naturforschung, 1953, s. 39)

Haynes J. R., Shockley W. The Mobility End Life of Injected Holes and Electrons in Germanium (Phys. Rev., 1951, t. 81, nr 5, s. 835)

Henish H. K. Semi-conducting Materials (1951)

Majewski Z. Fizyczne podstawy elektroniki półprzewodników (Rozprawy Elektrot., 1955, t. 1, zesz. 2)

Majewski Z. Prostowniki półprzewodnikowe (Rozprawy Elektrot., 1955, t. 1, zesz. 2)

Majewski Z., Brochocki A., Klamka J. Wpływ oczyszczania strefowego na napięcie wsteczne układu o punktowym styku german-wolfram (Arch. Elektrot., 1955, t. 4, zesz. 2)

Mercier J. M. La technologie du germanium (L'Onde Electr. 1954, s. 559)

Paszkowski B., Sołtys Z., Gajda A. O próżniowym wytopie krzemu (Arch. Elektrot., 1953, t. 2, zasz. 3—4, s. 323)

Torrey H. C., Whitmer C. A. Crystal Rectifiers (1948)

MGR K. MORKOWSKA
Zakł. Wytw. Lamp
Elektr. im. R. Luksemburg

Pasty emisyjne półprzewodnikowe

621.3.035.21:621.3.035.45

Treść. Technologia wytwarzania i stosowania past emisyjnych do katod tlenkowych. Zadowalający stan opracowania technologii w kraju. Potrzeba prowadzenia prac badawczych w dziedzinie katod tlenkowych. Kierunki, w których problematyka wymaga rozwoju.

1. Wstęp.

Technologia lamp elektronowych zawdzięcza swój rozwój postępowi w dziedzinie konstrukcji katod, którym nowe zastosowania stawiają nowe, nieoczekiwane i bardzo wysokie wymagania.

Katoda stanowi najbardziej podstawową część lampy elektronowej, jest mianowicie źródłem emisji elektronów, których strumień — modyfikowany przez oddziaływanie innych elektrod lub przez pola zewnętrzne — wytwarza prąd, użytkowany na zewnątrz lampy w urządzeniu elektronowym.

Działanie katody w lampie elektronowej oparte jest na zjawisku emisji termoelektronowej, tzn. emisji elektronów z powierzchni metalu lub warstwy o charakterze półprzewodnika na skutek ogrzania do wysokiej temperatury. Parametrami charakteryzującymi jakość katody są: emisja jednostkowa, która określa liczbę elektronów emitowanych w pewnej temperaturze z jednostki powierzchni katody, wydajność, czyli stosunek emisji całkowitej do mocy żarzenia oraz trwałość (zwana niekiedy czasem życia katody).

Rozszerzanie zakresu zastosowania lamp elektronowych zmusza do poszukiwania warunków osiągnięcia coraz wyższych wartości tych parametrów, między innymi przez ulepszenie materiałów stosowanych na katody.

Katody nowoczesnych lamp elektronowych można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej należą katody, w których emisja elektronów następuje z powierzchni metalu; dzielą się one na katody z metali czystych (np. wolframu, tantalu, niobu) i katody metalowe o powierzchni aktywowanej warstwą innego metalu (np. wolframowe torowane pokryte warstwą baru albo cezu). Drugą grupę stanowią katody, w których emisja elektronów następuje z warstwy o charakterze półprzewodnikowym, są to tzw. katody tlenkowe. Obejmują one katody tlenkowe na podłożu metalowym i katody tlenkowe złożone. Dla porównania własności obu typów katod zestawiono w tabl. I przykładowo wartości ich niektórych parametrów.

Katody tlenkowe przewyższają katody z metali czystych głównie wydajnością, wymagając mniejszej mocy dla uzyskania tej samej emisji. Dzięki temu katody te znalazły powszechne zastosowanie w lampach odbiorczych, gdzie małe zużycie mocy jest ważnym względem przy wyborze typu katody. Pewne niekorzystne cechy katody tlenkowej, jak wrażliwość na zatrucie gazami oraz łatwość odparowania baru i strontu, która może powodować emisję z siatek, mają w lampach odbiorczych mniejsze znaczenie, przemawiają natomiast przeciwko zastosowaniu katod tlenkowych w lampach nadawczych. W lampach nadawczych natomiast wymagania co do wydajności cieplnej katody stawiane są na dalszym planie, większe zaś znaczenie ma emisja właściwa i odporność katody na wysokie napięcia. Dlatego w lampach nadawczych częściej stosuje się katody z metali czystych.

W niektórych jednak lampach nadawczych i wzmacniających stosowanych w dziedzinie fal bardzo krótkich wymagane są przy obciążeniach impulsowych bardzo wielkie wartości emisji katody, sięgające wielu dziesiątków amperów z 1 cm^2, a jednocześnie duża wytrzymałość na wysokie napięcia i na wpływy bombardowania elektronami bądź jonami. Te warunki mogą spełniać znów tylko katody tlenkowe. Dla zwiększenia odporności katod tlenkowych na wpływy bombardowania i wysokich napięć musiały być jednak opracowane katody o budowie złożonej, np. katody typu *L* i inne.

2. Krótka charakterystyka materiału.

Katoda tlenkowa w najprostszej postaci składa się z podłoża metalowego pokrytego warstwą tlenków metali ziem alkalicznych. Metal podłoża spełnia nie tylko rolę mechanicznej podstawy dla warstwy tlenków, lecz służy jednocześnie do dostarczania jej ciepła oraz bierze udział w procesie aktywowania warstwy. Warstwa tlenków spełnia natomiast decydującą w katodzie rolę dostarczania dużej gęstości prądu elektronowego emisji przy umiarkowanej temperaturze. Warstwę tlenków wytwarza się na katodzie w próżni w temperaturze ok. 1200 ÷ 1500°K z węglanów metali ziem alkalicznych, nakładanych na katodę, przed wmontowaniem jej do lampy, w postaci pasty emisyjnej. Pasta emisyjna składa się z zawiesiny węglanów mieszanych podwójnych barowo-strontowych lub potrójnych barowo-strontowo-wapniowych w mieszaninie rozpuszczalników organicznych z dodatkami substancji o charakterze lepików.

Tablica I

	Grupa katod	Rodzaj katody	Temp. pracy (°K)	Emisja (A/cm²)		Wydajność (A/W)		Odporność na zatrucia	Odporność na bombardowanie jonami	Odporność na wysokie napięcia
				statyczna	impulsowa	statyczna	impulsowa			
I	Katody z metali czystych	W	2700	1	1	0,006		mała	duża	duża
		Ta	2370	1	1					
		Nb	2300	0,5	0,5					
	Katody z metali aktywowanych	W + Th	1950	2	5	0,070		średnia	mała	duża
II	Katody tlenkowe na podłożu metal.	Ni + BaSrO	1150	0,5	50	0,25	20	średnia	średnia	mała
		W + BaSrO	1150							
	Katody tlenkowe złożone	katody L (W, Mo, Ba SrO)	1500	2	100			duża	duża	duża
		katody złożone inne	1600	8	160					

Pastę nakłada się na metal, stanowiący podłoże katody, różnymi sposobami, np. przez natryskiwanie przy pomocy pistoletu lub przez osadzanie kataforetyczne, a czasem nawet przez ręczne malowanie. Normalne grubości pokrycia pastami emisyjnymi wynoszą 20 do 100 μ, a wielkość ziarna węglanów barowo-strontowych waha się od 0,5 do 40 μ. Porowatość nakładanych warstw past emisyjnych musi być duża — około 65 ÷ 85%. Po wmontowaniu do lampy katod pokrytych, pasta emisyjna poddawana jest rozkładowi termicznemu na odpowiednie tlenki w próżni w temperaturze około 1300 ÷ 1500°K według reakcji:

$$BaCO_3 \rightarrow BaO + CO_2$$

przy czym z kryształów mieszanych węglanów powstają mieszane tlenki (Ba,SrO lub Ba,Sr,CaO). Reakcja przebiega do końca, jeśli CO_2 usuwany jest dostatecznie szybko przez pompę.

Stosuje się węglany mieszane podwójne barowo-strontowe o zawartości molowej 50% $BaCo_3$ i 50% $SrCO_3$ i węglany mieszane potrójne, barowo-strontowo-wapniowe o składzie ok. 50% $BaCO_3$, 45% $SrCO_3$ i 5% $CaCO_3$. Mieszane tlenki podwójne lub potrójne otrzymane z tych węglanów dają wyższy poziom emisji niż tlenki pojedyncze BaO lub SrO.

W celu uzyskania wysokiego poziomu emisji tlenki muszą być poddawane w lampie elektronowej dalszej operacji tzw. aktywacji. Powszechnie przyjmuje się, że w procesie tym chodzi o wytworzenie w kryształach tlenków centrów nadmiarowego baru. Jest to proces, który nadaje warstwie tlenków własności półprzewodnikowe.

W procesie wytwarzania wolnego baru bierze udział metal podłoża, na którym warstwa spoczywa, głównie zaś redukujące domieszki zawarte w nim. W niklu domieszkami tymi są Mg, Si, Al. Ilość wolnego baru wytworzonego w procesie aktywacji jest znikoma (stężenia molowe rzędu 0,01%), lecz posiada decydujący wpływ na własności emisyjne katody.

Jakość gotowej katody zależy nie tylko od zespołu materiałów podłoża i pasty emisyjnej, lecz także od technologii procesów wytwarzania i nakładania pasty emisyjnej, jej rozkładu połączonego z procesem pompowania lampy, jej aktywacji i szeregu czynników ubocznych mogących wywoływać dezaktywację czyli zatrucie. Dezaktywacją nazywamy proces utraty własności emisyjnych katody wskutek działania na warstwę tlenkową niektórych gazów lub domieszek metalicznych i niemetalicznych. Należy podkreślić, że katoda tlenkowa ulega bardzo łatwo zatruciom, których przyczyny są przeważnie trudne do wyjaśnienia. Czynnikami powodującymi zatrucie najczęściej są:

a) ze strony materiału podłoża — niektóre domieszki zawarte w niklu jak Mn, Fe, S, O_2;

b) domieszki pasty emisyjnej — metale ciężkie Fe, Pb oraz Cl^-, SO_4^{--};

c) składniki gazu otaczającego jony głównie O_2 (działanie w wyższych temperaturach), Cl, H_2S.

Podstawowym warunkiem otrzymania powtarzalnych wyników przy produkcji katod tlenkowych jest jak największa czystość materiałów używanych i dokładne przeprowadzanie procesów według ustalonej receptury. Pasta emisyjna nakładana na katodę przed jej wmontowaniem w lampę stanowi zatem dopiero materiał wyjściowy do otrzymania na katodzie lampy elektronowej warstwy tlenków o odpowiednich własnościach emisyjnych.

3. Zastosowania.

W pracy niniejszej omówimy szerzej pasty emisyjne wchodzące w skład najbardziej rozpowszechnionych katod tlenkowych, tzn. katod tlenkowych na podłożu metalowym. Katody tego typu są stosowane w produkowanych w kraju lampach odbiorczych oraz opracowywanych lampach oscyloskopowych. Technologia ich przygotowania jest już ustalona i opanowana, a zagadnienie normalizacji materiałów i metod badań aktualne. Natomiast materiały stosowane na katody tlenkowe złożone, które są w stadium badań i pierwszych opracowań będą omówione później (rozdz. 7).

Pasty emisyjne stosowane do produkcji katod na podłożu metalowym można podzielić pod względem składu na dwie grupy: 1) pasty o węglanach podwójnych (barowo-strontowych) oraz 2) pasty o węglanach potrójnych (barowo-strontowo-wapniowych). Pierwsze mają zastosowanie do lamp odbiorczych wszystkich typów zarówno o katodach pośrednio żarzonych, jak bezpośrednio żarzonych na podłożu niklowym, tzn. ogólnie we wszystkich produkowanych lampach odbiorczych z wyjątkiem bateryjnych. Druga grupa stosowana jest w lampach bateryjnych z katodą o podłożu wolframowym oraz w lampach jarzeniowych.

Pasty emisyjne dzielimy na dwie grupy zależnie od sposobu ich nakładania: pasty do natryskiwania i pasty do nakładania kataforetycznego. Pierwsze stosowane są wyłącznie do katod pośrednio żarzonych, drugie do wszystkich katod bezpośrednio żarzonych z bateryjnymi włącznie. Z podziału tego wynikają cztery podstawowe grupy past, w których przewiduje się dalszy podział.

W najbliższej przyszłości stanie przed przemysłem problem opracowania past emisyjnych do nowych zastosowań, mianowicie do lamp miniaturowych, w których katoda ma bardzo małe wymiary. Drucik stanowiący podłoże katody ma średnicę ok. 10 μ. Grubość zaś pokrycia pastą emisyjną wynosi w tych lampach ok. 5 μ, wymagane będą zatem pasty o bardzo drobnym ziarnie i wysokiej odporności na zatrucie.

Ponadto do projektowanych nowych typów lamp potrzebne będą katody złożone, w których tlenki baru i strontu stosuje się nie w postaci past, lecz w postaci układów złożonych — bądź spieków z proszkiem niklowym, bądź rurek z metali trudnotopliwych napełnionych w określony sposób odpowiednimi mieszaninami proszkowymi.

4. Zapotrzebowanie przemysłu krajowego.

Zapotrzebowanie past emisyjnych przez Zakłady Wytwórcze Lamp Elektrycznych wynosi rocznie ok. 3000 kG. Zapotrzebowanie roczne surowców potrzebnych do produkcji tych past będzie:

azotan baru p. a.	500 kG	węglan sodu	1000 kG
azotan strontu p. a.	500 „	kwas węglowy amonu	100 „
azotan wapnia p. a.	50 „	octan butylu	4000 „
alkohol etylowy bezw.	800 „	mleczan etylu	20 „
alkohol butylowy	400 „	aceton	1000 „
nitroceluloza	100 „	woda destylowana	35 000 „

Zapotrzebowanie to jest obecnie zaspokojone całkowicie i pozwala na produkcję past we własnym zakresie. Umieszczanie produkcji past w innym zakładzie byłoby nieracjonalne ze

względu na konieczność kontroli jakości past przy pomocy wzorcowych lamp elektronowych, których poziom emisji stanowi kryterium przy ocenie past.

5. Stan obecnej wiedzy i techniki.

Stan wiedzy w dziedzinie własności past emisyjnych i ogólnie katod tlenkowych ulega w ostatnich latach intensywnemu rozwojowi w związku z ogólnym rozwojem wiedzy o półprzewodnikach. Dzięki osiągnięciom teorii zjawisk w półprzewodnikach wyjaśniono wiele problemów związanych z katodą tlenkową, niemniej jednak katoda ta stanowi ciągle jeszcze przedmiot licznych badań i zawiera wiele problemów otwartych, które będą omówione niżej. Problemy katody tlenkowej natury zarówno technologicznej, jak teoretycznej, zostały dobrze i wyczerpująco przedstawione w monografii S. Wagenera i G. Hermana „Oxydkathode", w której zebrano wyniki prac badawczych do roku 1945. Literatura techniczna w formie publikacji w czasopismach jest w ostatnim dziesięcioleciu bardzo obfita i wielostronna.

Ponadto nowych materiałów dostarczyła konferencja paryska w 1954 r. z okazji 50-lecia odkrycia katody tlenkowej. Publikacje konferencji przyniosły wiele cennych prac z dziedziny katod tlenkowych i w niektórych wypadkach powodują konieczność rewizji wyników prac poprzednich uznawanych dotychczas za pewne. Wynika to z równoległego rozwoju metod badawczych umożliwiających coraz bardziej wielostronne poznanie zjawisk w katodzie tlenkowej.

Wobec takiego stanu rzeczy technologii wytwarzania i stosowania past emisyjnych nie należy uważać za ustaloną jednoznacznie. Poszczególne fabryki lamp różnych krajów stworzyły na podstawie długoletniej praktyki własne metody pracy, których szczegóły nie są podawane do ogólnej wiadomości. Przy większych ośrodkach przemysłowych prowadzone są prace badawcze, w których wyniku technologia past emisyjnych jest ciągle ulepszana. Ulegają zmianom również materiały stosowane na katody. Na przykład zakłady Philipsa wprowadziły ostatnio nowy gatunek niklu na katody, bardziej aktywny od stosowanego dotychczas, i zmieniły równocześnie warunki przemiany węglanów i aktywowania katod. Również występuje ostatnio tendencja zmiany sposobów wytwarzania past emisyjnych.

6. Technologia wytwarzania past emisyjnych.

Strącanie węglanów z azotanów baru, strontu i wapnia. Polega ono na rozpuszczaniu składników, strącaniu właściwym, przemywaniu i suszeniu. Materiał wyjściowy do przygotowania węglanów do past emisyjnych stanowią azotany baru, strontu i wapnia o czystości p. a. Materiały te muszą ściśle odpowiadać pewnym warunkom i są poddawane badaniom na zawartość szkodliwych domieszek. Węglany mieszane barowo-strontowo-wapniowe otrzymuje się z azotanów według reakcji:

$$\left.\begin{matrix} x\ Ba/NO_{3/2} \\ y\ Sr/NO_{3/2} \\ z\ Ca/NO_{3/2} \end{matrix}\right\} + Na_2CO_3 \longrightarrow \underset{x:y:z}{(Ba, Sr, Ca)\ CO_3} + 2\,NaNO_3,$$

przy czym aby powstały kryształy, mieszane strącanie musi się odbywać z roztworu zawierającego mieszaninę azotanów.

Dla przygotowania past emisyjnych do kataforetycznego nanoszenia na katody stosuje się do strącania — zamiast węglanu sodu — kwaśny węglan amonu w obecności amoniaku. Reakcja ma przebieg:

$$\left.\begin{matrix} x\ Ba/NO_{3/2} \\ y\ Sr/NO_{3/2} \\ z\ Ca/NO_{3/2} \end{matrix}\right\} + (NH_4)\,H\,CO_3 + NH_3 \longrightarrow Ba, Sr, Ca\,CO_3 + 2\,(NH_4)NO_3$$

Reakcję strącania węglanów charakteryzują następujące parametry, mające wpływ na jakość uzyskanych węglanów: a) koncentracje roztworów azotanów i węglanu sodu lub węglanu amonu, b) temperatura, w której następuje strącanie, c) szybkość wlewania roztworu węglanu do roztworu azotanów, d) dokładność mieszania w czasie reakcji. Od tych parametrów zależą wielkość ziarna kryształów węglanów i rozrzut wielkości ziarna. Od czystości użytych chemikaliów i czystości wykonania wszystkich operacji zależy stopień czystości uzyskanych węglanów.

Przebieg operacji wytrącenia węglanów w skali laboratoryjnej jest następujący. W naczyniu niklowym lub porcelanowym o pojemności ok. 15 l przygotowujemy roztwór azotanu baru i azotanu strontu o koncentracji ok. 0,2 mola rozpuszczając w 10 l wody destylowanej odważone ilości azotanów. Roztwór ogrzewamy do ~ 50°C i pozostawiamy do ostygnięcia w celu wydzielenia siarczanów i innych zanieczyszczeń. Następnie roztwór przesączamy przez filtr Schotta do innego naczynia. W drugim naczyniu przygotowujemy podobnie roztwór węglanu sodu rozpuszczając odważoną ilość soli w 2 litrach wody i również przesączamy.

Oba roztwory osobno ogrzewamy do temperatury 92°C, w której przeprowadzamy strącenie wlewając roztwór sody w ciągu 2 minut równym strumieniem do roztworu pierwszego. Wytrącane węglany pozostawiamy na 45 min, następnie zlewamy wodę i przesączamy na lejku Buchnera. Węglany przemywany na lejku kilkakrotnie gorącą wodą destylowaną i przekładamy do naczynia, w którym odmywamy je przez dekantację 8-krotnie, za każdym razem 10 litrami gorącej wody destylowanej. Następnie sączymy na lejku Buchnera i płuczemy na lejku trzykrotnie wodą destylowaną. Suszenie węglanów odbywa się na kuwetach w suszarce, w temperaturze 130°C, przez kilkanaście godzin. Do stygnięcia przekłada się węglany do eksykatorów. Odważanie węglanów do past może odbywać się tylko po dokładnym wysuszeniu. Po operacji strącania następuje kontrola jakości otrzymanych węglanów, obejmująca: 1) oznaczenie ilości baru, 2) oznaczenie wilgotności, 3) oznaczenie zawartości siarczanów, 4) oznaczenie zawartości żelaza, 5) oznaczenie zawartości alkaliów. Do przygotowania past dopuszczone mogą być tylko węglany odpowiadające wymaganiom określonym normą.

Przygotowanie pozostałych składników pasty. (lepiku i rozpuszczalników). Ważnym składnikiem pasty jest lepik. Składa się on z roztworu nitrocelulozy w octanie amylu lub w octanie butylu. Rzadziej używane są lepiki oparte na chlorku winylu. Lepik stosuje się w podwójnym celu: 1) jako składnik pasty do nadania jej lepszej spoistości, 2) jako osobna warstwa nałożona na warstwę pasty dla utrwalenia jej i zwiększenia odporności na ścieranie. Do tych dwu celów przyrządza się roztwory lepiku o różnej koncentracji. Od nitrocelulozy stosowanej do lepiku wymaga się dużej zawartości azotu (12,0 ÷ 12,5%) oraz dużej czystości. Roztwory nitrocelulozy kontroluje się na lepkość.

Rozpuszczalniki organiczne stosowane do past emisyjnych muszą być bardzo czyste i w przypadku przygotowywania past do kataforezy muszą być odwodnione. Destylację rozpuszczalników i ich odwadnianie wykonywa się jako stałą czynność w dziale przygotowania past.

Przygotowanie past emisyjnych (suszenie i odważanie węglanów, dodawanie domieszek, mielenie, mieszanie). Przygotowanie to polega na wytworzeniu jednorodnej zawiesiny węglanów barowo-strontowych i lepiku w rozpuszczalnikach organicznych. Dla przykładu podamy tu składy dwu typowych past emisyjnych: 1) stosowanej do natryskiwania na katody pośrednio żarzone, 2) nakładanej przez kataforezę na katody bezpośrednio żarzone.

Skład pasty emisyjnej do natryskiwania katod pośrednio żarzonych:

węglany barowo-strontowe strącane sodą	21 kG,
roztwór nitrocelulozy (40 g nitrocelulozy w 1 l octanu butylu)	11,7 l,
octan butylu	7 l,
alkohol etylowy	11,9 l,
mleczan etylu	0,6 l,
glikol etylenowy	0,35 l,
glikonal butylu	1,68 l.

Skład pasty emisyjnej do kataforetycznego pokrywania katod bezpośrednio żarzonych:

węglany barowo-strontowe strącane kwaśnym węglanem amonu	5,5 kg,
alkohol etylowy bezwodny	5,5 l,
alkohol butylowy bezwodny	2 l.

Odważone składniki pasty po dodaniu niewielkiej ilości rozpuszczalnika miele się w młynach porcelanowych kulowych w ciągu 24 do 150 godzin. Mielenie ma na celu rozdrobnienie ziaren do wielkości wymaganej dla danego typu katody. Im mniejsze są wymiary katody, grubość pokrycia i odległości siatki I od katody, tym drobniejsze wymagane jest ziarno pasty emisyjnej. Mielenie past jest operacją niekorzystną, mającą ujemny wpływ na własności emisyjne katody, prowadzi ono do pogorszenia własności pasty, jest jednak konieczne ze względu na wymaganą w niektórych katodach du-

ją gładkość powierzchni. Obecnie istnieje tendencja zmiany przepisów strącania węglanów w celu uzyskania jak najdrobniejszego ziarna, aby skrócić możliwie do minimum czas mielenia. Udaje się to uzyskać przez zastosowanie wyższych koncentracji roztworów soli i wysokiej temperatury strącania (ok. 100°C).

Parametry charakteryzujące proces mielenia mają duży wpływ na jakość pasty; są nimi: wielkość młynka, ilość nałożonej pasty, jej lepkość, wielkość i liczba kul do mielenia, szybkość obrotu, czas mielenia. Dla zachowania powtarzalnych wyników wszystkie te parametry winny być ustalone.

Po zmieleniu pasty dodaje się do niej resztę składników i powtarza proces mielenia, który ma już teraz na celu tylko dokładne wymieszanie składników; czas mieszania wynosi kilka godzin.

K o n t r o l a p r o d u k t u g o t o w e g o. Kontrola jakości pasty gotowej polega: 1) na określeniu jej lepkości, 2) na określeniu oporności elektrycznej (dla past do kataforezy), 3) na określeniu zawartości węglanów barowo-strontowych i 4) na określeniu wielkości ziarna kryształów. Przeprowadzenie tych prób pozwala określić przydatność pasty do nakładania na katody, nie pozwala jednak sprawdzić, czy katody pokryte pastą będą miały odpowiednią emisję. Ewentualne bowiem zatrucia pasty nie przejawiają się w żadnych cechach dostępnych do sprawdzenia na drodze chemicznej ze względu na wystarczające do zatrucia małe ilości szkodliwych domieszek. Jedynie niektóre domieszki, jak np. metale ciężkie, mogą być wykryte drogą analizy spektrograficznej. Inne zatrucia spowodowane gazami, np. chlorem czy siarkowodorem, nie mogą być ujawnione na tym etapie; występowanie ich może być zaobserwowane dopiero w gotowej lampie przy pomiarach emisji. Dla przykładu można wspomnieć, że przyczyną zatrucia mogą być ślady chloru pozostające w wodzie mimo jej destylowania; dlatego woda destylowana, używana do przygotowania past, musi być kontrolowana na zawartość chloru. Jedynym sposobem uniknięcia omawianych trudności jest zachowanie najwyższej czystości naczyń i pomieszczenia, w którym wyrabia się pasty oraz jak najściślejsze przestrzeganie dyscypliny technologicznej.

7. Technologia stosowania past emisyjnych.

Dla otrzymania aktywnej warstwy tlenków na katodzie lampy elektronowej pasta emisyjna jest poddawana następującym operacjom, które częściowo odbywają się już w lampie elektronowej: 1) nakładanie pasty emisyjnej na katodę, 2) utrwalanie warstwy pasty emisyjnej na katodzie, 3) montaż lampy i zatapianie, 4) pompowanie lampy przy jednoczesnym przeprowadzeniu przemiany węglanów w tlenki, 5) aktywowanie warstwy tlenków, 6) pomiary emisji.

Nakładanie pasty emisyjnej na katodę odbywa się w różnych typach katod różnymi metodami. Najczęściej są stosowane trzy metody: natryskiwanie pasty, nakładanie kataforetyczne (poszczególne katody) i kataforeza ciągła (drut katodowy).

Metoda natryskiwania pasty polega na rozpyleniu pasty przy pomocy pistoletu natryskującego dla utworzenia strumienia o bardzo małych kroplach i na kilkakrotnym pokryciu katody warstewką cieczy. Dla uzyskania dobrego przylegania pasty należy warstwy nakładać kolejno w odstępach czasu umożliwiających wyschnięcie warstw wcześniej nałożonych. W metodzie tej występuje wiele parametrów zmiennych, co utrudnia uzyskiwanie powtarzalnych wyników w zakresie grubości pokrycia, porowatości i struktury warstw. Odgrywają tu rolę takie czynniki, jak średnica dyszy pistoletu, ciśnienie gazu, temperatura i wilgotność powietrza otaczającego, temperatura i wilgotność gazu sprężonego, odległość pistoletu od katody, prędkość przesuwania katody względem pistoletu, liczba nakładanych warstw, czas dzielący nakładanie dwu kolejnych warstw, technika utrwalania warstwy.

Dla osiągnięcia możliwie dużej odtwarzalności wyników stosuje się jednostajne przesuwanie katod przed pistoletem na przenośniku. Konieczna jest stała kontrola grubości i ciężaru pokrycia. Utrwalenie warstwy osiąga się przez pokrycie ostatnią warstwą lepiku, również przez natryskiwanie. Następną operacją jest suszenie katod, kontrola i pakowanie. Dłuższe przechowywanie katod pokrytych bez specjalnego zabezpieczenia opakowań od wpływu wilgoci atmosferycznej jest niepożądane.

Inny sposób nakładania pasty na katody opiera się na zjawisku elektroforezy, polegającym na osadzeniu się cząsteczek zawiesiny pod wpływem pola elektrycznego na jednej z elektrod zanurzonych w zawiesinie. Dla zawiesin o wielkości ziarna poniżej kilku mikronów zjawisko to przebiega pod wpływem wytwarzania się w niektórych cieczach — w szczególności w alkoholach — warstwy podwójnej naelektryzowanej na powierzchni ziaren. Tym sposobem można osadzać węglany barowo-strontowe na katodach lamp z zawiesin w alkoholu metylowym, etylowym lub butylowym. Przy tej metodzie konieczne jest stosowanie alkoholu bezwodnego o bardzo małym przewodnictwie oraz past dokładnie wymytych z wszelkich zanieczyszczeń. Nie nadają się do tej metody węglany strącane sodą ze względu na niedające się usunąć ślady sodu, stosuje się zatem węglany strącane kwaśnym węglanem amonu.

Na tej samej zasadzie oparta jest metoda kataforezy ciągłej stosowana do bardzo cienkich drutów wolframowych używanych na katody lamp bateryjnych. Drut pokrywa się w sposób ciągły najpierw warstwą pasty emisyjnej, a następnie lepiku; po wysuszeniu warstwy pasty w piecu drut jest nawijany na szpule. Grubość pokrycia, mająca w lampach o małych wymiarach katody bardzo wąskie tolerancje, jest kontrolowana przez mikroskop bezpośrednio w czasie nakładania warstwy. Zależy ona od koncentracji suspensji, wielkości ziarna, rozkładu i natężenia pola elektrycznego, wielkości prądu i prędkości przesuwania się drutu.

Po zmontowaniu lamp z katodami pokrytymi pastą emisyjną następują dalsze operacje mające na celu wytworzenie katody tlenkowej o pełnej emisji. Operacje te włączone są w cykl produkcji lampy elektronowej, z którego omówimy jedynie czynności związane bezpośrednio z katodą.

Pompowanie lampy dzieli się na trzy główne etapy: 1) odgazowanie części szklanych lampy, 2) odgazowanie części metalowych, 3) przemiana węglanów barowo-strontowych w tlenki. W czasie tych czynności poszczególne metalowe części lampy ogrzewa się prądami w. cz. do odpowiedniej temperatury w celu uwolnienia gazów w nich zawartych, katodę zaś ogrzewa się prądem — bezpośrednio lub za pośrednictwem grzejnika — dla odgazowania i rozkładu termicznego węglanów. Duże ilości CO_2 uwalniane z reakcji rozkładu odpompowuje się przy pomocy pomp dyfuzyjnych przy ciśnieniu rzędu 10^{-4} Tr. W tym czasie składniki lepiku ulegają również rozkładowi i są uwalniane z warstwy tlenków.

Proces pompowania jest operacją decydującą o własnościach emisyjnych katody. Liczba parametrów odgrywających w nim rolę jest znów bardzo duża, co może powodować znaczny rozrzut cech katody. Mają tu znaczenie ilości gazu wydzielane przez poszczególne elementy lampy, ich rodzaj i szybkość ich wydzielania, temperatura katody przy różnych ciśnieniach gazu w lampie, szybkość pompowania i szybkość przeprowadzenia rozkładu węglanów (zależnie od szybkości wzrostu temperatury katody, składu węglanów, ilości lepiku i ciśnienia gazu).

Niektóre z wymienionych czynników wykazują wzajemne zależności komplikujące znacznie analizę procesu. Zdarza się czasem, że reakcja przemiany węglanów przebiega nieprawidłowo z wydzielaniem dużych ilości węgla, czernieniem katody i utratą całkowitą lub częściową własności emisyjnych. Zdarzają się również wypadki, że wskutek nieprawidłowo przebiegającego procesu pompowania przemiana węglanów nie jest doprowadzona do końca, co powoduje zakłócenia w dalszej operacji, mianowicie przy aktywowaniu katody.

Aktywowanie katody wykonywa się w odpompowanej już lampie przez obciążenie jej — przy zwiększonym blisko dwukrotnie napięciu żarzenia — znacznym prądem emisyjnym. Czynność ta ma na celu zwiększenie i ustabilizowanie emisji katody. Na temat zjawisk fizycznych, występujących w katodzie w czasie tego procesu, zdania są rozbieżne. Proces aktywacji katod przeprowadzany jest dla różnych typów lamp według określonych schematów dzielących całość aktywacji na trzy etapy odbywające się przy różnej mocy żarzenia i różnych napięciach na elektrodach. W przypadku niecałkowitego przeprowadzenia przemiany węglanów w operacji pompowania, przy aktywowaniu zachodzi dalszy rozkład węglanów, co prowadzi do wydzielenia takiej dużej ilości gazów, jakiej nie jest już w stanie wchłonąć getter w lampie, i — co za tym idzie — do uzyskania lampy wadliwej.

8. Metody badania.

Oprócz badań past emisyjnych opisanych wyżej, stosuje się, jako główną metodę kontroli past, badanie własności emisyjnych katody w gotowej lampie. Spełnienie przez katodę wymagań stawianych jej w określonym typie lampy pozwala wnioskować o dobrej jakości pasty emisyjnej i prawidłowości technologii; natomiast stwierdzenie odstępstw nie zawsze

pozwala ustalić jednoznacznie przyczyny braku. Jest to wynikiem niezwykłej złożoności procesu produkcji lampy elektronowej i udziału w nim wielkiej liczby parametrów zmiennych. Często różne odstępstwa w jakości materiałów i technologii mają jednakowy skutek w postaci określonego rodzaju braku. Dlatego w zakładach produkujących lampy dokonywa się szczegółowej analizy braków, która przy odpowiedniej organizacji produkcji i prowadzeniu kontroli materiałów i operacji uwidoczniającej cechy poszczególnych elementów, pozwala na powiązanie braków z odstępstwami od przepisów technologicznych lub norm materiałowych.

Do kontroli własności past emisyjnych stosuje się dwie metody: 1) metodę badania past emisyjnych za pomocą diod standartowych, 2) metodę badania trwałości. Pierwsza polega na wykonaniu kilkunastu diod standartowych ze ściśle znormalizowanych części i materiałów na nie użytych oraz z zastosowaniem katod, które są pokryte badaną pastą emisyjną. Jako materiał podłoża musi być zawsze używany ten sam gatunek niklu, przy czym materiał powinien pochodzić z jednego wytopu. Serię diod poddaje się normalnemu procesowi pompowania, formowania i aktywowania przewidzianemu dla tego typu lamp. Pomiar emisji katody wykonany w określony sposób pozwala wnioskować o jakości pasty emisyjnej.

Dalszym kryterium dobroci past emisyjnych jest trwałość katody. W większych zakładach przemysłowych nie tylko pasty emisyjne, ale i inne materiały do lamp badane są w ten sposób, że sprawdza się ich wpływ na trwałość lamp. Z serii lamp wykonanych z nową pastą emisyjną lub z innym materiałem kilka sztuk umieszcza się na ramie trwałości. Dopiero w wypadku przetrwania przez wyrywkowo wybrane lampy określonej liczby godzin na ramie trwałości bez zmiany parametrów cała partia materiału może być zakwalifikowana jako dobra.

Badanie na trwałość przeprowadza się przy pełnym obciążeniu lamp w ciągu 500 ÷ 1000 godzin. Ta metoda ze względu na jej długotrwałość może być stosowana tylko do większych, jednorodnych partii materiału, np. wytopów niklu katodowego, większych partii past emisyjnych pochodzących z jednego strącania węglanów.

Ze względu na wrażliwość past emisyjnych na warunki ich wykonywania oraz konieczność stosowania kontroli ich własności emisyjnych w gotowych lampach, celowe jest takie zaplanowanie produkcji past, aby one mogły być wykonywane większymi partiami jednorodnymi. Mimo dużego kosztu urządzeń korzystne jest przejście w produkcji past do skali technicznej, w której zamiast kilku strąceń węglanów dziennie w małych ilościach, wykonuje się jednorazowo strącenie w większych ilościach.

9. Zagadnienie norm.

Dla zapewnienia powtarzalności wyników przy produkcji past emisyjnych konieczne jest znormalizowanie szczegółowe surowców i procesów technologicznych. W większych zakładach przemysłowych zagranicznych prace te są daleko posunięte. W publikacjach wymienionego wyżej zjazdu paryskiego (1954 r.), poświęconego katodzie tlenkowej, omówiono rolę prac normalizacyjnych podjętych przez ASTM dla materiałów stosowanych na katody.

10. Stan obecny technologii past emisyjnych w kraju.

Zakłady Wytwórcze Lamp Elektrycznych im. Róży Luksemburg są zainteresowane w produkcji past emisyjnych do katod lamp elektronowych. Zakłady opracowały technologię przygotowywania past emisyjnych z surowców krajowych we własnym zakresie i od kilku lat produkują wystarczające na własne potrzeby ilości past emisyjnych. Obecnie produkowane są 4 typy past. Technologia ich wytwarzania i stosowania nie różni się od opisanej wyżej. Pasty przygotowywane są z węglanów strącanych na skalę laboratoryjną w małych ilościach (ok. 10 litrów roztworu). Obecnie dziennie (w ciągu dwóch zmian) wykonuje się 12 strąceń węglanów; każda operacja dostarcza ok. 600 G suchych węglanów netto. Jest to, jak już wspomniano, niekorzystny sposób postępowania, uniemożliwia bowiem kontrolę metodą diod standartowych każdej strącanej partii węglanów.

Zakłady sprowadziły z NRD urządzenia do strącania węglanów na skalę przemysłową. Aparatura jest już instalowana. Uruchomienie jej umożliwi wykonywanie strąceń w ilościach 50 l roztworu jednorazowo, co w połączeniu z mechanizacją operacji przepompowywania, przemywania i suszenia zaoszczędzi znaczne ilości pracy ręcznej i zapewni materiał jednorodny w większych partiach.

W dziedzinie metod badań również osiągnięto pewne rezultaty. Pasty kontroluje się metodą diod standartowych i metodą badania trwałości. Opracowywane są również inne metody badań, jak porównywanie emisji metodą pomiarów statycznych i impulsowych. Zakłady opracowały i wykonały szereg urządzeń do pomiarów lamp standartowych służących do badania materiałów katodowych. W dziedzinie norm zrobiono wiele, chociaż są jeszcze dotychczas pewne luki. Istnieją normy na surowce podstawowe do otrzymywania węglanów i past oraz część instrukcji przygotowywania węglanów i past. Normy te zawierają również metody badań. Uzupełnienia i aktualizacji wymagają jeszcze instrukcje przygotowania niektórych typów past i metody badania past w lampach standartowych.

11. Wytyczne i dezyderaty dla dalszych badań.

Zagadnienie jakości i wydajności katod jest jednym z głównych zagadnień technologii lamp elektronowych. Katody tlenkowe jako katody stosowane w lampach produkowanych masowo (w liczbie kilku milionów rocznie) winny mieć technologię opracowaną na najwyższym poziomie osiągalnym przy współczesnym stanie wiedzy. Niedociągnięcia w technologii katod pociągają milionowe straty w postaci odpadów ze względu na duży koszt materiałów stosowanych w lampach elektronowych i koszt robocizny. Walkę z odpadem należy prowadzić przez poprawienie jakości surowców stosowanych na katody i inne części lamp elektronowych oraz przez ulepszanie procesów technologicznych. Podwyższenie poziomu technologii uzależnione jest od głębszego poznania fizycznej natury procesów i czynników mających wpływ na ich przebieg.

W katodzie tlenkowej procesy te nie są dostatecznie wyjaśnione w obecnym stanie wiedzy. Prowadzenie prac badawczych w kierunkach związanych z technologią surowców stosowanych na katody, technologią procesów obróbki katod, metodami badań i zagadnieniami teoretycznymi katody tlenkowej pozwoli na rozszerzenie naszego stanu wiedzy w dziedzinie katod tlenkowych i podniesienie poziomu produkcji. Badania te będą na pewno opłacalne, jeśli będą właściwie zaplanowane i jeśli będą stworzone odpowiednie warunki do ich wykonywania. Uważa się za konieczne prowadzenie badań z następujących dziedzin:

1. Technologia materiałów stosowanych na katody tlenkowe:

a) wpływ materiału podłoża na emisję i trwałość katod tlenkowych (wpływ domieszek redukujących, analiza roli domieszek „trujących", wpływ zawartości gazów, wpływ obróbki);

b) wpływ własności past emisyjnych na emisję i trwałość katod (wpływ składu węglanów, struktury i wielkości ziarna, wpływ sposobu strącania, wpływ składu past i metod nakładania);

c) wpływ na własności katody materiałów stosowanych na inne części lamp (zawartość i rodzaj gazów w anodach, wpływ jakości getteru, wpływ szkła).

2. Technologia procesu wytwarzania katod tlenkowych:

a) zależność emisji i trwałości katod od struktury warstw emisyjnych;

b) zależność emisji i trwałości katod od procesu przemiany węglanów (wpływ temperatury katody, rodzaju gazów wydzielanych z anody, szybkości pompowania);

c) zbadanie procesu aktywowania katody.

3. Metody badania katod tlenkowych:

a) opracowanie metod badania emisji katod (porównanie metod badania statycznego i w warunkach impulsowych, badania przy niedożarzeniu, badania przy pomocy pola hamującego);

b) opracowanie metod badania trwałości katod (analiza metody całki gazowej, badanie parametrów lampy w funkcji czasu pracy).

4. Mechanizm zjawisk w katodzie tlenkowej:

a) badanie przewodnictwa warstw tlenkowych;

b) badanie zjawisk fotoelektrycznych w katodzie tlenkowej;

c) analiza własności warstwy pośredniej;

d) badanie pracy wyjścia i potencjału kontaktowego;

e) badanie rodzaju centrów aktywacji w tlenkach;

f) badanie wpływu gazów na katodę tlenkową.

5. Nowe konstrukcje katod:

a) katody do pracy w warunkach impulsowych;

b) katody spiekane, katody typu L i inne.

Badania powyższe powinny być prowadzone w ścisłym powiązaniu z produkcją przy wykorzystaniu stosowanej technologii i materiałów przygotowanych według przyjętego w produkcji sposobu. Ze względu na potrzebę korzystania z wielkiej liczby urządzeń produkcyjnych do wykonywania prób prace te mają widoki wykonania tylko przy zakładzie produkującym lampy elektronowe. Przy ZWLE projektowane jest prowadzenie prac badawczych w dziedzinie katod tlenkowych i surowców podstawowych do produkcji lamp elektronowych oraz opracowywanie metod badania technologii. Niektóre prace wymienione w podanym wyżej zestawieniu tematów zostały już rozpoczęte w ramach prac biura konstrukcyjnego ZWLE.

W dalszych pracach potrzebna będzie pomoc niektórych instytutów i PAN. W szczególności należy wykorzystać do badania katod tlenkowych jedną z nowoczesnych metod badania procesów mikrochemicznych, mianowicie metodę izotopów promieniotwórczych. Przewiduje się również tematykę dla Instytutu Metalurgii z dziedziny nowych stopów na katody oraz dla Instytutu Chemii Przemysłowej z dziedziny metod analizy materiałów.

Przedstawiona wyżej tematyka badań jest tak obszerna, że stanowić by mogła przedmiot pracy dla kilkunastu ludzi na przeciąg kilku lat. Wymaga ona stosowania skomplikowanej technologii próżniowej, chemicznej oraz trudnych metod badań fizycznych, co wymaga wysokich kwalifikacji i samodzielności pracowników naukowych mających wykonywać te prace.

12. Wnioski.

1. Należy prowadzić prace naukowo-badawcze nad ulepszaniem materiałów stosowanych na katody tlenkowe metali ziem alkalicznych, a w szczególności badania te dotyczyć muszą niklu katodowego i past emisyjnych.

2. Należy prowadzić prace nad metodami badań i pomiaru emisji (w warunkach pracy ciągłej i impulsowej) oraz badaniami trwałości katod tlenkowych metali ziem alkalicznych.

3. Należy opracować program i tematykę badań w dziedzinie nowoczesnych katod półprzewodnikowych.

4. Badania te powinny uwzględnić potrzeby krajowego przemysłu lampowego i opierać się na doświadczeniach przemysłowych.

MGR K. MORKOWSKA
Zakł. Wytw. Lamp
Elektr. im. R. Luksemburg

Pasty izolacyjne stosowane w lampach elektronowych

621.3:035.21:621.3.035.49

Treść. Technologia past izolacyjnych alundowych do grzejników stosowanych w lampach elektronowych. Konieczność opracowania w kraju metody wyzyskania surowców krajowych do produkcji past.

1. Wstęp.

Wśród materiałów izolacyjnych stosowanych w konstrukcji lamp elektronowych jako główne materiały należy wymienić szkło, ceramikę, mikę oraz pasty izolacyjne. Pierwsze dwa materiały stosuje się na elementy wsporcze konstrukcji lampy oraz na części osłonne; wymagania stawiane tym materiałom omówiono w osobnych referatach.

Mika znajduje zastosowanie w lampach do konstrukcji mostków i innych części centrujących dzięki dużym zaletom mechanicznym, elektrycznym i próżniowym. Mika jest minerałem kopalnianym; spośród wielu znanych w przyrodzie gatunków miki do budowy lamp stosuje się mikę różową, przeroczystą zwaną muskowitem. Stosuje się ją w formie cienkich pasków o grubości 0,3 mm, w których wycina się bardzo małe otwory dla umocowania części metalowych lampy, jak katoda, siatki, anody.

Zarówno mikę, jak niektóre części szklane w lampie, pokrywa się — dla zwiększenia izolacji powierzchniowej — pastami izolacyjnymi. Można tu wymienić pasty złożone z tlenku magnezu MgO oraz węglanu baru $BaCO_3$. Wytwarzanie i stosowanie tych past nie przedstawia żadnych trudności, wobec czego te sprawy pomijamy, a zatrzymamy się szerzej na własnościach i zastosowaniu past izolacyjnych alundowych, złożonych z tlenku glinu i służących do pokrywania grzejników katod pośrednio żarzonych. Przeznaczeniem tych past jest zapewnienie dobrej izolacji między grzejnikiem, pracującym w wysokiej temperaturze (ok. 1300°C), oraz katodą przy bardzo małej odległości wzajemnej tych elementów.

Pasta alundowa składa się z zawiesiny tlenku glinu Al_2O_3, spełniającego określone wymagania pod względem czystości, struktury i wielkości ziarna, w mieszaninie cieczy organicznych, jak alkohol etylowy lub metylowy, z dodatkiem drobnych ilości substancji o charakterze lepików.

Pasty alundowe są przeznaczone do natryskiwania lub kataforetycznego nakładania na grzejniki lamp elektronowych. Po nałożeniu warstwy pasty poddaje się ją spiekaniu przez „wypalanie" grzejników w temperaturze 1600°C w atmosferze redukującej do nadania tej warstwie postaci twardej masy. Po tej operacji pasta powinna przylegać szczelnie do grzejnika, nie pękać i nie odpadać. Ponieważ grzejnik lampy elektronowej pracuje w temperaturze ok. 1300°C, pasta alundowa powinna w tej temperaturze zachować określone własności izolacyjne i trwałość większą od trwałości katody lampowej, tzn. ok. 1000 godz.

2. Zastosowania.

Pasta alundowa znajduje zastosowanie we wszystkich typach lamp elektronowych pośrednio żarzonych. Grzejniki, na które nakładana jest pasta, są to elementy z drutu wolframowego o średnicy od 0,05 mm do kilku dziesiątych milimetra. Kształt grzejników, na które nakłada się pastę, jest bardzo różnorodny w zależności od konstrukcji katody lampy oraz napięcia i mocy żarzenia. Najczęściej stosowane typy grzejników są to grzejniki w kształcie V, M oraz grzejniki spiralizowane bifilarnie o kształcie podłużnym. Do lamp o katodzie płaskiej, np. oscyloskopowych, stosuje się grzejniki płaskie w kształcie spirali. Grubość pokrycia pastą wynosi od 0,01 do 0,02 mm. Różnorodność kształtu grzejników nasuwa dodatkowe wymagania w stosunku do past i wymaga stosowania kąpieli o różnym składzie dla różnych typów grzejników.

3. Zapotrzebowanie.

Ogólne zapotrzebowanie past alundowych w postaci zawiesiny (kąpieli) wynosi rocznie 2 tony. Zapotrzebowanie suchego alundum Al_2O_3 wynosi ok. 300 kg.

4. Stan obecny wiedzy i techniki.

Alundum, znajdujące zastosowanie do produkcji past, jest to tlenek glinu Al_2O_3, który w procesie otrzymywania przeszedł — wskutek żarzenia go w temperaturze ok. 1500°C — w odmianę krystalograficzną alfa o heksagonalnej sieci przestrzennej. (Tlenek glinu, który nie był poddany działaniu odpowiednio wysokiej temperatury, występuje w odmianie polimorficznej gamma o kubicznej sieci przestrzennej). Tlenek glinu otrzymuje się z rud zawierających glin — boksytów, laterytu i innych. Sposób produkcji ma wpływ na końcową postać krystalograficzną. Materiał, który przeszedł żarzenie, nazywamy elektrokorundem; odznacza się on bardzo wysoką twardością (9 w skali Mohsa), odpornością na wysokie temperatury, dużą opornością właściwą i bardzo dużą odpornością chemiczną nawet w stosunku do stężonych kwasów i czynników silnie redukujących; jest natomiast nieodporny na alkalia, z którymi tworzy w wyższych temperaturach związki rozpuszczalne w wodzie.

Elektrokorund po żarzeniu miele się w młynach stalowych; proszki o odpowiedniej ziarnistości — po wymyciu ich z resztek metalu — używane są do wyrobu materiałów spiekanych. Pył elektrokorundowy o najdrobniejszym ziarnie może stanowić materiał wyjściowy do otrzymywania alundum.

Wymagania w stosunku do alundum stosowanego do grzejników lamp elektronowych są następujące:

1) alundum winno mieć strukturę alfa heksagonalną;

2) wielkość ziarna powinna się zawierać w granicach od 1 μ do 9 μ, przy czym rozkład ziarnistości winien być określony;

3) czystość alundum powinna być bardzo duża: $Al_2O_3 > 99{,}5\%$. Dopuszczalne są następujące zanieczyszczenia:

$$Si < 0{,}1\%,\ Fe_2O_3 < 0{,}1\%,\ Na_2O \text{ i } K_2O < 0{,}1\%;$$

4) alundum winno się dobrze spiekać w temperaturze 1650°C i nie odpadać od grzejników po spiekaniu.

Alundum czyniące zadość powyższym wymaganiom można stosować do sporządzania zawiesin zwanych pastami izolacyjnymi. W zależności od wybranej metody nakładania alundum (natryskiwanie czy kataforeza) skład pasty jest różny. Oto przykładowy skład pasty do natryskiwania:

alundum	2 kg,
octan butylu	400 cm^3,
6-procentowy roztwór kolodium w octanie butylu	600 cm^3,
alkohol metylowy	1500 cm^3,
inny rozpuszczalnik	1500 cm^3.

Pastę miesza się w młynie prokorundowym lub z twardej porcelany w ciągu ok. 1 godziny, po czym przeciska się ją przez sito jedwabne o odpowiedniej wielkości oczek.

Pastę stosuje się przez natryskiwanie pistoletem przy pomocy sprężonego powietrza na specjalnym urządzeniu, w którym klamry z grzejnikami, mieszczące po 20 szt. grzejników, obracają się przy jednoczesnym przesuwaniu na boki pistoletu natryskującego tak, aby każdy grzejnik natryskany był skośnie raz z lewej, raz z prawej strony. Metoda ta jest nieekonomiczna ze względu na duże zużycie pasty w stosunku do pokrywanych powierzchni grzejników, a ponadto nie nadaje się do grzejników bardzo małych wymiarów z bardzo cienkich drutów.

Pasta do kataforetycznego nakładania ma przykładowo skład następujący:

alundum	1,2 kg,
azotan glinu krystal.	18 g,
alkohol metylowy bezwodny	2400 cm^3.

Po 24 godzinach mielenia metanol zlewa się, po czym zalewa się znów 1500 cm^3 metanolu i pozostawia na 24 godz. Po zlaniu osad zalewa się nową porcją 3600 cm^3 alkoholu metylowego i dodaje się 210 cm^3 6-procentowego roztworu kolodium w acetonie lub octanie butynu oraz 50 cm^3 5-procentowego roztworu azotanu glinu w alkoholu metylowym i miele ok. 1 godz.

Kataforeza polega na odkładaniu z zawiesiny ziarn alundum na grzejnikach pod wpływem doprowadzonego pola elektrycznego w odpowiednim urządzeniu do kataforezy. W czasie przepływu prądu grzejniki powinny pokrywać się równomierną warstwą tlenku glinu, która po wyjęciu grzejnika powinna szybko obsychać nie skupiając się nierównomiernie w różnych miejscach grzejnika.

Przebieg zjawiska kataforezy jest b. złożony; bierze w nim udział oddziaływanie pola elektrycznego na ładunki znajdujące się na powierzchni poszczególnych ziarnek alundum, a mianowicie w wyniku wytworzenia się tak zwanej warstwy podwójnej, naelektryzowanej wskutek adhezji cząstek rozpuszczalnika i dodanych do zawiesiny dodatków. Często zanieczyszczenia kąpieli powodują wytwarzanie innych ładunków na cząstkach zawiesiny lub neutralizują istniejące ładunki i kataforeza zanika. Dodatki pewnych substancji mogą powodować tworzenie się ładunków o innym znaku i osadzanie się alundum na anodzie zamiast na katodzie; mamy wtedy do czynienia z anaforezą.

Zjawisko elektroforezy jest mało zbadane i wiele jest w nim jeszcze problemów otwartych. Proces ten stwarza często trudności w fabrykach lamp elektronowych.

W dalszym procesie pokrywania pastą stosuje się spiekanie warstwy alundum w piecu wodorowym w temperaturze 1600 — 1650°C. W tym procesie poszczególne ziarenka alundum nadtapiają się na brzegach i stapiają ze sobą tworząc sztywną warstwę. Jeżeli stopienie jest zbyt silne, warstwa przybiera szklisty wygląd i jest bardzo krucha. Dobroć warstw zależy od rozkładu ziarnistości alundum i warunków pokrywania kataforetycznego.

W niektórych typach grzejników pokrywanie pastą i spiekanie trzeba wykonywać przy grzejniku zawierającym wewnątrz rdzeń molibdenowy, na którym grzejnik był nawijany, ponieważ drucik nawojowy jest tak cienki, że grzejnik bez rdzenia uległby łatwo deformacji. W tych przypadkach stosuje się już po spieczeniu pasty wytrawianie rdzenia molibdenowego przy pomocy mieszaniny kwasu azotowego i siarkowego o określonym składzie, po czym grzejniki płucze się i suszy. Pasta izolacyjna spieczona nadaje im już dostateczną sztywność.

Niekiedy stosuje się ponowne nakładanie warstwy pasty i powtórne spiekanie.

5. Metody badań.

Przydatność alundum do zastosowania przy budowie lamp elektronowych można stwierdzić na podstawie zbadania wszystkich cech określonych normą.

Strukturę określa się przy pomocy metody rentgenowskiej Debye-Scherera. Do oznaczania zawartości domieszek stosuje się metody kolorymetryczne (oznaczanie Fe_2O_3) oraz metody spektralne (oznaczanie alkalii).

Rozkład wielkości ziarna może być wyznaczany przy pomocy mikroskopu lub na podstawie szybkości opadania cząstek w zawiesinie przy pomocy pipety Andreasena.

Własności izolacyjne alundum oraz własności mechaniczne po spiekaniu kontroluje się przez wykonanie grzejników w normalnym procesie produkcyjnym i zbadanie ich własności w lampach elektronowych, które poddaje się również próbie trwałości. Pomiar izolacji grzejnika w lampie jest dobrym sprawdzianem czystości alundum i past ze względu na to, że wszelkie domieszki (szczególnie alkalia) po wbudowaniu się w sieć kryształów Al_2O_3 w czasie spiekania nadają alundum własności półprzewodnikowe, co przejawia się silną zależnością oporu od temperatury. W przypadku alundum zawierającego zanieczyszczenia opór warstwy pasty spieczonej maleje bardzo znacznie ze wzrostem temperatury grzejnika w czasie pracy w lampie, co powoduje zwiększenie prądu w izolacji i prowadzi do zwarć.

Często kontrola własności alundum w grzejnikach jest jedynym sprawdzianem jego własności, ze względu na trudne metody oznaczenia chemicznego małych ilości zanieczyszczeń.

Pomiaru izolacji grzejnik-katoda dokonuje się w temperaturze pracy napięciem stałym w obu kierunkach. Często warstwa alundowa wykazuje własności prostujące, ma zatem różny opór w obu kierunkach. Wartości dopuszczalne prądów izolacji w różnych grzejnikach wahają się od 1 μA do 10 μA przy napięciu 100 V.

Podane wyżej wymagania określają w sposób jednoznaczny materiał wyjściowy do past izolacyjnych. Normy zagraniczne na alundum (czeskie, holenderskie, niemieckie) nie różnią się pod względem wymagań. Przygotowanie past izolacyjnych natomiast zawiera wiele problemów otwartych. Istnieją w literaturze ogólne dane o składzie past, szczegóły zaś technologii ich przygotowania są przedmiotem patentów.

6. Stan obecny technologii past izolacyjnych w kraju i wnioski

Do chwili obecnej ZWLE korzystają z materiału importowanego. Stosowane jest alundum czeskie, angielskie oraz pasty izolacyjne gotowe pochodzenia holenderskiego. Alundum angielskie powodowało początkowo pewne trudności w produkcji ze względu na zbyt dużą ilość zanieczyszczeń (alkalii). W roku ubiegłym Biuro Konstrukcyjne ZWLE opracowało metodę oczyszczania tego materiału, która pozwoliła zastosować go do produkcji past tak, że obecnie produkuje się pasty z obu gatunków alundum. W zakresie technologii wytwarzania past prowadzone są przez Biuro Konstrukcyjne ZWLE prace doświadczalne, których rezultaty pozwalają już w chwili obecnej stosować pasty produkcji własnej.

Na wniosek ZWLE kilka instytutów rozpoczęło prace nad otrzymywaniem bardzo czystego alundum w kraju. Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach oraz Centralne Laboratorium Chemiczne w Warszawie pracują nad otrzymywaniem alundum przez oczyszczenie pyłu filtrowego, powstającego przy produkcji elektrokorundu. C. L. Ch. pracuje ponadto nad pastami do kataforezy alundum. Badaniem zjawiska kataforezy past i wpływu składu na własności grzejników zajmuje się Biuro Konstrukcyjne ZWLE.

Wymienione prace badawcze winny być kontynuowane przy poparciu odpowiednich władz tak, aby mogły w przeciągu ok. 2 lat doprowadzić do powtarzalnych wyników uzyskania materiału w kraju.

MGR INŻ. STEFAN OKONIEWSKI, ZAST. PROF.
Politechnika Warszawska

Metale próżniowe

621.326.2/.27:621.3.032.11:627.7(083.9)(438)

Treść. Konieczność równoczesnego rozwiązania produkcji metali i stopów, odznaczających się dużą czystością chemiczną oraz bardzo małą zawartością gazów i składników o wysokim ciśnieniu par. Zmniejszenie ilości zanieczyszczeń w metalach uzyskuje się na drodze chemicznego oczyszczania oraz przetapiania lub wygrzewaniu ich w próżni. Z materiałów tych wykonuje się elementy konstrukcyjne lamp, jak anody, siatki, katody, wsporniki, przepusty wtopione w szkło, połączenia części metalowych ze szkłem i inne. Bliżej omówiono miedź próżniową, nikiel, wolfram, molibden, tantal oraz stopy FeNiCo i FeCr, a ponadto druty miedziowo-płaszczowe i blachy platerowane. Możliwości wytwarzania tych materiałów w kraju w ilościach niezbędnych do zaspokojenia potrzeb przemysłu lamp elektronowych.

1. Wstęp.

Szybki rozwój w ostatnich latach nowej gałęzi elektrotechniki — elektroniki, wykorzystującej w szerokim zakresie technologię wysokiej próżni, stwarza konieczność równoległego rozwijania również produkcji metali próżniowych. Z charakteru ich pracy wypływają warunki, którym muszą odpowiadać te metale. Pewne z nich — przeznaczone na katody — muszą się odznaczać odpowiednio wysoką emisją termoelektronową. Inne — przeznaczone na połączenia próżnioszczelne ze szkłem — powinny mieć odpowiedni dla określonego szkła współczynnik rozszerzalności cieplnej. W innym jeszcze przypadku głównym warunkiem jest odpowiednio duża przewodność elektryczna lub cieplna.

Mimo znacznych różnic w zastosowaniach tych metali mają one wspólną właściwość, pozwalającą na użytkowanie ich w próżni. Właściwością tą jest brak w nich zanieczyszczeń gazowych i stałych, które w czasie pracy mogłyby się z nich wydzielić i spowodować wzrost ciśnienia w próżniowej bańce przyrządu. Dla uzyskania tej podstawowej właściwości należy proces wytwarzania metali próżniowych przeprowadzać w sposób zapewniający usunięcie z nich niepożądanych zanieczyszczeń.

Jako zanieczyszczenia gazowe w metalach mogą występować:

1) gazy jednoatomowe, np. He, Ne, Ar, Kr lub Xe, które nie tworzą związków chemicznych;

2) gazy dwuatomowe jak O_2, H_2, N_2 i inne; podlegają one dysocjacji i mogą wówczas tworzyć związki chemiczne ze składnikami stopu;

3) gazy o strukturze polarnej lub jonowej, jak H_2O, CO_2, SO_2, NO lub NH_3, H_2S; te gazy w stanie niezdysocjowanym nie tworzą związków ze składnikami stopów.

Wszystkie wymienione gazy mogą być w temperaturze normalnej pochłaniane przez warstwy powierzchniowe metalu lub stopu. W zależności od rodzaju sił powodujących pochłanianie (sorpcję) gazu zjawisko to może mieć charakter fizyczny lub chemiczny. Proces pochłaniania gazu spowodowany jedynie działaniem sił Van der Waalsa ma charakter fizyczny i określa się mianem a d s o r p c j i m o l e k u l a r n e j. Ilość pochłoniętego gazu jest przy tym proporcjonalna do ciśnienia i odwrotnie proporcjonalna do temperatury.

Jeżeli pochłanianie gazu jest poprzedzone jego dysocjacją, to wiązanie między metalem i gazem ma charakter kowalencyjny, a w wyniku wiązania powstaje związek chemiczny mniej lub więcej trwały. Ten rodzaj pochłaniania określa się nazwą a d s o r p c j i c h e m i c z n e j.

Pochłanianiu gazu przez metal towarzyszy wydzielanie ciepła. W przypadku adsorpcji molekularnej ilości wydzielonego ciepła są nieznaczne (poniżej 4000 cal/mol) w przeciwieństwie do adsorpcji chemicznej, która zwykle wyzwala znaczne ilości ciepła (powyżej 10 000 cal/mol).

Sorpcja gazów dwuatomowych ma przebieg bardziej skomplikowany, gdyż występują tu oba jej rodzaje. W temperaturach niższych przeważa adsorpcja molekularna, w temperaturach wyższych — adsorpcja chemiczna. Ilość pochłoniętego gazu w stałej temperaturze określa (wg Freundlicha) zależność:

$$M = k \cdot p^{1/n},$$

gdzie M — ilość pochłoniętego gazu,
k — współczynnik dla określonego układu gaz-metal,
p — ciśnienie,
n — współczynnik określający rodzaj sorpcji (w granicach od 0,5 do 2).

W przypadku $n = 0{,}5$ równanie przybiera postać $M = kp^2$ i dotyczy przypadków gazów szlachetnych, których ilość pochłonięta przez metal jest proporcjonalna do kwadratu ciśnienia. Gdy $n = 1$, ilość gazu pochłoniętego jest proporcjonalna do ciśnienia; jest to przypadek, kiedy ani sorpcja nie wiąże się z powstawaniem cząsteczek w gazie, ani gaz nie podlega dysocjacji. Gdy w gazie następuje całkowita dysocjacja, a sorpcja ma charakter chemiczny, to współczynnik n przybiera wartość 2 i dotyczy adsorpcji chemicznej.

Jeżeli pochłonięty składnik nie koncentruje się jedynie w warstwie powierzchniowej, lecz przenika do warstw głębszych, to zjawisko takie określa się mianem absorpcji. Jakkolwiek teoretycznie różnica między adsorpcją i absorpcją jest wyraźna, to jednak w praktyce wyznaczenie granicy między tymi zjawiskami jest trudne.

Podane przez Freundlicha zależności dotyczą jedynie adsorpcji w stałej temperaturze. Zagadnienie to zostało rozwinięte przez Gibbsa i obejmuje wpływ zarówno ciśnienia, jak i temperatury na ilość pochłoniętego gazu. Wg Gibbsa ilość gazu pochłoniętego wyraża się zależnością:

$$Q = \frac{1}{k_0 \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dx}{d\ln p}$$

gdzie Q — ilość gazu adsorbowanego,
k_0 — współczynnik równowagi,
p — ciśnienie,
x — prężność czynnika adsorbującego,
R — stała gazowa,
T — temperatura bezwzględna.

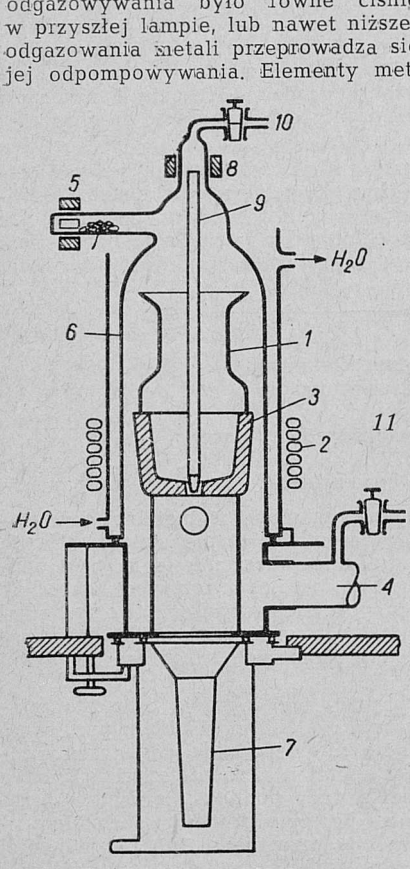
Oprócz zanieczyszczeń gazowych mogą w metalach lub stopach występować zanieczyszczenia w stanie stałym, których ciśnienie par jest znaczne. Zanieczyszczenia te mogą z podstawowymi składnikami stopu tworzyć roztwory stałe lub mieszaniny. W pewnych przypadkach mogą one tworzyć również mieszaniny różnych roztworów. Zawartość takich zanieczyszczeń jest w metalach próżniowych szkodliwa na równi z gazami.

Usunięcie pochłoniętych przez metal gazów oraz znajdujących się w nim zanieczyszczeń o dużym ciśnieniu par (cynk, kadm, arsen i inne) wiąże się z koniecznością dostarczenia odpowiednich ilości energii cieplnej oraz zmniejszenia ciśnienia zewnętrznego. Dla dokonania tego poddaje się metale przeznaczone do pracy w próżni pewnym procesom technologicznym, w czasie których są one przetapiane lub przynajmniej wygrzewane w próżni rzędu 10^{-5} Tr.

Proces topienia metali w próżni przeprowadza się w specjalnych piecach próżniowych ogrzewanych najczęściej prądami wielkiej częstotliwości. Schemat konstrukcyjny takiego pieca przedstawiony jest na rys. 1. Poza częściami pokazanymi na rysunku urządzenie jest wyposażone w zespół pomp próżniowych, opróżniających wnętrze komory *1* wykonanej ze szkła twardego oraz nagrzewnik indukcyjny wzbudzający przy pomocy cewki grzewczej *2* prądy wirowe wielkiej częstotliwości w tyglu grafitowym *3*. W wyniku wzbudzenia w tyglu prądów wirowych ulega on nagrzaniu wraz ze znajdującym się w nim wsadem. Przed rozpoczęciem grzania należy znajdujące się w komorze powietrze wypompować przez kanał *4* połączony z pompą dyfuzyjną. Po uzyskaniu odpowiednio niskiego ciśnienia należy przystąpić do grzania wsadu umieszczonego w tyglu. Jeżeli przewiduje się wprowadzenie do topionego metalu dodatków stopowych, można tego dokonać przy pomocy dozownika elektromagnetycznego *5*, który po włączeniu prądu może być wraz z żelaznym rdzeniem przesuwany wzdłuż poziomej rury. W ten sposób można znajdujące się w rurze dodatki stopowe zepchnąć do tygla. Na skutek promieniowania tygla nagrzewają się ścianki komory próżniowej chłodzonej przy pomocy płaszcza wodnego *6*. Po stopieniu i odgazowaniu metalu przelewa się go do formy *7* umieszczonej pod tyglem. W tym celu przy pomocy urządzenia elektromagnetycznego *8* podnosi się trzpień *9* zatykający otwór w dnie tygla. Przez otwór ten stopiony metal przelewa się do formy. W czasie tej operacji następuje dalsze odgazowanie metalu, który cienkim strumieniem wypływa z tygla. Czasem przed odgazowaniem w próżni należy zawarte w metalu tlenki zredukować wodorem. Do tego celu oczyszczony uprzednio wodór wprowadza się do komory *1* przez rurkę *10*, a wyprowadza przez rurkę *11*. W czasie przepuszczania wodoru przez komorę urządzenia topienie metalu odbywa się

metodą opisaną wyżej. Po zakończeniu redukcji wstrzymuje się dopływ wodoru, a pozostałą w komorze ilość gazu usuwa się przy pomocy pomp próżniowych. Przez cały czas tej operacji metal należy utrzymywać w stanie ciekłym aż do całkowitego odgazowania go.

Proces odgazowania metalu przeprowadza się często również w stanie stałym. W tym celu metal podgrzewa się w próżni do temperatury wyższej niż temperatura jego pracy w lampie elektronowej i w ten sposób usuwa się znaczną część zawartych w metalu gazów. Należy przy tym zwracać uwagę, by ciśnienie gazów wydzielonych z metalu w końcowej fazie odgazowywania było równe ciśnieniu, które ma panować w przyszłej lampie, lub nawet niższe od niego. Często proces odgazowania metali przeprowadza się już w lampie w czasie jej odpompowywania. Elementy metalowe ogrzewa się przy tym indukcyjnie prądami wielkiej częstotliwości lub część z nich (anodę) przy pomocy bombardowania strumieniem elektronów. Zwykle przed odgazowaniem elementy konstrukcyjne lamp podlegają wodorowaniu w celu zredukowania tlenków, które mogły powstać na powierzchni metalu lub stopu podczas ich wytwarzania lub magazynowania. Proces wodorowania przeprowadza się w piecach wodorowych, w których części lamp są wygrzewane w określonej dla każdego rodzaju materiału temperaturze przez czas pozwalający na całkowitą redukcję tlenków.



Rys. 1. Piec próżniowy

W technologii próżniowej stosuje się głównie następujące metale: Cu, Ni, W, Mo, Ta, Fe, Al, Ag, Pt, stopy Fe-Cr, Fe-Ni, Ni-Mn, Fe-Ni-Co i inne oraz wyroby warstwowe: druty miedziopłaszczowe, taśmy trójwarstwowe i inne; ponadto C (nie będący metalem). Większość z wymienionych metali stosuje się jako materiał konstrukcyjny do budowy części lamp.

Oddzielną grupę stanowią metale pomocnicze stosowane do różnych celów próżniowych, jak np. luty próżniowe oraz pochłaniacze. W ramach niniejszego referatu będą omówione tylko te metale i stopy, których wprowadzenie do produkcji krajowej wydaje się najważniejsze.

2. Metale konstrukcyjne.

Miedź próżniowa

Zastosowanie oraz technologia wytwarzania. Zastosowanie na szerszą skalę miedzi w technice próżniowej mogło rozpocząć się od momentu opracowania sposobów usuwania z niej zanieczyszczeń gazowych, zwłaszcza tlenu. Miedź tę stosuje się do wyrobu anod w lampach nadawczych dużej mocy, w lampach mikrofalowych oraz jako materiał konstrukcyjny, służący do wykonania elastycznych złącz próżnioszczelnych szkła z metalem.

Zapotrzebowanie krajowe miedzi próżniowej jest obecnie małe i nie przekracza kilkuset kilogramów rocznie. Planowany na najbliższy okres rozwój produkcji lamp mikrofalowych oraz lamp nadawczych dużej mocy również spowoduje wzrost zapotrzebowania miedzi próżniowej. Należy przypuszczać, że ilość ta wzrośnie do ~ 10 ton rocznie.

Miedź elektrolityczna jest zanieczyszczona tlenem w ilości 0,01 — 0,07%, występującym w postaci Cu_2O, a ponadto zawiera jeszcze ślady Sb, Zn, Sn, Si i Fe. Miedź elektrolityczna ETPC (Electrolyte Tough Pitch Copper) odtlenia się w stanie ciekłym za pomocą CO lub C. Uzyskuje się wówczas tzw. miedź beztlenową oznaczaną symbolem OFHC (Oxygen Free High Conductivity). Odtlenianie miedzi w stanie stałym przy pomocy wodoru nie może być zalecane, ponieważ powoduje „chorobę wodorową" miedzi.

Redukcja tlenku miedziowego, który znajduje się w miedzi elektrolitycznej pod postacią eutektyki, przebiega wg reakcji:

$$Cu_2O + H_2 \rightarrow 2Cu + H_2O.$$

Wytworzona w podwyższonej temperaturze para wodna na skutek znacznej prężności powoduje powstawanie w materiale lokalnych pęknięć. Dalsze oczyszczanie miedzi beztlenowej odbywa się na drodze przetapiania jej w próżni. Uzyskuje się wówczas miedź pozbawioną w znacznej mierze gazów i oznaczaną symbolem GFHP (Gas Free High Purity). Skład chemiczny tych gatunków miedzi zestawiono w tabl. I.

Miedź o bardzo dużej czystości odznacza się doskonałymi własnościami plastycznymi. Łatwo odkształca się w procesach kucia, walcowania, przeciągania i tłoczenia. Przeróbka pla-

Tablica I. Skład chemiczny miedzi rafinowanej*)

Miedź	Cu + Ag (%)	O_2 (%)	P (%)	S (%)
Elektrolityczna ETPC	99,9	0,04	0,003	0,03
Beztlenowa OFHC regular	99,92	0,001	0,0003	0,004
Beztlenowa OFHC certified	99,96	0,0000	0,0000	0,004
Próżniowa GFHP	99.993	0,0000	0,0000	0,000

*) Według ASTM.

styczna prowadzona na zimno (w temperaturach niższych od temperatury rekrystalizacji) powoduje znaczny wzrost wytrzymałości i równoczesne zmniejszenie plastyczności. Skutki wywołane zgniotem mogą być usunięte na drodze wyżarzania rekrystalizującego w temperaturze 250 — 300°C, najlepiej w atmosferze ochronnej. Dla przyspieszenia procesu można stosować nieco wyższe temperatury rekrystalizacji, lecz nie przekraczające 600°C, gdyż wyżarzanie w wyższych temperaturach powoduje powstawanie struktury gruboziarnistej odznaczającej się mniejszą udarnością. Również nie należy miedzi przerabiać plastycznie w temperaturze powyżej 300°C, ponieważ wydłużenie jej na gorąco maleje.

Czysta miedź wyżarzona z powodu znacznej plastyczności źle się poddaje skrawaniu. Wióry są ciągliwe, a powierzchnia obrabianego przedmiotu nie jest gładka. Wadę tę można zmniejszyć przez wprowadzanie do miedzi składników stopowych o małym ciśnieniu par, jak np. Be, lub przez stosowanie obróbki skrawaniem do przedmiotów uprzednio utwardzonych za pomocą zgniotu. Wpływ temperatury wyżarzania rekrystalizującego na własności mechaniczne miedzi przerobionej plastycznie na zimno przedstawia rys. 2.

Własności elektryczne miedzi zależą w znacznej mierze od temperatury, a ponadto od stopnia jej czystości oraz od wielkości zgniotu, któremu była poddana. Np. oporność miedzi wzrasta ze wzrostem temperatury, zawartości zanieczyszczeń oraz stopnia zgniotu. Zmianę oporności miedzi w zależności od temperatury przedstawia w porównaniu z innymi metalami rys. 3.

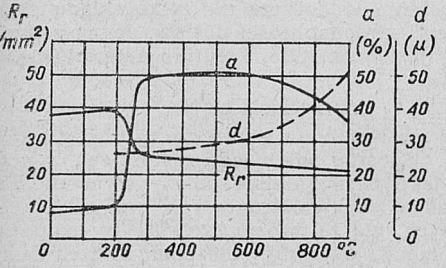
Miedź ma — obok dobrych własności plastycznych i elektrycznych — duże zalety jako materiał próżniowy. Ciśnienie jej par nasyconych jest dostatecznie małe, by zapewnić prawidłową pracę lampy nawet w podwyższonej temperaturze. Zależność ciśnienia par różnych metali od temperatury przedstawiono na rys. 4. Znaczna spoistość materiału w cienkich warstwach zapobiega przedostawaniu się powietrza pod ciśnieniem atmosferycznym do wnętrza lampy. Duża przewodność cieplna umożliwia ponadto intensywne chłodzenie lamp dużej mocy wykonanych w pewnym stopniu z miedzi.

Części lamp elektronowych wykonuje się z miedzi próżniowej głównie na drodze przeróbki plastycznej, a ponadto przez odlewanie i obróbkę skrawaniem. Przeróbka plastyczna, do której należy wykrojnictwo, tłocznictwo i prasownictwo, obok kucia, walcowania i przeciągania ma podstawowe znaczenie w produkcji lamp elektronowych, znaczna bowiem większość procesów mechanicznych jest oparta na tych procesach technologicznych. Przewaga przeróbki plastycznej nad pozostałymi metodami produkcji wyraża się w znacznej oszczędności materiału, w wydajności i prostocie procesu oraz w niskim koszcie wytwarzania. Mimo wyraźnej wyższości przeróbki plastycznej nad pozostałymi metodami wytwarzania nie jest ona jeszcze w produkcji lamp elektronowych należycie doce-

niana; szereg procesów prowadzi się dotychczas metodami przestarzałymi.

Łączenie części miedzianych najlepiej jest wykonywać przy pomocy twardych lutów. Najczęściej do tego celu stosuje się luty eutektyczne Ag-Cu (Ag72/Cu28), których temperatura topnienia wynosi 779°C, lub luty o mniejszej zawartości srebra. Czasem stosowane bywają również luty potrójne Au-Cu-Ag (Au42, Cu55, Ag3), o temperaturze topnienia od 940 do 960°C.

W pewnych przypadkach stosowane bywają do dyfuzyjnego lutowania luty z czystego złota. Połączenie części miedzianych następuje wówczas przez warstwę złota w temperaturze



Rys. 2. Zależność własności mechanicznych miedzi zgniecionej w 50% od temperatury
R_r — wytrzymałość na rozciąganie
a — wydłużenie
d — wielkość ziarna

450 — 500°C bez przechodzenia przez stan ciekły. Na powierzchni styku miedzi ze złotem powstają w stanie stałym w podwyższonej temperaturze roztwory uporządkowane $AuCu_3$ i AuCu powodując w ten sposób trwałe połączenie obu części miedzianych.

Tam, gdzie miejsce lutowane nie jest narażone na działanie wyższych temperatur w czasie pracy lampy, można stosować luty z pewną zawartością fosforu obniżającego temperaturę topnienia. Np. w miejscach niezbyt odległych od złączy szkła z metalem stosuje się luty Cu-P (Cu91, 6/P8, 4), które topnieją w temperaturze 714°C, lub luty Cu-Ag-P (Cu80/Ag15/P5), o temperaturze topnienia w granicach od 640 do 704°C.

Łączenie miedzi z innymi metalami, np. z wolframem, można wykonać przy pomocy lutu Au-Cu (Au80/Cu20) w piecu wodorowym w temperaturze około 920°C. Czasem pręty wolframowe w miejscach przewidzianych do lutowania pokrywa się w piecu wodorowym niklem lub miedzią, a następnie dalsze części przylutowuje się do tego miejsca przy pomocy lutu Ag-Cu.

Części lamp przed ostatecznym montażem podlegają dokładnemu oczyszczeniu i myciu. Zabiegi te mają na celu usunięcie z powierzchni metalu wszelkich zanieczyszczeń, które mogły się tam znaleźć w wyniku poprzednich operacji.

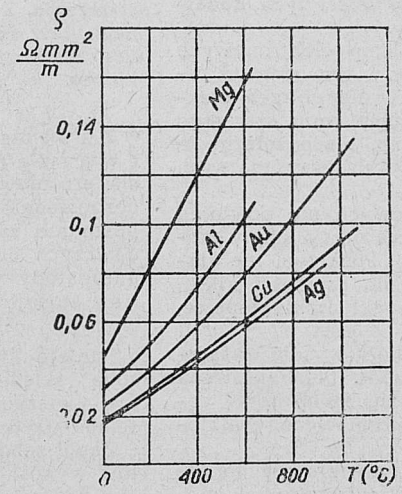
W przypadku części miedzianych do mycia stosuje się czterochlorek węgla, trójchloroetylen, alkohol metylowy i inne. Substancje te mają na celu usunięcie z powierzchni miedzi zanieczyszczeń organicznych. Kwas azotowy oraz kwas chromowy stosowane do oczyszczania powierzchni miedzi usuwają nie tylko zanieczyszczenia, lecz również pewną warstwę miedzi odsłaniając w ten sposób nową powierzchnię.

Metody badań. Miedź próżniowa podlega specjalnym badaniom, pozwalającym na wykrycie wad, które zakłócają pracę w próżni. Z tego względu analizy na zawartość gazów i lotnych składników w metalu stanowią podstawę tych badań. Do tego celu stosuje się urządzenia, pozwalające na wydzielanie w aparaturze próżniowej mieszaniny gazów zawartych w badanej próbce i ustalenie ich ilości [1]). Dalsza analiza polega na rozdzielaniu tej mieszaniny na drodze kondensacji lub kolejnego pochłaniania składników. Lepsze wyniki uzyskać można przez zastosowanie do tego celu spektrografu mas Astona.

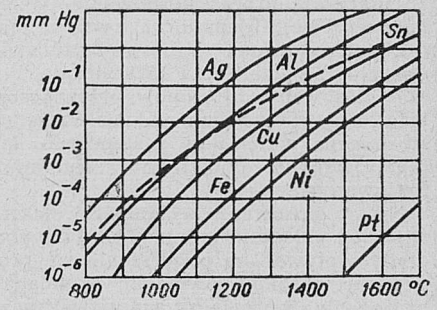
W warunkach odbiorczych w pewnych przypadkach można posługiwać się analizą metalograficzną, pozwalającą na stwierdzenie w miedzi obecności zanieczyszczeń tlenkowych oraz siarczkowych. Dla ustalenia stopnia zanieczyszczenia miedzi tlenem wykonuje się czasem próbę wielokrotnego zginania. W tym celu pasek lub pręt miedziany poddaje się wyżarzaniu w wodorze. Jeżeli w miedzi znajdują się pewne ilości tlenku miedziawego, spowodują one na skutek wystąpienia choroby wodorowej wzrost kruchości. Dalsze badania przeprowadza się w dwuszczękowym uchwycie pokazanym na rys. 5. Wyżarzany w wodorze materiał po umocowaniu w szczękach przyrządu podlega powolnemu wielokrotnemu przeginaniu o kąt 180° aż do pęknięcia. Jako jeden cykl liczy się przegięcie o kąt 90° i wyprostowanie. Miedź „OFHC regular" wytrzymuje ponad 4 przegięcia, a miedź „OFHC certified" ponad 10.

Poza badaniami specjalnymi należy przeprowadzić nad miedzią próżniową badania własności mechanicznych i fizycznych ogólnie znanymi metodami.

Zagadnienie norm. Polskie normy podobnie jak



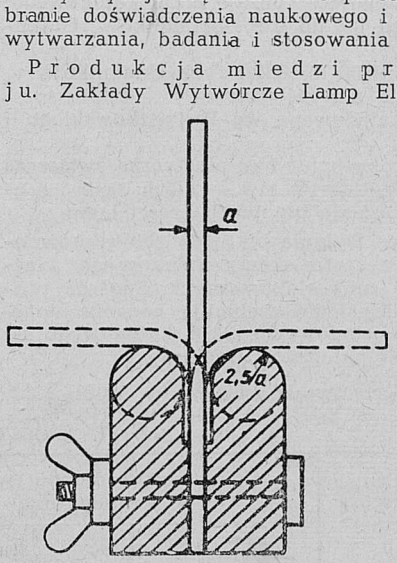
Rys. 3. Zależność oporności miedzi i innych metali od temperatury



Rys. 4. Zależność ciśnienia par nasyconych miedzi i innych metali od temperatury

radzieckie obejmują 5 gatunków miedzi o zawartości od 99 do 99,95% Cu. Najwyższy gatunek miedzi objęty normami odpowiada w przybliżeniu gatunkowi „OFHC" czyli miedzi beztlenowej. Brak jest natomiast w normach miedzi próżniowej. Istniejąca klasyfikacja miedzi ustalona przez PN/H opracowana jest pod kątem potrzeb przemysłu elektrycznego i hutniczego, lecz zupełnie nie uwzględnia potrzeb technologii próżniowej. Zresztą nie mogło być inaczej, ponieważ elektronika dotychczas nie potrafiła sprecyzować swych potrzeb w tym względzie. Dotychczasowe prace dokonywane w zakresie miedzi próżniowej nie dostarczyły jeszcze wystarczających danych do opracowania własnych norm. W tym stanie rzeczy wydaje się konieczne przed opracowaniem norm zebranie doświadczenia naukowego i produkcyjnego w zakresie wytwarzania, badania i stosowania miedzi próżniowej.

Produkcja miedzi próżniowej w kraju. Zakłady Wytwórcze Lamp Elektrycznych same produkują miedź próżniową dla własnych potrzeb. Nie są to jednak ilości, które mogłyby pokryć wzrastające zapotrzebowanie tego artykułu ze strony przemysłu. W Z. W. L. E. będą możliwości znacznego powiększenia produkcji po uruchomieniu indukcyjnych pieców próżniowych wymaganej wydajności. Przeróbka plastyczna miedzi prowadzona jest w ZWLE w zakresie wytwarzania blach, prętów i drutu, natomiast nie produkuje się jeszcze rur, które znajdują zastosowanie jako półfabrykat do lamp mikrofalowych. Zagadnienie produkcji rur z miedzi próżniowej powinno być jako pilne w najbliższej przyszłości rozwiązane.



Rys. 5. Próba wielokrotnego zginania

Nikiel i jego stopy

Zastosowanie oraz technologia wytwarzania. Nikiel obok miedzi stanowi najpoważniejszą pozycję materiałową w produkcji lamp elektronowych. Stosowany bywa głównie jako materiał konstrukcyjny. Szerokie zastosowanie niklu w budowie lamp elektronowych jest spowodowane jego dobrymi własnościami mechanicznymi

[1]) Schmidt Barbara. Prace PIT, 1953, nr 11.

i elektrycznymi, znaczną odpornością przeciwko korozji oraz niskim ciśnieniem par w wysokich temperaturach.

Nikiel, z którego wyrabia się anody, siatki, wsporniki itp., nazywa się niklem konstrukcyjnym lub próżniowym. Do tego celu można stosować nikiel pozbawiony dodatków stopowych lub zawierający pewne ilości takich dodatków, jak np. mangan lub krzem, wprowadzonych celowo dla poprawy własności mechanicznych.

Na katody pośrednio żarzone stosuje się inny rodzaj niklu, tzw. nikiel katodowy. Zawiera on takie składniki, jak np. Al, Mg, Mn, Si i inne, które wchodzą w reakcję z tlenkami ziem alkalicznych, stanowiącymi emitującą warstwę katody, przez co ułatwiają proces formowania. Większe ilości tych dodatków wpływają ujemnie na trwałość lampy.

Zapotrzebowanie krajowe niklu do lamp elektronowych obecnie nie przekracza 15 t rocznie, licząc w tym również nikiel stosowany do stopów przeznaczonych dla potrzeb elektroniki. Ilość ta będzie jednak wzrastać mimo coraz szerszego stosowania materiałów zastępczych, jak np. blach żelaznych, platerowanych obustronnie aluminium, i drutów żelaznych niklowanych.

Nikiel stosowany w lampach elektronowych nie powinien zawierać składników lotnych, które podczas pracy lampy mogłyby wpływać na pogorszenie się próżni. Poza tym nie stawia się wysokich wymagań w stosunku do czystości niklu; przeciwnie, wprowadza się nawet pewne składniki stopowe, by uzyskać pożądane właściwości niklu.

Nikiel używany na anody powinien mieć wysoki współczynnik promieniowania ciepła, gdyż anoda bombardowana strumieniem elektronów może nagrzewać się znacznie. W celu powiększenia współczynnika promieniowania blachy niklowe poddaje się czernieniu grafitem.

Na siatki i wsporniki stosuje się nikiel zawierający do 5% manganu. Stop ten odznacza się dobrymi własnościami mechanicznymi, dobrą spawalnością oraz niską termoemisją elektronów.

Nikiel katodowy zawiera liczne domieszki stopowe (Al, Si, Mg, Ti i inne), które wchodzą w reakcje z tlenkami warstwy emisyjnej katody tworząc warstwę pośrednią. Domieszki stopowe mają na celu ułatwienie procesu aktywowania katody, gdyż powodują one redukcje tlenków ziem alkalicznych, głównie baru potrzebnego do spowodowania emisji. Inne składniki stopowe nie działają redukująco i bezpośrednio nie wpływają na emisję.

W zależności od ilości domieszek redukujących zawartych w stopie rozróżnia się następujące rodzaje niklu katodowego:

1) czynny zawierający od 0,2 do 0,4% składników redukujących,

2) normalny zawierający 0,06 do 0,2% tych składników,

3) bierny zawierający ich poniżej 0,06%.

Dane techniczne niklu katodowego wg B. Paszkowskiego [1]) podaje tabl. II.

Do niklu stosuje się szeroko przeróbkę plastyczną zwłaszcza w zakresie przygotowania półfabrykatów — blach, taśm i drutów oraz wykrawania i tłoczenia gotowych części lamp.

Metody badań. Badania niklu do celów próżniowych przeprowadza się w zakresie składu chemicznego, własności wytrzymałościowych oraz elektrycznych. Spośród prowadzonych badań na podkreślenie zasługują badania, dotyczące wpływu składników stopowych niklu katodowego na formowanie warstwy emisyjnej katod tlenkowych.

[1]) Zeszyty Naukowe Politechn. Warsz., 1953, 3, str. 21—52.

Zagadnienie norm. W dziedzinie norm dla niklu stosowanego w lampach elektronowych istnieje bogata literatura zagraniczna, zwłaszcza w zakresie niklu katodowego. Przemysł krajowy korzysta obecnie z warunków technicznych, opartych na przepisach radzieckich i dostępnych publikacji zachodnich, polskie bowiem normy nie obejmują jeszcze niklu do celów próżniowych.

Krajowa produkcja niklu próżniowego. Nikiel dla potrzeb przemysłu lampowego produkujemy z surowców zagranicznych, w ilościach wystarczających. Pod względem ilościowym potrzeby przemysłu są więc w zasadzie zaspokojone, lecz jakość dostarczonego produktu budzi zastrzeżenia. Zastrzeżenia te dotyczą nie tylko składu chemicznego, lecz również i niejednolitości dostaw. Jedną z przyczyn tego stanu rzeczy jest brak stałej kontroli materiałowej u odbiorcy.

Wolfram

Zastosowanie oraz technologia wytwarzania. Spośród wielu jego zastosowań w przemyśle próżniowym jako najważniejsze należy wymienić katody bezpośrednio żarzone lamp elektronowych, grzejniki do katod pośrednio żarzonych, złącza próżnioszczelne w lampach nadawczych dużej mocy, wsporniki elektrod w tych lampach, antykatody w lampach rentgenowskich i inne. Ponadto wolfram stosuje się w technice próżniowej na elementy grzewcze, naczynia, osłony i inne konstrukcje laboratoryjne.

Istnieje kilka gatunków wolframu, różniących się między sobą składem chemicznym, stopniem czystości, postacią i w związku z tym odznaczających się odmiennymi własnościami użytkowymi.

Zapotrzebowanie krajowe wolframu w postaci drutów i prętów wynosi około 2 t rocznie. Zapotrzebowanie folii i blachy jest bardzo małe i nie stanowi w obecnej fazie podstawowego zagadnienia. Zapotrzebowanie drutów pokrywa się z importu a pewną ilość drutów grubych przeciąga się w kraju na mniejsze średnice.

Podstawowym zagadnieniem w procesach wytwarzania wolframu jest uzyskanie z rudy proszków wolframowych o ściśle określonym składzie chemicznym i o określonej wielkości ziarn.

Czysty proszek wolframu (lub z celowo wprowadzonymi w określonych ilościach domieszkami stopowymi) podlega prasowaniu w stalowych matrycach, a następnie spiekaniu.

Po spieczeniu wolfram ma dobre własności wytrzymałościowe, lecz nie ma dobrych własności plastycznych w temperaturze pokojowej. Ulegają one jednak poprawie ze wzrostem temperatury. Wykorzystuje się je do przeróbki plastycznej na druty lub blachy.

W czasie przekuwania i następującego po tym przeciągania kryształy wolframu ulegają wydłużeniu i struktura metalu zmienia się z polikrystalicznej na włóknistą.

Blachy wolframowe wytwarza się również metodą proszkową. Uzyskane na tej drodze płaskowniki podlegają przekuciu i walcowaniu na gorąco do grubości 0,1 mm. Dalsze walcowanie wykonywa się na zimno.

W miarę zgniotu wolframu zmieniają się jego własności. Na specjalną uwagę zasługuje pojawienie się własności plastycznych wyrażających się w zdolności do odkształceń trwałych w temperaturze pokojowej w drutach o znacznym stopniu zgniotu. Właściwość ta wykorzystywana bywa przy przeciąganiu na zimno cienkich drutów wolframowych. Druty wyża-

Tablica II. Dane techniczne niklu katodowego

Metal domieszek	Temperatura topnienia (°C)	Ciśnienie par metalu (w Tr) w temperaturze			Skład warstwy pośredniej	Najwyższa zawartość domieszek w niklu		
		topnienia	pracy katody	formowania katody		czynnym (%)	normalnym (%)	biernym (%)
Al	660	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	$BaAl_2O_4$	0,005	0,005	0,005
Co	1478	$8 \cdot 10^{-4}$	b. małe	$5 \cdot 10^{-5}$	—	0,7	0,7	0,7
Cu	1083	$3 \cdot 10^{-4}$	b. małe	10^{-5}	—	0,20	0,20	0,05
Fe	1535	$4 \cdot 10^{-2}$	b. małe	10^{-5}	—	0,20	0,20	0,05
Mg	651	2,2	50	$3 \cdot 10^{+2}$	MgO	0,15	0,10	0,02
Mn	1244	0,9	10^{-4}	10^{-2}	—	0,20	0,20	0,05
Si	1410	$3 \cdot 10^{-2}$	10^{-6}	10^{-5}	Ba_2SiO_4	0,25	0,05	0,02
Ti	1727	$8 \cdot 10^{-2}$	b. małe	10^{-5}	Ba_2TiO_4	—	—	0,01

Oprócz domieszek wymienionych w tablicy, nikiel katodowy zawiera węgiel w ilości 0,05 — 0,008%, siarkę w ilości 0,005 — 0,008% oraz ślady boru, chromu, cynku, ołowiu i wapnia.

rzone mają szeroki zakres temperatury przeróbki plastycznej, który w miarę postępującego zgniotu maleje.

Wolfram zastosowany w lampach żarowych i elektronowych oraz w urządzeniach elektronowych narażony jest na działanie wysokich temperatur, pod których wpływem następuje rozrost ziarn.

Krótkotrwała praca elementów wolframowych w temperaturze powyżej 2000°C powoduje zmianę struktury włóknistej na polikrystaliczną. Dalsze utrzymywanie tak wysokiej temperatury prowadzi do powstania w cienkich drutach wolframowych struktury monokrystalicznej. W przypadku nagrzewania drutów przepływającym przez nie prądem zmiennym obserwuje się ponadto przesunięcia kryształów w kierunkach prostopadłych do osi, co prowadzi do uszkodzenia drutu przy wstrząsach mechanicznych. Zjawisko to można zmniejszyć przez wytworzenie podczas przeróbki plastycznej tekstury utrudniającej takie przesunięcia.

Rozrostowi ziarn zapobiega się przez dodatek tlenków, np. CaO, SiO_2, Al_2O_3, a specjalnie ThO_2. Tlenki te po obróbce cieplnej i przeróbce plastycznej wolframu układają się prawdopodobnie na granicy ziarn i w sposób mechaniczny utrudniają rozrost kryształu. Większa zawartość ThO_2 wpływa ponadto dodatnio na własności emisyjne wolframu. Skutkiem tego wolfram o zawartości do 2% ThO_2 nadaje się specjalnie na katody lamp elektronowych.

Innym sposobem przeciwdziałania skutkom rozrostu ziarna jest metoda polegająca na wytwarzaniu w drucie wolframowym dużych zazębiających się kryształów, mających dobrą międzykrystaliczną wytrzymałość na rozciąganie. Taką strukturę uzyskuje się przez dodatek np. lotnych, alkalicznych krzemianów lub wygrzewanie drutów w wodorze w temperaturze 2000÷2200°C przy powolnym przesuwaniu go przez wnętrze skrętki grzewczej.

Tablica III. Własności chemiczne wolframu

Ośrodek	Warunki działania	Wynik działania
Powietrze lub tlen	w temperaturze pokojowej	odporny
j. w.	w 400 — 500°C	początki utleniania
j. w.	powyżej 500°C	szybkie utlenianie
Para wodna	powyżej 500°C	szybkie utlenianie
HCl lub H_2SO_4	stężony lub rozcieńczony zimny	odporny
j. w.	stężony lub rozcieńczony gorący	słabe rozpuszczanie
HF	stężony lub rozcieńczony zimny lub gorący	odporny
$HF + HNO_3$	50% i 50% objętościowo	szybkie rozpuszczanie
NaOH lub KOH	zimny	odporny
KOH lub Na_2CO_3	stopiony przy dostępie powietrza	słabe utlenianie
KOH lub Na_2CO_3 + + KNO_3 lub KNO_2 lub $KClO_3$	stopione	szybkie rozpuszczanie
NaOH	20% — wrzący w ciągu 15 minut	proces oczyszczający
$NaNO_2 + NaNO_3$	stopiony w 340°C	szybkie trawienie
5 cz. HNO_3 + 3 cz. H_2SO_4 + 2 cz. H_2O (objętościowo)	—	proces oczyszczający; następnie przemyć w kwasie chromowym i przepłukać w wodzie destylowanej
Al_2O_3, ZrO, MgO	powyżej 2000°C powyżej 1000°C	redukuje tlenki j. w.
$NaNO_2$	jako anoda w stopionym	szybkie trawienie
1000 g H_2O + + 250 g KOH + + 25 g $CuSO_4$	jak anoda w roztworze	równomierne trawienie
3% H_2O_2	we wrzącym roztworze	słabe trawienie
305 g $K_2Fe(CN)_6$ + + 44,5 g NaOH + + 1000 cm^3 H_2O	w roztworze	szybkie trawienie

W ł a ś c i w o ś c i w o l f r a m u. Ze względu na zastosowanie wolframu ważne są nie tylko ogólnie znane jego właściwości fizyczne, ale i właściwości chemiczne i to zarówno w temperaturze pokojowej, jak i w wysokiej temperaturze pracy. Podano je w tabl. III.

Wolfram stosowany w technologii próżniowej podlega wielu różnym procesom technologicznym. Jeżeli się go używa na złącza szkła z metalem, to podlega procesom łączenia w podwyższonych temperaturach ze szkłem o odpowiednim współczynniku rozszerzalności. W przypadku stosowania go na grzejniki do katod pośrednio żarzonych, podlega zwijaniu w skrętki, a następnie powlekaniu izolacyjną pastą ceramiczną. Podobnie zwija się wolfram na włókna żarowe lamp oświetleniowych. Ponadto podlega on zgrzewaniu punktowemu z innymi metalami, jak np. z niklem lub molibdenem.

M e t o d y b a d a n i a. Różnorodne wymagania stawiane wolframowi stwarzają konieczność badania wielu jego właściwości. Badaniom podlegają jego właściwości wytrzymałościowe i plastyczne w temperaturze pokojowej oraz w temperaturze podwyższonej. Badania te prowadzi się metodami klasycznymi stosowanymi również do innych metali. Zwłaszcza badania plastyczności mają poważne znaczenie dla przeciągania drutu wolframowego oraz dla automatycznego zwijania skrętek.

Dalsze badania dotyczą struktury metalu oraz wpływu stopowych składników i temperatury na tę strukturę. Badania w tym zakresie mają na celu ujawnienie ujemnego wpływu tych czynników na trwałość elementów wolframowych pracujących w wysokiej temperaturze. Badania te prowadzi się metodami optycznymi oraz radiograficznymi. Właściwości elektryczne oraz emisyjne wolframu bada się w przypadku stosowania go na katody bezpośrednio żarzone. Natomiast w wolframie przeznaczonym na grzejniki bada się zmianę oporności w funkcji temperatury.

Poza wymienionymi prowadzi się badania składu chemicznego i kontrolę wymiarów.

Zagadnienie norm. Wolfram stosowany w technice próżniowej podlega zarówno pod względem składu chemicznego, jak i wymiarów warunkom technicznym zakładów produkcyjnych. Istnieje szereg rodzajów wolframu różniących się składem chemicznym dodatków stopowych oraz technologią produkcji. Daje to w wyniku odmienne właściwości fizyczne wytwarzanego produktu. W tych warunkach trudno mówić o opracowaniu jednolitych norm, a dane zawarte w przepisach nie zabezpieczają powtarzalnych właściwości wolframu. Decyduje tutaj proces technologiczny, który musi być kontrolowany na każdym etapie produkcji.

Molibden

Zastosowanie oraz technologia wytwarzania. Specjalne właściwości molibdenu decydują o różnorodnym zastosowaniu go w technice. Jednym z głównych jego zastosowań jest technologia wysokiej próżni. W tej dziedzinie molibden bywa używany w postaci drutów, prętów lub blach, z których wykonuje się elementy konstrukcyjne lamp i przyrządów elektronowych. Jedną z jego ważniejszych właściwości wykorzystanych w tej dziedzinie jest łatwość łączenia się ze szkłem boro-krzemowym o odpowiednim współczynniku rozszerzalności. Właściwość ta pozwala na wykonywanie złącz próżnioszczelnych metalu ze szkłem.

Zapotrzebowanie krajowe molibdenu do celów próżniowych wynosi około 1,5 t rocznie.

Najwięcej używanymi surowcami wyjściowymi do produkcji molibdenu są molibdenit (MoS_2) i wulfenit ($PbMoO_2$). Dla otrzymania z tych surowców proszku molibdenowego stosuje się różne metody chemiczne lub fizyczne.

Proszek molibdenu jest następnie prasowany, spiekany, a następnie poddawany przeróbce plastycznej.

Z molibdenu oprócz drutów wytwarza się również blachy, których grubość wynosi od 2 do 0,015 mm, a w specjalnych przypadkach nawet cieńsze. Blachy grube walcowane są w podwyższonej temperaturze pojedynczo, a blachy cienkie w temperaturze pomieszczenia w pakietach po kilka arkuszy.

Fizyczne właściwości molibdenu są ogólnie znane; właściwości chemiczne są podane w tabl. IV.

Metody badań molibdenu i zagadnienie norm dla molibdenu są niemal identyczne z podanymi wyżej dla wolframu.

Stan technologii wolframu i molibdenu w kraju. Produkcja krajowego wolframu z surowców importowanych jest objęta uchwałą rządową. Na podstawie tej uchwały powstaną w kraju dwa ośrodki produkcyjne. Jeden z nich będzie zajmować się wytwarzaniem kwasu wolframowego, drugi doczyszczaniem i redukcją tego kwasu oraz spiekaniem i przeróbką plastyczną wolframu.

Budowa ośrodków natrafia na poważne trudności wynikające głównie z braku doświadczenia u nas w produkcji wolframu i molibdenu. Wprawdzie projektowane obiekty powstają na podstawie dokumentacji zagranicznej, lecz konieczne jest jeszcze wyszkolenie kierowniczego personelu technicznego oraz budowa urządzeń, których w kraju jeszcze brak. Stan zaawansowania oraz tempo budowy tej inwestycji nie są, niestety, zadowalające.

Tantal

Tantal stosuje się głównie w technice lamp elektronowych oraz do celów laboratoryjnych w pracowniach chemicznych: z tantalu wykonuje się anody, siatki, oraz sprężynki napinające katody w lampach dużej mocy, a ponadto przy analizie chemicznej tantal zastępuje w temperaturze pomieszczenia platynę.

Do wyrobu tantalu stosuje się rudy zawierające Ta_2O_5 i Nb_2O_5 — tak zwane tantality i niobity. Z rud tych na drodze chemicznej lub elektrochemicznej uzyskuje się proszek tantalu, który w celu dalszego oczyszczenia wygrzewa się w próżni, a następnie poddaje prasowaniu i spiekaniu oporowemu w próżni.

Tantal wyrabia się metodą spiekania lub metodą stapiania sprasowanego proszku tantalu w próżni w łuku elektrycznym. Uzyskany tą metodą produkt odznacza się dobrymi własnościami plastycznymi.

W przeciwieństwie do wolframu i molibdenu tantal nie może być podgrzewany w gazach, gdyż wykazuje skłonność do wiązania się z nimi. Właściwość ta wykorzystana jest w niektórych lampach elektronowych w celu pochłonięcia gazów, które mogą się wydzielić z elementów lampy w czasie jej pracy.

Tablica IV. Własności chemiczne molibdenu

Ośrodek	Warunki działania	Wynik działania
Powietrze i tlen	przy temp. otoczenia	odporny
	przy temp. 400°C	powolne utlenianie
	„ „ 600°C	szybkie „
Para wodna	„ „ 600°C	„ „
Kwas solny lub siarkowy	rozcieńczony lub stężony zimny	odporny
Kwas solny lub siarkowy	j. w. ciepły	powolne rozpuszczanie
Kwas azotowy lub woda królewska	rozcieńczony lub stężony zimny	powolne rozpuszczanie
Kwas azotowy lub woda królewska	j. w. ciepły	gwałtowne rozpuszczanie
Kwas fluorowodorowy	zimny lub ciepły	odporny
Kwas fluorowodorowy + kwas azotowy		szybkie rozpuszczanie
Ług potasowy lub sodowy	zimny	odporny
Ług potasowy lub węglan sodu przy dostępie powietrza lub KNO_3,		szybkie rozpuszczanie z wystąpieniem płomienia
$KClO_3$, PbO_2 i in.	stopione	
Węgiel stały	przy temp. 1100°C	częściowe tworzenie węglików
„ „	przy temperaturze 1300 — 1500°C	całkowite tworzenie węglików
CO	do 1400°C	odporny
CO_2	powyżej 1200°C	utlenianie
H_2	do temperatury topnienia	obojętny
N_2	powyżej 1500°C	tworzenie azotków

Tantal o dużym stopniu czystości odznacza się znaczną podatnością do przeróbki plastycznej, która nie powoduje znacznej zmiany własności mechanicznych tego metalu. Na własności te mają wpływ zanieczyszczenia tlenem, wodorem, azotem, krzemem i żelazem.

W pewnych przypadkach w celu powiększenia twardości tantalu wyżarza się go w azocie w temp. 600 — 900°C, dzięki czemu w warstwie powierzchniowej metalu tworzą się twarde związki (azotki).

Dane chemiczne tantalu są podane w tabl. V.

3. Stopy konstrukcyjne.

Stopy Fe-Ni-Co znane pod nazwami firmowymi „kovar", „fernico", „sivar" znalazły szerokie zastosowanie w technice próżniowej głównie jako materiał na połączenia ze szkłem. Stosowane w elektronice stopy mają współczynniki rozszerzalności zbliżone do współczynników wolframu lub molibdenu. Z tego powodu stopy Fe-Ni-Co można w wielu przypadkach stosować zamiast tych metali, a często nawet wówczas, gdy nie można użyć wolframu lub molibdenu ze względu na ich małą plastyczność. Dzięki znacznej plastyczności stopy Fe-Ni-Co stosuje się zwłaszcza na złącza ze szkłem o skomplikowanych kształtach lub złącza o dużych rozmiarach.

Podstawową właściwością metali przeznaczonych na połączenia ze szkłem jest rozszerzalność cieplna zbliżona do rozszerzalności odpowiednich szkieł. W stopach Fe-Ni współczynnik rozszerzalności można zmieniać w szerokim zakresie przez zmianę składu chemicznego. Na tej drodze można uzyskać stopy o stosunkowo małym współczynniku rozszerzalności zbliżonym do współczynnika rozszerzalności szkieł borokrzemowych stosowanych w lampach elektronowych większych mocy. Stopy Fe-Ni — mimo zgodności współczynników w niższym zakresie temperatur — nie mogą być stosowane na złącza ze szkłem o współczynniku niższym od 90.10^{-7}/°C. Powodem tego jest przemiana magnetyczna, którą stopy te przechodzą w zakresie temperatur od 300 do 350°C (punkt Curie) (rys. 6). Przemiana ta powoduje również zmianę współczynnika rozszerzalności. Ponieważ w temperaturze około 350° szkło borokrzemowe jeszcze nie mięknie, przeto zmiana współczynnika rozszerzalności metalu może doprowadzić do pęknięcia złącza. Punkt Curie może ulec przesunięciu do zakresu wyższych temperatur przez zastąpienie w stopie pewnej części

Tablica V. Własności chemiczne tantalu

Ośrodek	Warunki działania	Wynik działania
1. Gazy i pary:		
powietrze i tlen	temperatura otoczenia	praktycznie odporny
	temp. 400°C	nalot niebieski
	temperatura powyżej 600°C	powstawanie białego nalotu Ta_2O_5
tlenek węgla	powyżej 600°C	absorbuje
azot	w zakresie temp. 600°C	powstawanie azotków
wodór	przy podwyższonych temperaturach	silnie pochłania
	powyżej 1400°C w próżni	wydzielanie gazów
para wodna	przy temp. 600°C	utlenianie
2. Kwasy:		
kwas solny	zimny o różnych stężeniach	praktycznie odporny
kwas siarkowy	zimny i gorący	rozpuszcza
kwas azotowy		
woda królewska		
kwas fluorowodorowy		
3. Zasady:		
wodorotlenek potasowy lub	zimny	słabe rozpuszczanie
sodowy	gorący	silne rozpuszczanie

niklu kobaltem. Jednak znaczny dodatek kobaltu powoduje przesunięcie przemiany strukturalnej γ w α (Ar_3) do temperatur wyższych od temperatury pomieszczenia (rys. 7). Przemiana ta ma znaczny wpływ na wartość współczynnika rozszerzalności. Dlatego też ilość kobaltu należy tak dobrać, by przemiana Ar_3 zachodziła w temperaturze poniżej 0°C (rys. 8).

Zapotrzebowanie krajowe stopów Fe-Ni-Co jest jeszcze stosunkowo małe i nie przekracza kilkuset kilogramów rocznie. Mimo małego zapotrzebowania przemysł hutniczy nie zaspokaja istniejących potrzeb, które z konieczności pokrywane są z importu. Obecny stan zapotrzebowania stopów Fe-Ni-Co nie odzwierciedla istotnych możliwości stosowania tych stopów w technice próżniowej. Szacunkowo można określić zapotrzebowanie stopów Fe-Ni-Co na 1 tonę rocznie pod warunkiem uruchomienia w kraju produkcji odpowiednich szkieł w dostatecznej ilości.

Stopy Fe-Ni-Co uzyskuje się obecnie na drodze wytopów próżniowych pod ciśnieniem nie przekraczającym 10^{-2} Tr. Po przetopieniu wsadu przeprowadza się następnie redukcję zawartych w stopie tlenków przy pomocy wodoru pod ciśnieniem około 40 Tr. Po ukończeniu redukcji dodaje się w celu poprawy własności stopu nieco Ti lub Zr, a znajdujący się w komorze wodór odpompowuje się przy pomocy pomp próżniowych.

Przed wlaniem stopu do wlewnicy zaleca się kilkakrotnie obniżać, a następnie podwyższać temperaturę kąpieli. Ma to na celu zmniejszenie zawartości gazów, które mogłyby jeszcze pozostawać w stopie. W momencie odlewania ciśnienie w komorze powinno być niższe od 10^{-2} Tr.

Często produkuje się materiały tego typu na drodze metalurgii proszków. Proces spiekania wytworzonych uprzednio prasówek odbywa się w atmosferze wodoru.

Czasem wytapia się stopy Fe-Ni-Co w piecach zwykłych. Wówczas w celu odsiarczenia kąpieli dodaje się w ilościach maksymalnych 0,5% Mn i 0,2 Si.

Dane techniczne stopów Fe-Ni-Co stosowanych w technice próżniowej podaje tabl. VI.

Stopy Fe-Ni-Co stosowane na połączenia ze szkłem podlegają przed wykonaniem złącza zwykłym zabiegom mającym na celu oczyszczanie powierzchni: myciu metalu w trójchloroetylenie, trawieniu elektrolitycznemu lub trawieniu w podwyższonych temperaturach. Specjalne znaczenie ma wyżarzanie w wodorze w temperaturze od 800 do 1100°C, powodujące oczyszczenie warstwy powierzchniowej i jej odwęglenie.

W przypadku stosowania przeróbki plastycznej może powstać w tych stopach struktura α, którą można zamienić na γ na drodze wyżarzania w temperaturach wyższych od Ac_3. Dalsze operacje polegają na wykonaniu złącza ze szkłem.

W stopach Fe-Ni-Co określa się głównie współczynnik rozszerzalności przy pomocy dilatometru, najczęściej metodą różnicową. Ponadto dla ustalenia struktury i tekstury stosuje się badania radiograficzne.

Stopy Fe-Ni-Co nie podlegają jeszcze u nas normowaniu. Zagadnienie to może powstać dopiero po uruchomieniu produkcji na większą skalę i uzyskaniu doświadczenia w tej dziedzinie. Istniejące dotychczas przepisy fabrykacyjne opierają się na doświadczeniu zagranicznym i dla naszych potrzeb mogą mieć znaczenie głównie informacyjne. Sprawa opracowania norm wiąże się z zagadnieniem uruchomienia w kraju produkcji odpowiednich szkieł, które dawałyby dobre złącza ze stopami Fe-Ni-Co.

S t o p y Fe-Cr. Stopy te mają szerokie zastosowanie w technice próżniowej tam, gdzie istnieje konieczność połączenia metalu ze szkłem o współczynniku rozszerzalności większym od 80, 10^{-7} °C. W technice próżniowej stopy Fe-Cr stosuje się zwykle w postaci drutów lub blach. Druty służą najczęściej do wytwarzania wieloprzepustowych stopek do lamp małej mocy, a z blach tłoczy się miseczki, wykonuje pierścienie lub bardziej skomplikowane części lamp służące do połączenia ich ze szkłem, jak np. korpusy do lamp kineskopowych.

Krajowe zapotrzebowanie stopów Fe-Cr wynosi rocznie około 10 t. W zapotrzebowaniu tym znaczną większość stanowią pręty stosowane na przepusty do podstawek lampowych. Zapotrzebowanie blach z Fe-Cr jest obecnie stosunkowo małe i nie przekracza kilkuset kilogramów rocznie. Należy jednak przypuszczać, że w najbliższej przyszłości wzrośnie.

Rys. 6. Krzywe rozszerzalności stopów Fe-Ni

Rys. 7. Krzywe rozszerzalności stopu Fe-Ni-Co (52/24/24)

Rys. 8. Krzywe rozszerzalności stopu Fe-Ni-Co (54/28/18)

Stopy Fe-Cr stosowane są w technice próżniowej głównie ze względu na odpowiedni dla znacznej grupy szkieł współczynnik rozszerzalności cieplnej, wynoszący od 85.10^{-7}/°C do około 110.10^{-7}/°C (rys. 9). Stopy te wykonuje się w oporowych piecach elektrycznych lub w piecach indukcyjnych. Przetopiony metal zlewa się do wlewnic, a następnie po oczyszczeniu powierzchni wlewka walcuje lub kuje i przeciąga. Zawartość chromu w tych stopach wynosi od 23 do 28%. Przy tej zawartości chromu uzyskuje się strukturę α

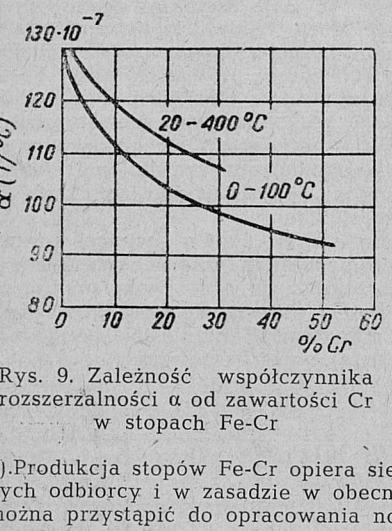
Tablica VI. Dane techniczne stopów Fe-Ni-Co

Nazwa stopu	Skład chemiczny				Średni współczynnik rozszerzalności ($\times 10^{-7}$)	Temperatura przemiany magnetycznej
	Fe	Ni	Co	Inne		
Kovar A	52,9 do 53,4	28,7 do 29,2	17,3 do 17,8	Mn max 0,5 Si max 0,2 C max 0,06	30 do 300°C 44 do 52	435
Kovar 10 Kovar 12 Kovar 20	reszta „ „	27 29 26	19 18 23	Mn 0,4 „ „ „ „	51 54 65	430 455 485
Fernico I Fernico II	54 54	28 31	18 15	Mn 0,2	51 54	430 420
Sivar 48		28,2 30	17,5	C 0,03 Mn 0,5 Si 0,15		

(ferrytyczną). Pewna ilość chromu w stopie może być zastąpiona molibdenem, tantalem, niobem lub krzemem.

Zanieczyszczenie stopu węglem, niklem lub azotem powoduje powstawanie w temperaturze około 800°C struktury γ (austenitycznej); przemianie tej towarzyszy również zmiana współczynnika rozszerzalności.

Znaczna zawartość chromu w stopie czyni go twardym i mało plastycznym. Z tego powodu należy w czasie przeróbki plastycznej stopy Fe-Cr często poddawać wyżarzaniu rekrystalizującemu. Tworzące się w czasie wyżarzania na powierzchni stopu tlenki przy dalszej przeróbce plastycznej — zwłaszcza przy przeciąganiu — mogą powodować zarysowanie metalu albo nawet pęknięcie. Z tego też powodu należy po wyżarzaniu usuwać starannie wszelkie tlenki, które mogły powstać w wyższych temperaturach.



Rys. 9. Zależność współczynnika rozszerzalności α od zawartości Cr w stopach Fe-Cr

Utlenioną powierzchnię oczyszcza się metodami mechanicznymi, chemicznymi, a czasem elektrolitycznymi. Gotowe pręty podlegają zwykle szlifowaniu na szlifierkach bezkłowych.

Stopy z Fe-Cr wykonane w postaci prętów lub blach podlegają normalnym próbom odbiorczym mechanicznym, metalograficznym i fizycznym (pomiar współczynnika α). Produkcja stopów Fe-Cr opiera się na warunkach technicznych odbiorcy i w zasadzie w obecnym stanie doświadczenia można przystąpić do opracowania normy.

Produkcja stopów Fe-Cr przez nasz przemysł hutniczy stoi na zadowalającym poziomie.

4. Wyroby warstwowe.

Blachy warstwowe. Wyroby warstwowe znajdują coraz szersze zastosowanie w technice próżniowej. Wytwarzane są z dwóch lub kilku metali lub stopów przeważnie na drodze platerowania lub elektrolizy. Największe zastosowanie mają blachy żelazne platerowane obustronnie aluminium (blachy P2 „alfer") lub blachy żelazne platerowane z jednej strony niklem, z drugiej strony aluminium (blachy PN „alnifer"). Tego rodzaju blachy stosuje się na anody lamp zamiast czernionego niklu.

Zapotrzebowanie krajowe blach żelaznych platerowanych aluminium obustronnie wynosi rocznie około 1 t, a blach platerowanych z jednej strony niklem, a z drugiej aluminium około 10 t. Obecne zużycie jest znacznie mniejsze od zapotrzebowania, ponieważ w kraju nie uruchomiono jeszcze produkcji takich blach.

Żelazo stosowane na blachy platerowane powinno zawierać C — max. 0,08%, Mn — 0,1 do 0,6%, S — 0,035%, P — 0,035%, Si — 0,01 do 0,03%. Aluminium powinno być przede wszystkim wolne od Zn.

Taśmy żelazne podlegają oddzielnie walcowaniu do grubości 1,8 mm, a taśmy aluminiowe do grubości 0,2 mm. Taśmy żelazne i aluminiowe wyżarza się w celu usunięcia skutków zgniotu, a następnie oczyszcza ich powierzchnię mechanicznie (szczotkami z drutu stalowego). Po tym zabiegu podgrzewa się blachy do 180 — 200°C i walcuje w pakietach po trzy taśmy, przy tym środkowa taśma jest żelazna, a zewnętrzne aluminiowe.

Ponieważ zgniot powoduje utwardzenie materiału, należy stosować międzyoperacyjne wyżarzanie w temp. 535°C ± 5° w ciągu 4 do 6 godz. Gotowe taśmy platerowane mają grubość 0,15 mm.

Podobnie postępuje się przy platerowaniu żelaza niklem i aluminium.

Elektrody wykonane z blach platerowanych aluminium podlegają wygrzewaniu w lampie podczas jej pompowania. Ogrzewanie do temperatury powyżej 680°C powoduje powstawanie związku $FeAl_3$, wskutek czego powierzchnia metalu ciemnieje i powiększa się zdolność promieniowania cieplnego elektrod.

Wyroby warstwowe podlegają badaniu na równomierność rozłożenia warstw platerowanych; również bada się ich przyleganie do warstwy podstawowej. Określa się ponadto właściwości plastyczne taśm i ich tłoczliwość.

Druty warstwowe. Drugim rodzajem wyrobów warstwowych, stosowanych szeroko w technice próżniowej, są druty warstwowe, zwane również płaszczowymi, wykonane ze stopu Fe-Ni (58/42), pokryte zewnątrz miedzią i boraksem (drut „fink" lub „dumet"). Stosuje się je na złącza ze szkłem w lampach elektronowych małej mocy i żarówkach.

Zapotrzebowanie drutów miedziopłaszczowych wynosi około 2 t rocznie i dotychczas pokrywa się je głównie z importu.

Druty płaszczowe najczęściej wykonuje się przez przeciąganie przygotowanych prętów. Środek pręta stanowi drut ze stopu Fe-Ni (58/42), na którym znajduje się rurka z mosiądzu o zawartości 40% cynku. Całość wtłoczona jest do rury miedzianej. Zespół ten podlega wyżarzaniu w temperaturze zapewniającej stopienie mosiądzu, który ma za zadanie trwałe połączenie rdzenia z płaszczem.

Dalsze zabiegi polegają na przeciąganiu pręta aż do uzyskania drutu o właściwych rozmiarach. Ponieważ przeciąganie wykonywa się na zimno, należy co kilka operacji stosować wyżarzanie. Gotowy drut podlega następnie boraksowaniu w podwyższonej temperaturze w specjalnych urządzeniach mechanicznych. Drut uzyskany opisaną metodą powinien odznaczać się szczelnością na próżnię i łatwością tworzenia złącz z odpowiednimi szkłami.

Technologia zarówno blach platerowanych aluminium, jak i drutów miedziopłaszczowych była opracowywana w Instytucie Metalurgii w Gliwicach. Jednak dotychczasowe wyniki nie są zadowalające i praca powinna być prowadzona dla uzyskania poprawy tłoczności blach platerowanych i równomierności rozłożenia plateru.

W ZWLE uruchomiono produkcję próbną drutów miedziopłaszczowych, pokrywającą zapotrzebowanie w 50 %.

5. Wnioski.

Przegląd najważniejszych metali i stopów stosowanych w technice próżniowej oraz omówienie trudności w krajowej produkcji tych metali nasuwa szereg wniosków dotyczących prowadzenia prac badawczych oraz uruchomienia produkcji pewnych metali i stopów przy wykorzystaniu surowców krajowych.

Prowadzenie prac badawczych w kierunku uzyskania materiałów o dobrych właściwościach próżniowych ma ze względów gospodarczych znaczenie podstawowe. Wprowadzenie wyników doświadczeń naukowych do przemysłu natrafia jednak na poważne trudności, wskutek czego nie nastąpiło jeszcze uruchomienie produkcji opracowanych laboratoryjnie stopów Fe-Ni-Co, taśm żelaznych platerowanych i innych. Jednym

z ważnych powodów powolnego rozwoju produkcji metali próżniowych jest słaba współpraca między placówkami naukowymi a przemysłem. Przemysł stroni od takiej współpracy, gdyż nie dopatruje się w niej bezpośredniej korzyści dla siebie w postaci radykalnego usunięcia trudności produkcyjnych. Stwarza to niekorzystną sytuację dla przemysłu lampowego, gdyż zagadnienia wytwarzania metali i stopów próżniowych nie są popularne wśród metalurgów i metaloznawców i wobec tego zwykle spychane na dalszy plan jako ilościowo małe.

Małe zainteresowanie produkcją metali próżniowych powoduje również trudności na odcinku kadr naukowych i technicznych. Dotychczasowa polityka szkolenia wysokokwalifikowanych pracowników dla przemysłu obznajmionych z produkcją metali próżniowych nie zapewnia dostatecznej ich liczby dla nowych zakładów produkcyjnych, których budowa jest już zaawansowana. Typowym tego przykładem jest sytuacja w organizowanej fabryce wolframu i molibdenu, gdzie liczba specjalistów przeszkolonych na praktykach zagranicznych jest zbyt mała, by sprawnie przeprowadzić uruchomienie tej nowej dla naszego przemysłu produkcji.

W związku z tym stanem rzeczy powstaje konieczność przedyskutowania tez, których realizacja pozwoli na właściwe postawienie zagadnienia metali próżniowych oraz ułatwi usunięcie istniejących obecnie trudności w dziedzinie wytwarzania i stosowania metali próżniowych.

Tezy ogólne

1. Należy powołać komisję złożoną z przedstawicieli właściwych instytutów podległych IV Wydz. PAN, instytutów resortowych oraz przemysłu, której zadaniem będzie ustalenie potrzeb materiałowych przemysłu lampowego oraz sposobu ich zaspokojenia. W związku z tym do obowiązków komisji będzie należeć opracowanie planu prac badawczych oraz czuwanie nad ich realizacją i wprowadzeniem wyników tych prac do przemysłu. Komisja ta ponadto powinna opracowywać wytyczne dla szkolenia kadr naukowych i kontrolować przebieg szkolenia.

2. Należy włączyć do wspólnego planu prac naukowo-badawczych instytuty resortowe oraz odpowiednie katedry wyższych uczelni.

Tezy dla instytutów badawczych

3. Prace badawcze powinny obejmować opracowanie metod rafinowania metali oraz wytwarzania stopów o określonych właściwościach przy zastosowaniu odpowiedniej obróbki cieplnej i przeróbki plastycznej. W szczególności należy:

a) opracować technologię produkcji miedzi próżniowej;
b) opracować metodę badań odbiorczych miedzi próżniowej;
c) opracować warunki techniczne dla miedzi próżniowej;
d) zbadać wpływ składników stopowych na własności niklu katodowego, a następnie opracować warunki techniczne dla produkcji tych stopów;
e) opracować w skali technicznej warunki dla produkcji wolframu i molibdenu w zakresie wytwarzania i spiekania proszków, a następnie w zakresie przeróbki plastycznej;
f) opracować metody regeneracji ciągadeł diamentowych stosowanych przy wyrobie drutów wolframowych i molibdenowych;
g) zbadać możliwości stosowania do wyrobu wolframu i molibdenu innych rodzajów przeróbki plastycznej, np. walcowania w zamkniętych profilach;
h) opracować technologię wytwarzania czystego tantalu w postaci blach i drutów;
i) zbadać krajowe źródła surowcowe metali, jak In, Ga, Zr i inne, oraz opracować metody ich uzyskiwania, albowiem prace badawcze powinny objąć zagadnienie uzyskiwania na drodze metalurgicznej metali rozproszonych, stosowanych w technologii próżniowej.

4. Należy zorganizować praktyki zagraniczne dla naukowego personelu instytutów i przemysłu.

Tezy dla biur konstrukcyjnych i zakładów produkcyjnych

5. Należy wprowadzić do produkcji opracowane laboratoryjnie stopy Fe-Ni-Co, wyroby warstwowe w postaci drutów płaszczowych i taśm platerowanych oraz powiększyć produkcję miedzi próżniowej.

6. Należy opracować plan wdrażania do przemysłu wyników prac badawczych.

7. Należy wprowadzić stałą kontrolę materiałową w fabrykach lampowych.

8. Należy zorganizować pracę nad normalizacją materiałów bieżąco produkowanych dla przemysłu lampowego.

LITERATURA

Espe W., Knoll M. Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik, Berlin, 1936
Groszkowski J. Technologia wysokiej próżni, Warszawa, 1953
Espe W. Ferritické chromželezo pro zatavu do skla ve vakuové technice, SNTL, Praha, 1953
Espe W., Steinberg E. B. Železny plech, platovany hlinikem, Tele-Tech., Febr., 1951
Kiffer R., Hotop W. Metalurgia proszków i materiały spiekane, PWT, Katowice, 1951
Balszin M. Poroszkowaja mietałłurgia, Maszgiz, Moskwa, 1949
Fast J. D., Lutcijn A. J., Overboch E. Preparation and casting of metals and alloys under high vacuum, Phil. Techn. Rev., vol. 15, nr 4, 1953
Kohl W. H. Material Technology for electron tubes, New York, 1951
Lepp H. Gaz et Métaux. Le Vide, 1949, nr 15
Espe W. Kovar, SNTL, Praha, 1953
Espe W. Měd pro vakuove technike, Slaboproudny Obzor, 1953
Paszkowski B. Zagadnienie trwałości lamp elektronowych o katodzie tlenkowej, Zesz. Nauk. Polit. Warsz., Elektryka, z. 2, 1953

EDMUND BRYJAK
CHRYZANT LEŚNIAK

Badania nad krzemowaniem molibdenu

KOMUNIKAT

546.281:546.77.001.2

Treść. Wstępne badania nad krzemowaniem prętów i taśm molibdenowych przy pomocy gazowego $SiCl_4$, krzemowanie proszku molibdenowego przy pomocy gazowego $SiCl_4$, molibdenu $MoSi_2$ z proszku molibdenu i krzemu różnymi metodami. Badanie parametrów reakcji, temperatury syntezy Mo-Si. Badanie otrzymanego krzemu molibdenu metalograficznie, dilatometrycznie i na zginanie.

1. Wstęp.

Obecny rozwój techniki, szczególnie budownictwa turbin gazowych, samolotów odrzutowych, rakiet i grzejnictwa elektrycznego, stwarza duże zapotrzebowanie materiałów mogących pracować w temperaturach powyżej 1000°C. Materiały te powinny w tych warunkach nie tylko być dostatecznie odporne na utlenianie (żaroodporność), ale także wykazywać należytą wytrzymałość mechaniczną, wysoką temperaturę topnienia, odporność na korozję i trwałość.

Z tabl. I, zawierającej przegląd materiałów oporowych dla grzejnictwa elektrycznego, widać, że temperatura 1400°C jest praktycznie najwyższą osiągalną temperaturą pieca bez stosowania atmosfery ochronnej dla materiałów oporowych. Przy temperaturze 1400°C można jeszcze stosować pręty sylitowe, względnie drut lub taśmę platynową. Przy wyższych temperaturach w piecu należy dla materiałów grzejnych, np. dla molibdenu i wolframu, stosować atmosferę ochronną, np. wodorową, albowiem w razie użycia wtedy materiałów węglowych grafitowych wytwarzałaby się w tych temperaturach silna atmosfera redukująca i zarazem nawęglająca, która może być dla wsadu szkodliwa. Natomiast praca w atmosferze ochronnej jest dość kłopotliwa i wymaga często specjalnych urządzeń. Jak widzimy, szczególnie dla temperatur bliskich temperatury topnienia żelaza, kobaltu, niklu i różnych stali, grzejnictwo nie rozporządza odpowiednim materiałem do uzyskania w piecu oporowym temperatur rzędu 1400 ÷ 1700°C. Tę lukę wypełni, jak wydaje się, nowy materiał, tzw. krzemowany molibden lub krzemek molibdenu, w którym elementem odpornym na utlenianie jest związek chemiczny $MoSi_2$, przewodzący prąd. Krzemek molibdenu stał się ostatnio „modnym" materiałem, którym zajmuje się wielu badaczy.

2. Cel pracy.

Celem badań nad krzemowaniem molibdenu było:

a) uzyskanie warstw krzemku molibdenu na drucie względnie prętach i taśmach molibdenowych;

b) otrzymanie sproszkowanego krzemku molibdenu przez krzemowanie proszku molibdenowego gazowym czterochlorkiem krzemu w atmosferze wodorowej;

c) uzyskanie krzemku molibdenu z proszku molibdenu i sproszkowanego krzemu;

d) uzyskanie z wymienionych w punktach b) i c) proszków krzemku molibdenu prętów pełnych, mogących mieć zastosowanie jako elementy grzejne.

Konkretnie celem pracy była reprodukcja i rozszerzenie znanych wyników z literatury oraz zbadanie nieznanych dotychczas własności krzemku molibdenu.

3. Materiały wyjściowe.

Jako materiały wyjściowe służyły pręty molibdenowe o średnicy 2 mm, taśmy molibdenowe o wymiarze 3 × 0,5 mm oraz drut o średnicy 1,2 mm w formie spirali o średnicy 10 mm. Do nakrzemowania tych materiałów stosowano ciekły czterochlorek krzemu, przez który przepuszczano osuszony wodór wolny od tlenu. Wodór porywał pary czterochlorku krzemu i przenosił je do rury ceramicznej znajdującej się w piecu sylitowym.

Do otrzymania sproszkowanego $MoSi_2$ użyto molibdenu w proszku o czystości 99,8% Mo. Jako drugi składnik stosowano krzem otrzymany przez rozdrobnienie brył topionego krzemu o zawartości 98,5% Si, 1,4% Fe i 0,02% C. Rozdrobniony w młynie kulowym krzem miał wielkość ziaren od 2 do 4 μ. Ziarna molibdenu nie przekraczały 3 μ.

4. Sposoby wykonania pomiarów.

Badania metalograficzne. Zgłady metalograficzne wykonywano w dwojaki sposób zależnie od tego czy badano pręt molibdenowy krzemowany powierzchniowo, czy też spiek z litego $MoSi_2$. Krzemowane powierzchniowo pręty inkrustowano w bakelicie, a zgłady wykonano normalnymi metodami stosowanymi dla zgładów stalowych. Zgłady z $MoSi_2$ zarówno spiekane w wodorze, jak i spiekane pod ciśnieniem, wykonano techniką zgładów stosowaną dla węglików spiekanych. Po przecięciu spiek docierano na tarczach żeliwnych przy pomocy węglika boru oraz polerowano na tarczy miedzianej, drewnianej i filcowej przy pomocy proszku diamentowego [4]. Wykonanie zgładu było dość trudne i to szczególnie przy prętach nakrzemowanych, gdyż warstwa nakrzemowana wykruszała się. W celu uwidocznienia warstwy nakrzemowanej przy prętach, która przy nie trawionych zgładach była mało widoczna, trawiono rdzeń molibdenowy odczynnikiem NaOH + + $K_3Fe(CN)_6$. Zgłady spieku z czystego $MoSi_2$ trawiły się bardzo trudno i dopiero zastosowanie odczynnika, składającego się z kwasu fluorowodorowego i kwasu azotowego, wywołało strukturę. Po trawieniu w tym odczynniku polerowano zgład dodatkowo elektrolitycznie w kwasie octowym. Powierzchnia ziaren, która po trawieniu w HF + HNO_3 była ciemna, stała się po wypolerowaniu w kwasie octowym jasna.

Badanie wytrzymałości na zginanie. Próby wytrzymałości na zginanie wykonano na próbkach walcowych o średnicy 10 mm, długości 25 mm, przy czym próbka spoczywała na wałkach z węglików spiekanych i była podparta na długości 15,8 mm. Część pomiarów wykonano na prętach 10 mm × 10 mm × 25 mm [5].

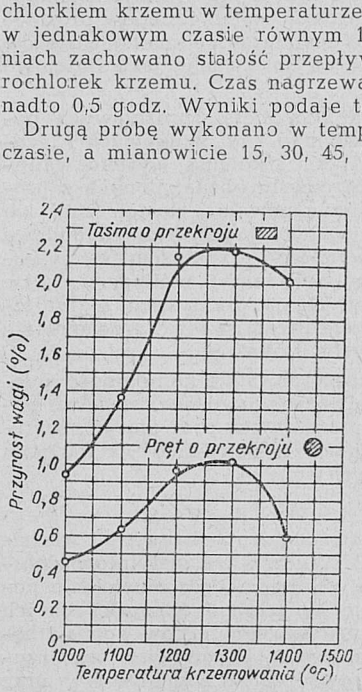
Badania dilatometryczne wykonano dilatometrem firmy E. Leitz [6] na próbkach o długości 50 mm. Zdjęto wykres nagrzewania i studzenia. Każdy pomiar powtórzono kilkakrotnie.

Wyżarzanie spirali nakrzemowanej i pręta z $MoSi_2$ w atmosferze powietrza wykonano zespołem transformatorowym o bezstopniowej regulacji napięcia od 0 do 12 V. Temperaturę mierzono pirometrem optycznym z żarzącym się włóknem wolframowym.

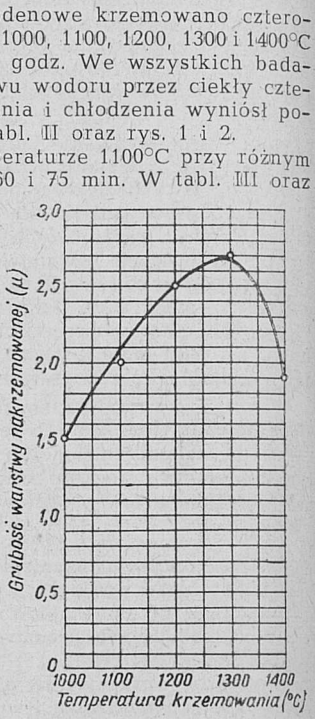
5. Metodyka pracy i wyniki wykonanych badań.

a) Pręty, taśmy i spirale molibdenowe krzemowano czterochlorkiem krzemu w temperaturze 1000, 1100, 1200, 1300 i 1400°C w jednakowym czasie równym 1 godz. We wszystkich badaniach zachowano stałość przepływu wodoru przez ciekły czterochlorek krzemu. Czas nagrzewania i chłodzenia wyniósł ponadto 0,5 godz. Wyniki podaje tabl. II oraz rys. 1 i 2.

Drugą próbę wykonano w temperaturze 1100°C przy różnym czasie, a mianowicie 15, 30, 45, 60 i 75 min. W tabl. III oraz na rys. 3, 4 i 5 przedstawiono wyniki badania. W tabl. II i III podano przyrost ciężaru pręta, grubość warstwy. Rys. 1, 2 i 3 przedstawiają te zależności wykreślnie, a rys. 4 i 5 podają wygląd warstwy nakrzemowanej.



Rys. 1. Przyrost ciężaru podczas krzemowania pręta molibdenowego o średnicy 2 mm i taśmy o przekroju 3 mm × 0,5 mm w temperaturze 1000, 1100, 1200, 1300 i 1400°C



Rys. 2. Grubość warstwy nakrzemowanej pręta o średnicy 2 mm w zależności od temperatury krzemowania

b) Krzemowanie proszku molibdenowego przeprowadzono w wyżej opisanym urządzeniu, przy czym przed wpuszczeniem czterochlorku krzemu redukowano proszek molibdenowy wodorem. Krzemowanie wykonano w stałej temperaturze 1100°C w ciągu 15, 30, 60 i 120 min. Poszczególne przyrosty ciężarów zostały podane na rys. 6.

c) W celu uzyskania $MoSi_2$ ze sproszkowanego molibdenu i krzemu wykonano mieszanki o zawartości 36,9% Si i reszty molibdenu. Mieszanie połączone z rozdrabnianiem w młynie kulowym trwało 24 godz.

Z otrzymanych mieszanek wykonano następujące próby.

1) Mieszankę sprasowano w matrycy stalowej pod ciśnieniem 5 t/cm². Po umieszczeniu prasówki w piecu o temperaturze 1300°C stwierdzono, że reakcja przebiega egzotermicznie

Tablica I. Materiały oporowe stosowane w budownictwie pieców elektrycznych

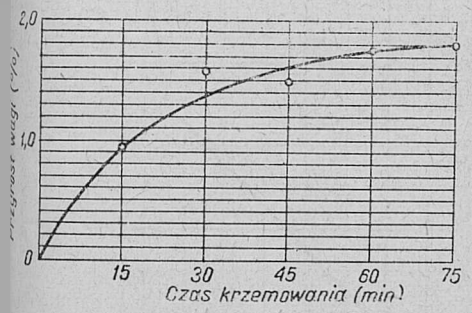
Nazwa materiału	Skład chemiczny	Zastosowanie do °C	Atmosfera	Uwagi
Ferronichrom	20% Fe, 65% Ni, 15% Cr	1050°C	powietrze	
Nichrom	80% Ni, 20% Cr	1150°C	powietrze	odporny na wstrząsy cieplne
Ferrochromal	69% Fe, 24% Cr, 5,5% Al, 1,5% Co	1350°C	powietrze	wrażliwy na naprężenia mechaniczne
Platyna	Pt	1400°C	powietrze	wysoka cena
Sylit	SiC	1400°C	powietrze	kruchy
Molibden	Mo	1700 — 1900°C	redukująca H_2 lub pary alkoholu etylowego	potrzebna atmosfera ochronna
Węgiel	C bezpostaciowy	2000°C	powietrze	daje atmosferę nawęglającą, szybko utlenia się
Grafit	C	2500°C	powietrze	daje atmosferę nawęglającą, utlenia się
Wolfram	W	3000°C	redukująca lub próżnia	urządzenie próżniowe lub atmosfera ochronna

Tablica II. Wyniki krzemowania drutu molibdenowego o średnicy 2 mm i taśmy molibdenowej o przekroju 3 mm × 5 mm czterochlorkiem krzemu w temperaturze 1000 do 1400°C

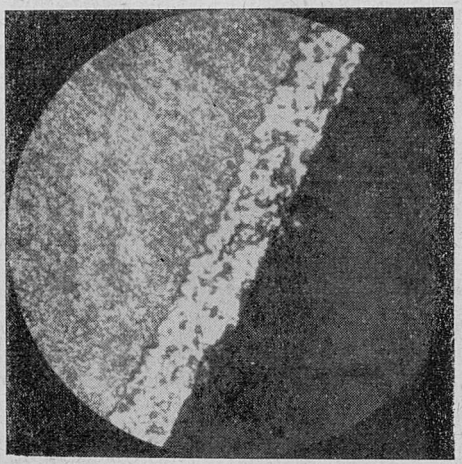
	Temper. krzemow. (°C)	Czas krzemow. (godz.)	Ciężar przed krzemow. (g)	Ciężar po krzemow. (g)	Przyrost ciężaru (g)	Procentowy przyrost ciężaru (%)	Grubość warstwy (μ)
Drut	1000°C	1,5 godz.	2,9435	2,9572	0,0137	0,465	15
	1100°C	1,5 „	2,9946	3,0132	0,0186	0,622	20
	1200°C	1,5 „	2 9298	2,9577	0,0279	0,955	25
	1300°C	1,5 „	3,0020	3,0324	0,0304	1,01	27
	1400°C	1,5 „	2,9438	2,9613	0,0175	0,59(?)	19
Taśma	1000°C	1,5 „	1,5047	1,5189	0,0142	0,94	
	1100°C	1,5 „	1,4859	1,5061	0,0202	1,36	
	1200°C	1,5 „	1,4827	1,5144	0,0317	2,14	
	1300°C	1,5 „	1,4856	1,5177	0,0321	2,16	
	1400°C	1,5 „	1,4838	1,5145	0,0307	2,07(?)	

w temp. ~ 1200°C, a próbka uległa rozerwaniu (rys. 7). W celu ustalenia temperatury reakcji mieszankę poddano ogrzewaniu oporowemu w układzie jak na rys. 8. Należy tu nadmienić, że nie uwzględniono w pomiarze bezwładności termopary. Przebieg analizy termicznej podaje rys. 9.

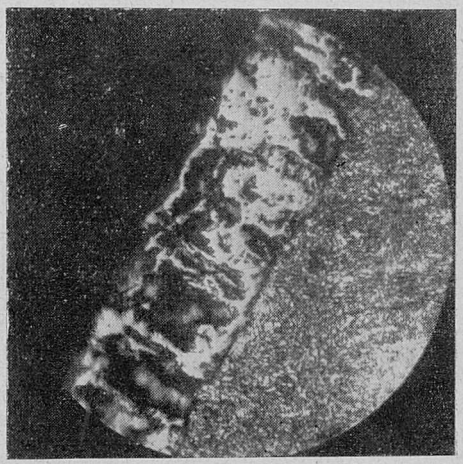
2) Ponieważ reakcja między molibdenem i krzemem spowodowała rozerwanie próbek i uniemożliwiała uzyskanie gęstych spieków, sprasowano mieszankę Mo + Si w kształtki pod ciśnieniem 0,4 do 0,7 t/cm². Kształtki spiekano w temperaturze 1500°C przez 2 godz. w wodorze — otulone tlenkiem glinu. Następnie po rozdrobnieniu poddano je mieleniu w młynie kulowym w ciągu 24 godz. uzyskując drobny proszek krzemku molibdenu. Pierwsze próby prasowania w matrycy stalowej suchego proszku nie dały wyników, gdyż już przy ciśnieniu 0,25 t/cm² prasówki wykazywały pęknięcia. Dodatek 5% gliceryny znacznie poprawił prasowalność proszku. Sprasowane pręty spiekano wstępnie w temperaturze 1000°C w ciągu 1 godz. w oczyszczonym wodorze. Spiekanie końcowe wykonano w temperaturze 1500 do 1650°C w ciągu 2 godz. w wodorze, otulając próbki tlenkiem glinu. Gęstość próbek spiekanych wahała się pod koniec od 4,6 do 5,0 g/cm³. Pręty spiekane w 1500°C przez 2 godz. w atmosferze wodoru wykazywały wytrzymałość na zginanie 6 kg/mm², natomiast pręt wyżarzony dodatkowo przez 1 godz. w powietrzu wykazywał znacznie mniejszą wytrzymałość (2,8 kg/mm²). Pręty spiekane w wodorze badano dilatometrycznie (ob. niżej).



Rys. 3. Przebieg krzemowania pręta molibdenowego w zależności od czasu przy stałej temperaturze 1100°C



Rys. 4. Struktura nakrzemowanej warstwy — krótko krzemowana, trawiona HNO_3 + HF (powiększenie 500-krotne)



Rys. 5. Struktura nakrzemowanej warstwy — dłużej krzemowana, trawiona HNO_3 + HF (powiększenie 500-krotne)

3) Następną serię prób wykonano przez spiekanie krzemku molibdenu pod ciśnieniem. Spiekanie wykonano w matrycach grafitowych. Nagrzewanie następowało przez bezpośredni przepływ prądu przez matrycę na prasie do spiekania pod ciśnieniem. Temperaturę mierzono na powierzchni zewnętrznej matrycy przy pomocy pirometru optycznego. Temperatura spiekania pod ciśnieniem wynosiła 1500°C, rzeczywista temperatura wewnątrz matrycy była o ~ 100°C wyższa. Czas całego spiekania wynosił 5 min; prócz tego nagrzewanie trwało około 4 min, a chłodzenie kilkadziesiąt sekund.

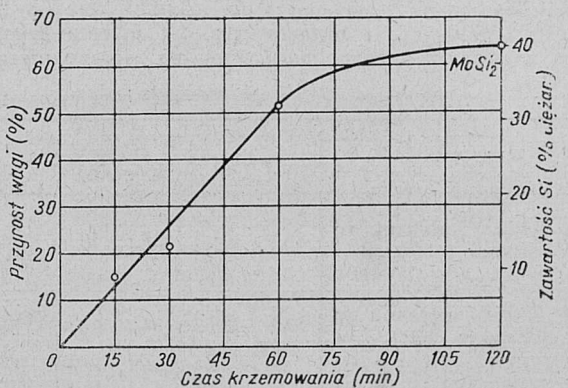
Do spiekania pod ciśnieniem przygotowano 5 próbek, a mianowicie sam sproszkowany krzemek molibdenu ($MoSi_2$) oraz z dodatkami 0,25, 0,5,1 i 2% krzemu w proszku. Na uzyskanych próbkach wykonano pomiary gęstości, wytrzymałości na zginanie, pomiar dilatometryczny oraz badano strukturę. W tabl. IV podano gęstość i wytrzymałość na zginanie próbek $MoSi_2$ spiekanych pod ciśnieniem z dodatkiem krzemu. Rys. 10 przedstawia porowatość czystego spieku $MoSi_2$, rys. 11 ilustruje strukturę spieku $MoSi_2$, a rys. 12 — przełom $MoSi_2$.

4) Przy badaniach spiekania pod ciśnieniem przeprowadzono próby topnienia $MoSi_2$ w matrycach grafitowych. Przy wskazaniach pirometru optycznego 1900°C nastąpiło topnienie proszku. Faktyczna temperatura we wnętrzu matrycy była 100° wyższa. Stopiona próba wykazała gęstość 6,2 g/cm³. Rys. 13 przedstawia strukturę metalograficzną próbki $MoSi_2$.

d) Dla ustalenia współczynnika rozszerzalności cieplnej krzemku molibdenu wykonano szereg badań dilatometrycznych na następujących próbkach:

Tablica III. Krzemowanie pręta okrągłego o średnicy 1,2 mm przy 1100°C w zależności od czasu krzemowania

Temperatura krzemow. (°C)	Czas krzemowania (min)	Ciężar przed krzemowaniem (g)	Ciężar po krzemowaniu (g)	Przyrost ciężaru (g)	Przyrost ciężaru (%)
1100	15	1,1743	0,1851	0,0108	0,92
1100	30	1,1636	1,1822	0,0186	1,59
1100	60	1,1578	1,1771	0,0193	1,75
1100	75	1,1596	1,1804	0,0208	1,80

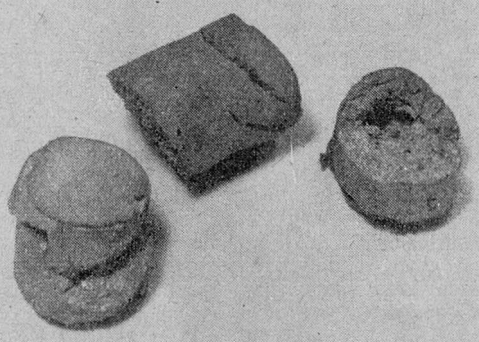


Rys. 6. Przebieg krzemowania proszku molibdenowego w temp. 1100°C

1) sprasowany proszek krzemku molibdenu spiekany wstępnie i końcowo w wodorze w temp. 1650°C (rys. 14, krzywa *a*);

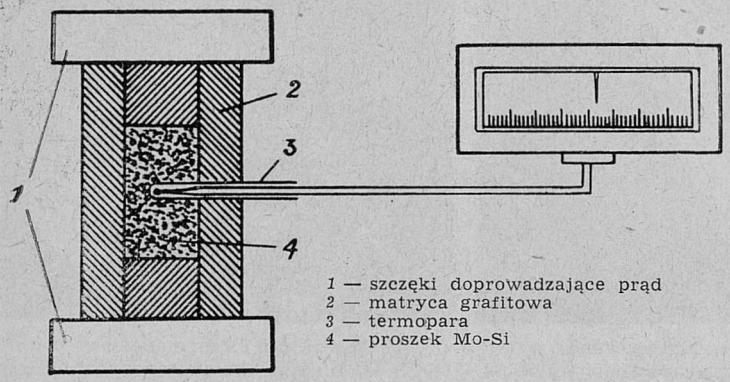
2) próbka jak pod 1), ale wyżarzona w temp. 1650°C w ciągu 3 godz. przez bezpośredni przepływ prądu w atmosferze powietrza (rys. 14, krzywa *b*);

3) próbka krzemku molibdenu uzyskana przez spiekanie pod ciśnieniem (rys. 14, krzywa *a*). Wyniki pomiarów dilatometrycznych są zestawione w tabl. V. Współczynnik rozszerzalności cieplnej dla wszystkich próbek w granicach temperatur



Rys. 7. Rozerwana próbka otrzymana przez syntezę Mo+Si na $MoSi_2$ w temperaturze 1300°C

20 — 600°C wynosi zależnie od pomiaru $84 \cdot 10^{-7}$ do $88 \cdot 10^{-7}$. Tę samą wartość ma w granicach temperatur od 20 do 800°C dla próbki spiekanej tylko w wodorze i pod ciśnieniem. Natomiast próbka wyżarzona w powietrzu wykazuje w wykresie rozszerzalności anomalię — wzrost rozszerzalności, jak to przedstawia rys. 14, krzywa *b*: w temperaturze od 600 do 800°C następuje skok rozszerzalności do ~ $170 \cdot 10^{-7}$; zdarzały się też znacznie mniejsze i większe wartości.



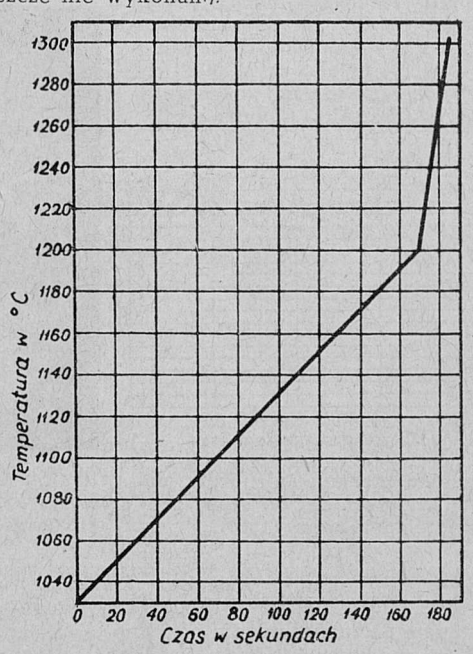
1 — szczęki doprowadzające prąd
2 — matryca grafitowa
3 — termopara
4 — proszek Mo-Si

Rys. 8. Układ służący do pomiaru temperatury syntezy Mo + 2Si — $MoSi_2$

e) W celu stwierdzenia, czy warstwy nakrzemowane lub też lite pręty z krzemku molibdenu są dobrze nakrzemowane, wykonano wyżarzanie w temp. 1650° — 1700°C w powietrzu przez kilkanaście godzin. Rys. 15 przedstawia nakrzemowaną spiralę molibdenową żarzoną w powietrzu przez bezpośredni przepływ prądu w temp. 1650 — 1700°C. Pręty ze spiekanego krzemku molibdenu o wymiarze 10 × 10 × 200 obrobiono w części środkowej na okrągło (rys. 16) w celu uzyskania w tym miejscu większego oporu. Pręt ten żarzono przez kilkanaście godzin przepuszczając przez niego prąd o dużym natężeniu. Po wyłączeniu prądu okazało się, że powierzchnia pokryła się „szklistą" masą. Badania te wykonano na spiralach i prętach celem przekonania się, czy rzeczywiście próbki są żaroodporne. Długookresowych badań trwałości w temperaturze 1650 — 1700°C prętów z $MoSi_2$ lub spirali nakrzemowanej jeszcze nie wykonano.

T a b l i c a IV. Wytrzymałość na zginanie oraz gęstość $MoSi_2$ spiekanego w wodorze, żarzonego na powietrzu i spiekanego pod ciśnieniem

Ilość dodanego krzemu (% ciężaru)	Wytrzymałość na zginanie (kg/mm²)	Gęstość (g/cm³)
0	5	6 — 6,2
0,25	5,7	4,58
0,5	6,5	4,65
1	11,3	4,78
2	14,8	4,82
Krzemek molibdenu spiekany w 1600°C w wodorze i wyżarzony przez 1 godz. w 1650°C w powietrzu	2,8	4,8 — 5,2
Krzemek molibdenu spiekany w 1600°C w wodorze	6	4,6 — 5



Rys. 9. Wykres „analizy termicznej" syntezy Mo + Si = $MoSi_2$

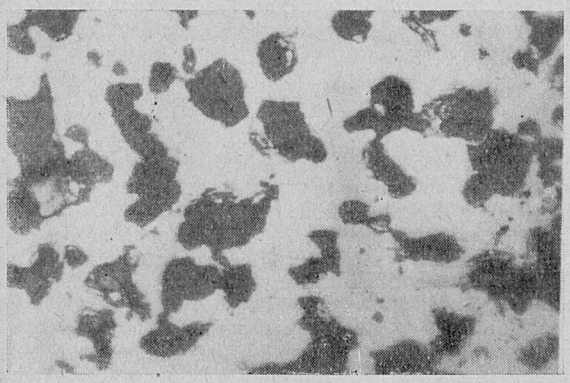
6. Omówienie wyników.

Badania powyższe, które należy uważać za wstępne, są na ogół zgodne z danymi z literatury. Krzemowanie gazowym

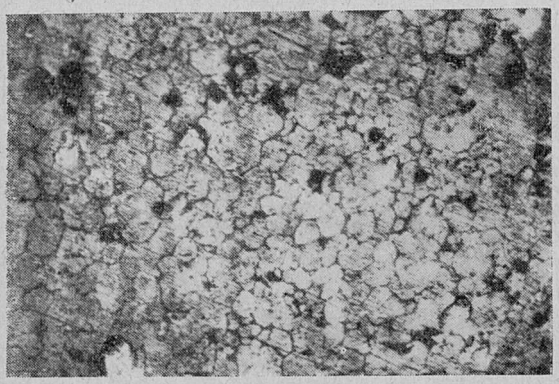
T a b l i c a V. Wyniki pomiarów dilatometrycznych różnych próbek krzemku molibdenu

Nazwa próbki	Współczynnik rozszerzalności cieplnej β pomiędzy					Uwagi
	20 — 200°C	20 — 400°C	20 — 600°C	20 — 800°C	600 — 800°C	
Pręt $MoSi_2$ spiekany w wodorze w 1600°C	$86,8 \cdot 10^{-7}$	$85,6 \cdot 10^{-7}$	$84,1 \cdot 10^{-7}$	$83,0 \cdot 10^{-7}$	$82 \cdot 10^{-7}$	Rozszerzalność prostoliniowa bez załamań, krzywa studzenia pokrywa się z krzywą ogrzewania
Pręt $MoSi_2$ spiekany w wodorze w 1600°C i następnie wyżarzony w powietrzu przez 3 godz. w 1650°C	$84,8 \cdot 10^{-7}$	$84,5 \cdot 10^{-7}$	$88,2 \cdot 10^{-7}$	$108,8 \cdot 10^{-7}$	$174 \cdot 10^{-7}$	Rozszerzalność do 600°C prostoliniowa, około 700°C gwałtowny skok rozszerzalności (rys. 14,*b*); krzywa studzenia nie pokrywa się z krzywą ogrzewania
	„szkło" { „punkt transformacyjny ok. 650°C" „punkt zmiękniecia ok. 800°C"					
Próbka $MoSi_2$ spiekana pod ciśnieniem, temper. matrycy 1450°C	$87,8 \cdot 10^{-7}$	$86,4 \cdot 10^{-7}$	$87,4 \cdot 10^{-7}$	$87,4 \cdot 10^{-7}$	$88,8 \cdot 10^{-7}$	Rozszerzalność prostoliniowa bez załamań, krzywa studzenia pokrywa się z krzywą ogrzewania

czterochlorkiem krzemu rozpoczyna się już w temp. 1000°C, przy czym w miarę wzrostu temperatury do 1300°C następuje przyrost ciężaru, nakrzemowana warstwa pogrubia się. Uzyskano warstwy o grubości ponad 10 mikronów (tabl. II, rys. 1 i 2). Wyniki te są zgodne z badaniami E. Fitzera [2]. Również przy stałej temperaturze 1100°C przy zmianie czasu uzyskuje się pogrubienie warstwy (tabl. III i rys. 3). Pewną anomalię daje krzemowanie w temperaturze 1400°C, przy której obserwuje się przy pręcie o przekroju zarówno okrągłym, jak i prostokątnym, mniejszy przyrost, względnie powolniejszy przyrost ciężaru i przekroju niż przy niższych temperaturach. Zjawisko to jest sprzeczne z badaniami E. A. Beidlera, C. F. Powella, I. E. Campbella i L. F. Yntema [7]. Na razie trudno jest wytłumaczyć to zjawisko. Porównanie wyników wymienionych badaczy [7] z naszymi jest niemożliwe, gdyż metodyka badań była inna.

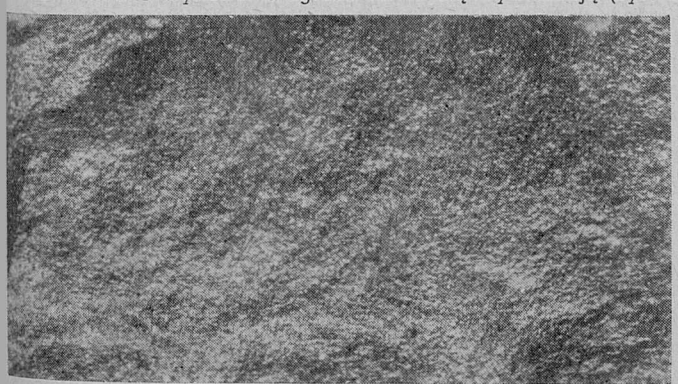


Rys. 10. Porowatość $MoSi_2$ otrzymanego przez spiekanie pod ciśnieniem, nietrawionego (powiększenie 375 ×)



Rys. 11. Struktura spieku $MoSi_2$ trawiona HF + HNO_3 (powiększenie 130 ×)

Otrzymana przez autorów struktura metalograficzna nakrzemowanych warstw jest podobna do wyników opisanych w literaturze [2]. Stwierdzono ziarna podłużne (Stengelstruktur), które w czasie wykonania zgładu łatwo się wykruszają (rys. 4 i 5). Wykruszone miejsca dają wrażenie pęcherzy, porów, a w rzeczywistości warstwa nakrzemowana jest gęsta, co stwierdzono przez żarzenie w 1650°C w powietrzu.



Rys. 12. Przełom $MoSi_2$ (powiększenie 4½ ×)

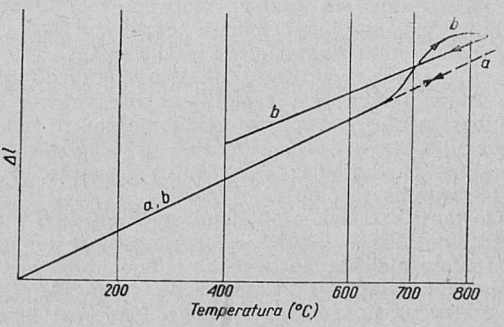
Krzemowanie proszku molibdenowego czterochlorkiem krzemu w obecności wodoru dało wynik w zupełności zgodny z pracami E. Fitzera [2]. Na rys. 6 jest przedstawiona szybkość krzemowania proszku w temperaturze 1100°C. Różnica między pracami E. Fitzera a niniejszą dotyczy temperatury. Fitzer krzemował w 1000°C i potrzebował 4 godz., aby uzyskać produkt końcowy $MoSi_2$, natomiast w niniejszej pracy stosowano temperaturę 1100°C, przy której uzyskano już po 2 godz.



Rys. 13. Struktura stopionego $MoSi_2$ trawiona HF + NHO_3 (powiększenie 360 ×)

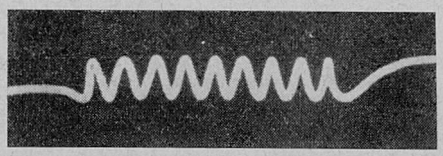
$MoSi_2$ i ustalenie się równowagi. Wyniki te są zresztą zgodne z teoretycznymi rozważaniami, gdyż przy wyższej temperaturze szybkość reakcji jest większa, a więc czas jej przebiegu jest krótszy.

Próby uzyskania $MoSi_2$ ze sproszkowanych pierwiastków potwierdzają badania innych autorów. Stwierdzono, że dla wykonania spieków z $MoSi_2$ należy wpierw uzyskać $MoSi_2$ z pierwiastków, otrzymany $MoSi_2$ należy rozdrobnić, ponownie sprasować i spiec. Reakcja zachodząca między Mo i Si jest egzotermiczna, dość gwałtowna i jak wykazała analiza termiczna (rys. 8 i 9) synteza $MoSi_2$ następuje w temperaturze około 1200°C. Jak widzimy, krzemowanie gazowym czterochlorkiem krzemu odbywa się w temperaturze już znacznie niższej (1000°C), gdy reakcja w fazie stałej wymaga temperatury o 200° wyższej.



Rys. 14. Wykres rozszerzalności cieplnej
(*a*) dla $MoSi_2$ spiekanego w wodorze i pod ciśnieniem
(*b*) dla $MoSi_2$ dodatkowo wyżarzonego w atmosferze powietrza

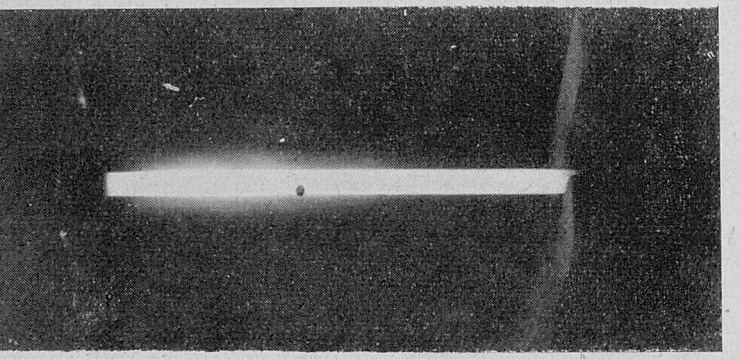
Prasówki z $MoSi_2$ spiekały się dobrze uzyskując stosunkowo dobrą wytrzymałość. Gęstość próbek $MoSi_2$, sprasowanych ciśnieniem 0,25 — 0,7 t/cm² i spiekanych w 1650°C w wodorze, wynosi 4,6 do 5,0 g/cm³, co stanowi tylko 78 — 83% gęstości teoretycznej. Wytrzymałość na zginanie spiekanego w wodorze $MoSi_2$ wynosi 6 kg/mm², gdy próbka wyżarzona dodatkowo w powietrzu wykazuje bardzo znaczny spadek wytrzymałości na zginanie (2,8 kg/mm²).



Rys. 15. Nakrzemowana spirala molibdenowa żarzona przez bezpośredni przepływ prądu w 1650°C w powietrzu

Danych porównawczych na temat wytrzymałości na zginanie w literaturze brak. Można jednak powiedzieć, że wytrzymałość $MoSi_2$ na zginanie jest mała, ale wystarczająca dla

elementu grzejnego. Współczynnik rozszerzalności cieplnej β wynosi dla spiekanego w wodorze $MoSi_2$ w przedziale temperatur 20 do 800°C około $84 \cdot 10^{-7}$ (rys. 14, krzywa *a*), w granicach zaś temperatur od 600 do 800°C wynosi $82 \cdot 10^{-7}$. Rozszerzalność jest prawie prostoliniowa bez żadnych załamań. Ciekawy obraz daje natomiast próbka $MoSi_2$ żarzona w powietrzu w temp. 1650°C. Wykres rozszerzalności na rys. 14 (*b*)



Rys. 16. Pręt ze spiekanego $MoSi_2$ jako element grzejny do temperatury 1650°C

wykazuje do 600°C podobny przebieg jak dla próbki spiekanej tylko w wodorze. Od tej temperatury następuje wzrost współczynnika, przy ~ 700°C gwałtowne załamanie, które mogłoby świadczyć o jakiejś przemianie „nieodwracalnej", gdyż krzywa studzenia jest prosta. Podobne zjawiska zaobserwowano badając dilatometrycznie prasówki z proszku srebrnego [8]. Można by więc przypuszczać, że następuje pewnego rodzaju wydzielanie się gazów, które powodują pęcznienie próbki. Przyczyną może być jednak też to, że $MoSi_2$ podczas żarzenia w powietrzu pokrywa się szklistą masą i utworzone szkliwo daje obraz wykresu dilatometrycznego ze swym punktem transformacyjnym i punktem zmiękniania [9]. To drugie tłumaczenie jest prawdopodobniejsze. Temperaturę transformacyjną tego szkliwa można określić na ~ 650°C, a temperaturę zmiękniania na ~ 800°C. Zjawisko to wymaga jednak dalszego wyjaśnienia.

Sproszkowany krzemek molibdenu spiekany pod ciśnieniem w temperaturze 1500 — 1600°C wykazuje gęstość 6 ÷ 6,2 G/cm³. Przez zastosowanie bardzo wysokiej temperatury spiekania pod ciśnieniem (temp. 1900°C mierzona na powierzchni zewnętrznej matrycy) można stopić $MoSi_2$. Ponieważ temperatura we wnętrzu matrycy jest o ~ 100° wyższa, uzyskano zgodność punktu topnienia z podaną przez E. Cerwenkę [1], mianowicie 2030 + 50°C. Również uzyskana gęstość 6,2 ± 0,1 G/cm³ jest zgodna z badaniami E. Cerwenki, który określił ją na 6,12 G/cm³.

To samo można powiedzieć o strukturze metalograficznej. Wytrzymałość na zginanie $MoSi_2$ spiekanego pod ciśnieniem wynosi 5 kG/mm², a więc jest nieco niższa od wytrzymałości $MoSi_2$ otrzymanego przez sprasowanie i spiekanie w wodorze przy 1600°C (6 kG/mm², według tabl. IV). Podobne zależności dla wytrzymałości na zginanie istnieją przy produkcji węglików spiekanych, otrzymanych przez spiekanie próbek w wodorze.

Dodanie do $MoSi_2$ sproszkowanego krzemu ma wybitny wpływ na zwiększenie wytrzymałości na zginanie próbek spiekanych pod ciśnieniem (tabl. IV). Jak widać, wzrost wytrzymałości jest prawie dwukrotny przy dodatku 1 ÷ 2% Si. Danych porównawczych w literaturze nie znaleziono. Współczynnik liniowej rozszerzalności cieplnej krzemku molibdenu spiekanego pod ciśnieniem ma praktycznie tę samą wartość co dla $MoSi_2$ spiekanego w wodorze (tabl. V).

7. Streszczenie.

1) Wykonano próby krzemowania drutu i prętów oraz proszku molibdenowego przy pomocy czterochlorku krzemu w wodorze w temperaturze 1000 do 1400°C.

2) Przeprowadzono syntezę $Mo + 2Si = MoSi_2$ i ustalono, że temperatura syntezy wynosi 1200°C. Z otrzymanego proszku $MoSi_2$ uzyskano kształtki, które spiekano w temp. 1500÷1600°C w atmosferze wodoru. Próbki wykazały wytrzymałość na zginanie 6 kG/mm², a współczynnik rozszerzalności cieplnej poniżej 20 ÷ 800°C w wysokości $84 \cdot 10^{-7}$. Warstwa szklista ma charakter szkła, gdyż jej temperatura transformacyjna wynosi około 650°C, a temperatura zmiękniania około 800°C.

3) Proszek $MoSi_2$ czysty lub z dodatkiem 0,25 ÷ 2% Si spiekano pod ciśnieniem. Gęstość i temperatura topnienia czystego $MoSi_2$ jest zgodna z danymi z literatury. Wytrzymałość na zginanie jest w dużym stopniu zależna od zawartości krzemu i wynosi od 5 kG/mm² przy nieobecności krzemu do 14,8 kG/mm² przy zawartości 2% Si. Współczynnik rozszerzalności liniowej pomiędzy 20 ÷ 800°C wynosi $87 \cdot 10^{-7}$.

4) Badania przedstawione w niniejszej pracy są wstępne i pewne fragmenty wymagają sprawdzenia i wyjaśnienia.

LITERATURA

[1] Kieffer R., Benesovsky F. Neuere Forschungsergebnisse auf dem Gebiete der hochschmelzenden metallischen Hartstoffe (Metall, 1952, Nr 9 — 10, str. 243/250)
[2] Fitzer E. Höchstemperaturbeständige Werkstoffe durch Silizieren von Wolfram und Molybden (wg Pulvermetallurgie, 1 Plansee Seminar. „De re metallica", str. 244/258, Springer, Wien, 1953)
[3] Kieffer R., Schwarzkopf P. Hartstoffe und Hartmetalle (Springer, Wien, 1953)
[4] Bryjak E. Metalografia węglików spiekanych (Hutnik, 1951, 1)
[5] Cray T. H. Bend tests from hard and brittle metals (Handbook ASM, Cleveland, 1948)
[6] Leitz E. Leitz Dilatometer nach Bollenrath (Katalog X, 1939, Nr 7623 b)
[7] Beidler E. A., Powell C. F., Campbell I. E., Jutema L. F. (J. Electrochem. Soc. 98/1951, str. 21/25, wg R. Kieffer i P. Schwarzkopf — Hartstoffe und Hartmetalle, Springer Wien 1953)
[8] Bryjak E. Badania dilatometryczne nad spiekaniem srebra (Hutnik, 1953, 2)
[9] Bryjak E. Złącza metali ze szkłem (Przegl. Techn., 1947, str. 129 — 131, 185 — 189, 265 — 267, 305 — 309, 353 — 364)

IX. RÓŻNE

DOC. DR MIECZYSŁAW WARMUS
Politechn. Wrocławska

Rachunek przybliżony w zakresie pomiarów technicznych i wynikających z nich błędów

519.2:62

Treść. Wstępne wiadomości z teorii rachunku przybliżonego opracowanej przez autora. Liczba przybliżona jest określona jako przedział domknięty i jest zapisywana za pomocą dwóch liczb rzeczywistych, z których jedna — dolna — jest środkiem a druga — górna — połową długości tego przedziału. Powstaje algebra i analiza liczb przybliżonych. Przez sformalizowanie rachunku przybliżonego uzyskuje się duże korzyści rachunkowe.

Metody numeryczne stanowią aparat matematyczny bardzo często stosowany w różnych działach techniki. W metodach tych wykonuje się obliczenia z reguły w sposób przybliżony z określoną dokładnością. Oszacowanie dokładności otrzymywanych wyników jest zazwyczaj dużo trudniejszym zadaniem niż samo otrzymanie tych wyników. Zrezygnować z szacowania dokładności otrzymywanych przybliżeń nie można, gdyż podanie przybliżenia bez żadnego określenia jego dokładności jest bez wartości. Można jednak dążyć do jak najdalej idącego uproszczenia rachunku przybliżonego. Ponieważ rachunek ten stosuje się bardzo często, przeto nawet drobne jego uproszczenia mogą dać duże oszczędności czasu i wysiłku rachującego.

Duże uproszczenie rachunku przybliżonego można uzyskać przez odpowiednie sformalizowanie go. Pozwala to m. in. szacować dokładność wyników obliczeń w sposób automatyczny przez stosowanie dogodnych reguł postępowania. Jeżeli chcemy wykonać podobne szacowania dokładności bez takiej formalizacji, to jesteśmy zmuszeni w każdym rachunku przeprowadzać rozumowania, które co prawda są zazwyczaj elementarne, ale stają się bardzo żmudne, gdy je trzeba często powtarzać. Na gruncie sformalizowanego rachunku przybliżonego znacznie łatwiej jest uchronić się przed omyłkami, wykonywać kontrole, układać schematy postępowania, dyskutować wyniki itd. Ponadto sformalizowanie rachunku przybliżonego

pozwala pozbyć się wielu niejasności i poprawnie postawić wiele zagadnień numerycznych.

Autor podjął próbę sformalizowania rachunku przybliżonego i przygotowuje do druku monografię pt. „Rachunek przybliżony". W niniejszym artykule będą podane wstępne wiadomości teorii rachunku przybliżonego i elementarne przykłady ich stosowania do pomiarów t e c h n i c z n y c h. Celem artykułu jest wprowadzenie czytelnika w metody sformalizowanego rachunku przybliżonego, poinformowanie, czym jest ten rachunek i jakie kryje możliwości. Artykuł nie będzie streszczeniem teorii rachunku przybliżonego ani przeglądem jego licznych metod. Należy podkreślić, że rachunek przybliżony opiera się na teorii błędów maksymalnych i teoria statystyczna błędów, czyli teoria błędów przypadkowych, nie jest nim objęta.

W rachunku przybliżonym pojęciem podstawowym jest p o j ę c i e l i c z b y p r z y b l i ż o n e j. Zanim to pojęcie zdefiniujemy, zwrócimy uwagę na pewne niejasności w istniejącej dotychczas terminologii.

Błąd maksymalny pomiaru określa się zazwyczaj jako wartość bezwzględną różnicy między „wielkością prawdziwą" a otrzymaną z pomiaru. Powstanie błędu tłumaczy się z reguły niedoskonałością naszych zmysłów i przyrządów pomiarowych. Niesłusznie zakłada się powszechnie istnienie i jednoznaczność „prawdziwej wielkości", którą mierzymy. Można to łatwo wyjaśnić na przykładzie. Mierząc np. średnicę drutu, otrzymujemy jako wynik pomiaru liczbę z pewnym błędem maksymalnym. Skoro mówi się o „błędzie maksymalnym", to zgodnie z podaną wyżej definicją zakłada się istnienie „prawdziwej" średnicy drutu. Jeżeli powiększymy dokładność pomiaru i będziemy go powtarzać w wielu miejscach wzdłuż drutu, to okaże się, że średnica drutu jest w różnych miejscach różna, a więc, że nie istnieje „prawdziwa" średnica drutu. Oczywiście, można ją zdefiniować umownie i to na różne sposoby, ale takie wyjście jest sztuczne i niepotrzebne, albowiem można podać wynik pomiaru i określić jego błąd maksymalny i względny nie wprowadzając zupełnie mglistego pojęcia „wielkości prawdziwej". Wystarczy przyjąć, że w y n i k p o m i a r u n i e j e s t j e d n ą l i c z b ą, a l e p r z e d z i a ł e m, tj. zbiorem wszystkich liczb leżących między dwiema danymi liczbami; wtedy błąd maksymalny można określić jako połowę długości tego przedziału. W przykładzie z drutem nie ma potrzeby mówić, że w wyniku pomiaru średnicy otrzymano 0,50 mm, a „prawdziwa" średnica drutu nie różni się od tej wielkości więcej niż o 0,02 mm. Wystarczy powiedzieć, że w wyniku pomiaru średnicy drutu otrzymano przedział od 0,50 mm — 0,02 mm = 0,48 mm do 0,50 mm + + 0,02 mm = 0,52 mm. Połowę długości tego przedziału, czyli wielkość $\frac{0{,}52\text{ mm} - 0{,}48\text{ mm}}{2} = 0{,}02$ mm, nazywa się wtedy błędem maksymalnym tego pomiaru.

Wielkość mierzoną też można zdefiniować za pomocą przedziałów, np. można przyjąć, że średnica drutu jest przedziałem będącym częścią wspólną wszystkich przedziałów otrzymanych w wyniku dokonanych pomiarów tej średnicy. Jeżeli np. z pomiarów średnicy drutu otrzymano przedziały [0,48 mm, 0,52 mm], [0,47 mm, 0,56 mm], [0,49 mm, 0,55 mm], to częścią wspólną tych przedziałów jest przedział [0,49 mm, 0,52 mm]. Mówimy wtedy, że średnica drutu jest określona przedziałem [0,49 mm, 0,52 mm]. W ten sposób pojęcie wielkości mierzonej jest ściśle związane z klasą dokonanych pomiarów i tak być powinno. Pojęcie średnicy drutu może istnieć tylko w klasie pomiarów o ograniczonej dokładności. Przy zwiększaniu dokładności pomiaru pojęcie to traci sens, natomiast możemy wprowadzić pojęcie średnicy drutu w określonej odległości od jednego z końców. Przy dalszym zwiększaniu dokładności pomiaru może zajść konieczność wprowadzenia średnicy drutu jako funkcji nie tylko odległości od jednego z końców, ale ponadto jeszcze np. temperatury itd.

Zagłębianie się w zagadnienia teorii poznania nie jest celem niniejszego artykułu. Rozważania powyższe miały na celu wskazanie możliwości ścisłego definiowania wielkości mierzonych i otrzymywanych z pomiaru za pomocą przedziałów. Rozważania te są zarazem punktem wyjścia do wprowadzenia pojęcia liczby przybliżonej.

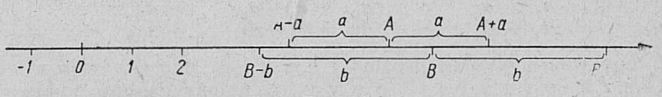
L i c z b ą p r z y b l i ż o n ą będziemy nazywać przedział domknięty. Przedział można określić parą liczb i to na różne sposoby. W rachunku przybliżonym najdogodniejsze okazało się określenie przedziału czyli liczby przybliżonej przez podanie jego środka i połowy długości. Liczbę odpowiadającą środkowi przedziału piszemy u dołu, a nad nią zapisujemy połowę długości przedziału. W ten sposób liczba $\overset{a}{A}$ przybliżona A znaczy to samo, co przedział domknięty $[A-a, A+a]$, a więc to samo, co zbiór wszystkich liczb x spełniających nierówność $A-a \leqslant x \leqslant A+a$. Zarówno wielkości mierzone, jak i wyniki pomiarów, możemy określać teraz za pomocą liczb przybliżonych. Zamiast mówić, że średnica drutu jest przedziałem [0,49 mm, 0,52 mm], mówimy, że średnica drutu jest liczbą przybliżoną $\overset{0{,}015}{0{,}505}$ mm. Liczbę górną można nazywać błędem liczby przybliżonej. Błąd względny otrzymuje się stawiając kreskę poziomą między liczbą górną i wartością bezwzględną liczby dolnej; błędem względnym liczby przybliżonej $\overset{a}{A}$ jest liczba $\frac{a}{|A|}$.

W symbolu $\overset{a}{A}$ zapisuje się liczby A i a tak, by przecinki w obu liczbach leżały jeden nad drugim. Pozwala to nie wypisywać początkowych zer w liczbie a. Na przykład symbol $\overset{0{,}002}{5{,}163}$ oznacza liczbę przybliżoną 5,163 czyli przedział [5,161, 5,165].

Pojęcie i sposób zapisu liczby przybliżonej są zgodne ze zwyczajami przyjętymi w technice. Niewłaściwe byłoby zamawianie wału o średnicy 150 mm bez podania wymaganej tolerancji, w zamówieniu więc podaje się, że wał ma mieć średnicę $(150 \pm 0{,}5)$ mm, co oznacza, że średnica wału nie może być mniejsza niż 149,5 mm ani większa niż 150,5 mm. W rachunku przybliżonym zapisujemy to podobnie: średnica wału ma być liczbą przybliżoną $\overset{0{,}5}{150}$ mm.

Jeżeli w liczbie przybliżonej część górna jest zerem, przedział redukuje się do punktu i liczbę przybliżoną identyfikujemy z jej częścią dolną. Innymi słowy liczbę przybliżoną $\overset{0}{A}$ uważamy po prostu za liczbę A.

Podstawową relacją między liczbami przybliżonymi jest relacja przybliżania. Mówimy, że liczba przybliżona $\overset{b}{B}$ przybliża liczbę przybliżoną $\overset{a}{A}$ i piszemy $\overset{a}{A} \subset \overset{b}{B}$ wtedy i tylko wtedy, kiedy przedział $[A-a, A+a]$, będący liczbą przybliżoną $\overset{a}{A}$, jest zawarty w przedziale $[B-b, B+b]$, będącym liczbą przybliżoną $\overset{b}{B}$ (rys. 1). Mamy np. $\overset{0{,}02}{0{,}505} \subset \overset{0{,}15}{0{,}5}$, ponieważ liczba $\overset{0{,}15}{0{,}5}$ przybliżona 0,505 jest przedziałem [0,490, 0,520], który zawiera się w przedziale [0,48, 0,52], będącym liczbą przybliżoną $\overset{0{,}02}{0{,}5}$. Mówimy tu, że liczba przybliżona $\overset{0{,}15}{0{,}5}$ przybliża liczbę 0,505. Jeżeli na przykład średnica drutu w milimetrach była równa $\overset{0{,}15}{0{,}5}$, to możemy powiedzieć, że liczba 0,5 przybliża średnicę drutu, albo wprost, że średnica drutu jest w przybliżeniu równa $\overset{0{,}02}{0{,}5}$ mm. Podobnie możemy powiedzieć, że liczba przybliżona $\overset{1}{3{,}14}$ przybliża liczbę π ponieważ liczba π jest zawarta w przedziale [3,13, 3,15] będącym liczbą przybliżoną $\overset{1}{3{,}14}$.



Rys. 1

Można łatwo wykazać, że zależność $\overset{a}{A} \subset \overset{b}{B}$ istnieje wtedy i tylko wtedy, kiedy

$$b - a \geqslant |B - A| \tag{1}$$

Istotnie, relacja $\overset{a}{A} \subset \overset{b}{B}$ oznacza że przedział $[A-a, A+a]$ jest zawarty w przedziale $[B-b, B+b]$ (rys. 1). Musi być zatem $B-b \leqslant A-a$ oraz $B+b \geqslant A+a$, czyli $b-a \geqslant B-A$ i $b-a \geqslant A-B$, skąd $\geqslant |B-A|$.

Warunek (1) pozwala łatwo sprawdzić, czy między danymi dwiema liczbami przybliżonymi istnieje relacja przybliżania. Na przykład podaną wyżej zależność $\overset{0{,}02}{0{,}505} \subset \overset{0{,}15}{0{,}5}$ sprawdzamy stwierdzając, że $0{,}02 - 0{,}015 \geqslant |0{,}5 - 0.505|$.

$\overset{a}{A}$

Mówimy, że liczba przybliżona A jest równa liczbie przybli-
$\overset{b}{B}$
żonej B i piszemy

$$\overset{a}{A} = \overset{b}{B} \tag{2}$$

wtedy i tylko wtedy, kiedy $A = B$ oraz $a = b$. Można udowodnić, że równość (2) jest możliwa wtedy i tylko wtedy, $\overset{a}{A} \subset \overset{b}{B}$ i $\overset{b}{B} \subset \overset{a}{A}$.

W praktyce rachunkowej sprowadza się zwykle relację przybliżania do dwóch reguł: r e g u ł y z a o k r ą g l a n i a, którą nazywać będziemy również regułą podnoszenia, oraz r e g u ł y r o z s z e r z a n i a. Regułę zaokrąglania określa się wzorem

$$\overset{a}{A} + c \subset \overset{a+|c|}{A} \tag{3}$$

a regułę rozszerzania wzorem

$$\overset{a}{A} \subset \overset{\alpha}{A}, \quad \text{gdy} \quad \alpha \geqslant a. \tag{4}$$

Istotnie, ze wzoru (1) wynika prawdziwość wzoru (3), bo $(a + |c|) - a \geqslant |A - (A + c)|$, oraz wzoru (4), bo dla $\alpha \geqslant a$ jest $\alpha - a \geqslant |A - A|$.

Mamy np. $2{,}7182 \overset{09}{\subset} 2{,}72 \overset{0189}{\subset} 2{,}72$. W przykładzie tym skorzystaliśmy najpierw z reguły podnoszenia („podnieśliśmy" liczbę —0,0018 z dolnego poziomu na górny i tym samym „zaokrągliliśmy" liczbę 2,7182 do liczby 2,72; stąd pochodzą obie nazwy tej reguły: reguła podnoszenia lub reguła zaokrąglania). Potem skorzystaliśmy z reguły rozszerzania.

$\overset{c}{C}$

Mówimy, że liczba przybliżona C jest sumą liczb przybli-
$\overset{a}{A}$ $\overset{b}{B}$ $\overset{a}{A} + \overset{b}{B} = \overset{c}{C}$
żonych A i B i piszemy wtedy i tylko wtedy,

kiedy liczba przybliżona C, tj. przedział $[C - c, C + c]$, jest zbiorem wszystkich liczb postaci $x + y$, gdzie $A - a \leqslant x \leqslant A + a$ i $B - b \leqslant y \leqslant B + b$. Z takiej definicji wynika, że

$$\overset{a}{A} + \overset{b}{B} = \overset{a+b}{A+B} \tag{5}$$

i ogólnie

$$\overset{a_1}{A_1} + \overset{a_2}{A_2} + \ldots + \overset{a_n}{A_n} = \overset{a_1+a_2+\ldots+a_n}{A_1+A_2+\ldots+A_n}. \tag{6}$$

Z tego wzoru wynika prosta r e g u ł a d o d a w a n i a l i c z b p r z y b l i ż o n y c h: należy osobno dodawać liczby dolne i osobno górne. Mamy np.:

$$\begin{array}{r} \overset{04}{853{,}6} \\ \overset{07}{314{,}32} \\ \overset{05}{-76{,}59} \\ \overset{03}{0{,}64} \\ \hline \overset{55}{1091{,}97} \end{array} \qquad \overset{0{,}085}{\subset} 1092 \overset{0{,}1}{\subset} 1092$$

Do sumy obliczonej według wzoru (6) zastosowano tu najpierw regułę podnoszenia a następnie regułę rozszerzania.

Inny przykład. Sporządzono mieszaninę z dwóch składników. Jeżeli pierwszego składnika było 12 kg (tzn. nie mniej niż $\overset{0{,}1}{12}$ kg — 0,1 kg = 11,9 kg i nie więcej niż 12 kg + 0,1 kg = $\overset{0{,}3}{12{,}1}$ kg), a drugiego 24 kg (tzn. nie mniej niż 23,7 kg i nie więcej niż 24,3 kg), to mieszaniny było $\overset{0{,}1}{12}$ kg + $\overset{0{,}3}{24}$ kg = $\overset{0{,}4}{36}$ kg (tzn. nie mniej niż 35,6 kg i nie więcej niż 36,4 kg).

$\overset{c}{C}$

Mówimy, że liczba przybliżona C jest różnicą liczb przybli-
$\overset{a}{A}$ $\overset{b}{B}$ $\overset{a}{A} - \overset{b}{B} = \overset{c}{C}$
żonych A i B i piszemy wtedy i tylko wtedy,

kiedy liczba przybliżona C, tj. przedział $[C - c, C + c]$, jest zbiorem wszystkich liczb postaci $x - y$, gdzie $A - a \leqslant x \leqslant A + a$ i $B - b \leqslant y \leqslant B + b$. Można łatwo wykazać, że

$$\overset{a}{A} - \overset{b}{B} = \overset{a+b}{A-B}. \tag{7}$$

Jeżeli np. z $\overset{05}{53{,}67}$ kg mieszaniny pobrano $\overset{02}{14{,}93}$ kg, to ciężar pozostałej mieszaniny w kilogramach można znaleźć wykonując działanie $53{,}67 - 14{,}93 = 38{,}74$.

Odejmowanie (7) nie jest działaniem odwrotnym do dodawania (5), ponieważ $\overset{a}{A} + \overset{b}{B} - \overset{b}{B} = \overset{a+2b}{A}$.

$\overset{c}{C}$

Mówimy, że liczba przybliżona C jest iloczynem liczb przy-
$\overset{a}{A}$ $\overset{b}{B}$ $\overset{a}{A} \cdot \overset{b}{B} = \overset{c}{C}$
bliżonych A i B i piszemy wtedy i tylko wtedy, kiedy liczba przybliżona C, tj. przedział $[C - c, C + c]$ jest zbiorem wszystkich liczb postaci xy, gdzie $A - a \leqslant x \leqslant A + a$ i $B - b \leqslant y \leqslant B + b$. Można udowodnić (dowód pomijamy), że

$$\overset{a}{A} \cdot \overset{b}{B} = \operatorname{sgn}(AB) \cdot [|AB| + \min(|A|b, a|B|, ab)] \text{ *}). \tag{8}$$

W najczęściej spotykanym przypadku, kiedy $a \leqslant |A|$ i $b \leqslant |B|$, wzór (8) przybiera postać

$$\overset{a}{A} \cdot \overset{b}{B} = \overset{|A|b+a|B|}{AB} + ab \cdot \operatorname{sgn}(AB). \tag{9}$$

Ze wzoru (8) wynika prosta r e g u ł a m n o ż e n i a l i c z b p r z y b l i ż o n y c h:

$\overset{a}{A}$

aby pomnożyć liczbę przybliżoną A przez liczbę przybliżo-
$\overset{b}{B}$
ną B, należy:

1) obliczyć iloczyny pomocnicze $|AB|$, $|A|b$, $a|B|$, ab;

2) obliczyć moduł dolnej liczby szukanego iloczynu przez dodanie do $|AB|$ najmniejszego z trzech pozostałych iloczynów pomocniczych;

3) obliczyć górną liczbę szukanego iloczynu przez dodanie dwóch pozostałych iloczynów pomocniczych;

4) dolnej liczbie szukanego iloczynu dać taki znak, jaki ma iloczyn AB; gdy $AB = 0$, to dolna liczba jest zerem.

Dla przykładu obliczymy iloczyn $\overset{1}{7} \cdot \overset{2}{5}$. W tym przypadku $|AB| = 35$, a pozostałe iloczyny pomocnicze są 5, 14 i 2. Najmniejszy z nich jest 2, a zatem moduł liczby dolnej szukanego iloczynu jest $35 + 2 = 37$, a górna liczba jest $5 + 14 = 19$. Ponieważ $7 \cdot 5 > 0$, więc dolną liczbę opatrujemy znakiem plus. W ten sposób otrzymaliśmy $\overset{1}{7} \cdot \overset{2}{5} = \overset{19}{37}$. Wynik ten można interpretować w następujący sposób: liczba przybliżona $\overset{1}{7}$ jest przedziałem $[7 - 1, 7 + 1]$ czyli przedziałem $[6, 8]$; analogicznie liczba przybliżona $\overset{19}{5}$ jest przedziałem $[3, 7]$, a liczba $\overset{2}{37}$ przedziałem $[18, 56]$; jeżeli x jest dowolną liczbą z przedziału $[6, 8]$, a y dowolną liczbą z przedziału $[3, 7]$, to zbiór wszystkich możliwych iloczynów xy jest przedziałem $[18, 56]$.

Obliczymy teraz dla przykładu iloczyn $-\overset{2}{13} \cdot \overset{7}{3}$. W tym przypadku $|AB| = 39$, a pozostałe iloczyny pomocnicze są 91, 6, 14. Najmniejszym z nich jest 6, a zatem moduł dolnej liczby szukanego iloczynu jest $39 + 6 = 45$, górna zaś liczba jest $91 + 14 = 105$. Ponieważ $(-13) \cdot 3 < 0$, więc dolną liczbę opatrujemy znakiem minus. W ten sposób otrzymaliśmy: $-\overset{2}{13} \cdot \overset{7}{3} = -\overset{105}{45}$.

Obliczane ze wzoru (8) iloczyny możemy przybliżać liczbami dogodniejszymi do dalszego rachunku. Mamy np.

$$\overset{1}{3{,}14} \cdot \overset{08}{2{,}71} = 8{,}5094 + 0{,}00008 = \overset{0271+02512}{8{,}50948} \overset{5222}{\subset} 8{,}5 \overset{0617}{\subset} 8{,}5$$

Jeżeli więc np. boki prostokąta mają długości $\overset{1}{3{,}14}$ m i $\overset{08}{2{,}71}$ m, to pole prostokąta jest równe $8{,}50948$ m^2 czyli w przybliżeniu $\overset{5222}{\overset{07}{8{,}5}}$ m^2.

*) $\operatorname{sgn} x = \begin{cases} -1 & \text{dla } x < 0, \\ 0 & \text{dla } x = 0, \\ 1 & \text{dla } x > 0. \end{cases}$

W rachunkach praktycznych można często wykonywać mnożenie w sposób przybliżony, korzystając ze wzoru

$$\overset{a\ \ b}{A\cdot B}\subset \overset{|A|\,b+a\,|B|+ab}{AB} = \overset{(|A|+a)\,b+a\,|B|}{AB}. \tag{10}$$

Wzór ten wynika ze wzoru (8) na mocy reguły podnoszenia. Mamy mianowicie

$$\overset{a\ \ b}{A\cdot B} = \operatorname{sgn}(AB)\cdot[|AB|+\min(|A|\,b,\ a\,|B|,\ ab)] =$$

$$= AB + \operatorname{sgn}(AB)\cdot\min(|A|\,b,\ a\,|B|,\ ab) \subset \overset{|A|b+a|B|+ab-\min(|A|b,\,a|B|,\,ab)+|\operatorname{sgn}(AB)\cdot\min(|A|b,\,a|B|,\,ab)|}{\subset\quad AB\quad =}$$

$$= \overset{|A|b+a|B|+ab-\min(|A|b,\,a|B|,\,ab)+\min(|A|b,\,a|B|,\,ab)}{AB} = \overset{|A|b+a|B|+ab}{=\quad AB}.$$

Korzystając ze wzoru (10) mamy na przykład:

$$\overset{01\qquad 02}{3{,}1416\cdot 2{,}7183}\subset \overset{3{,}14161\cdot 0{,}00002+2{,}7183\cdot 0{,}00001}{3{,}1416\cdot 2{,}7183}\subset$$

$$\overset{3{,}2\cdot 0{,}00002+2{,}8\cdot 0{,}00001}{\subset\quad 8{,}5398\ldots} \overset{092}{=8{,}5398\ldots}\subset \overset{192}{8{,}5398}\subset \overset{2}{8{,}5398}.$$

Warto podkreślić duże uproszczenie rachunków, gdy korzystamy ze wzoru (8) lub (10). Jeżeli $a \leqslant x \leqslant b$ i $c \leqslant y \leqslant d$, a trzeba oszacować iloczyn xy bez pomocy sformalizowanego rachunku przybliżonego, to rachunek przebiega inaczej w przypadku, kiedy wszystkie liczby a, b, c, d są dodatnie, inaczej, kiedy wszystkie są ujemne, a jeszcze inaczej w innych przypadkach. Wszystkich możliwych przypadków jest 12. Za każdym mnożeniem musimy przeprowadzać rozumowania, mające na celu ustalenie, do którego z dwunastu przypadków należy zaliczyć dane mnożenie, i wykonać obliczenia odpowiednie dla tego przypadku. Wzór (8) pozwala zautomatyzować postępowanie. Jeżeli nie jest wymagana duża dokładność obliczeń, dogodny jest wzór (10). Jest on ścisłym ujęciem znanej reguły o sumowaniu się błędów względnych przy mnożeniu. Reguła ta stosowana zbyt liberalnie może doprowadzać do fałszywych wyników, ponieważ odpowiada ona wzorowi (10) z opuszczonym wyrazem ab w części górnej. Gdy wyraz ab jest mały, to mieści się zazwyczaj w zaokrągleniach szacowanego błędu, ale nie zawsze tak być musi. Wzór (10) zapewnia nam poprawność wyniku.

Mnożenie (8) jest przemienne i łączne, tzn.

$$\overset{a\ \ b}{A\cdot B} = \overset{b\ \ a}{B\cdot A} \quad\text{i}\quad \overset{a\ \ b}{\left(A\cdot B\right)}\cdot\overset{c}{C} = \overset{a}{A}\cdot\overset{b\ \ c}{\left(B\cdot C\right)},$$

nie jest natomiast rozdzielne względem dodawania i odejmowania, tzn. na ogół jest

$$\overset{a}{A}\cdot\overset{b\ \ c}{\left(B+C\right)} \neq \overset{a\ \ b}{A\cdot B}+\overset{a\ \ c}{A\cdot C},\quad \overset{a}{A}\cdot\overset{b\ \ c}{\left(B-C\right)} \neq \overset{a\ \ b}{A\cdot B}-\overset{a\ \ c}{A\cdot C}.$$

Mnożenie ma jednak własność, którą można nazwać słabą rozdzielnością względem dodawania i odejmowania, mianowicie jest

$$\overset{a}{A}\cdot\overset{b\ \ c}{\left(B+C\right)}\subset \overset{a\ \ b}{A\cdot B}+\overset{a\ \ c}{A\cdot C} \quad\text{i}\quad \overset{a}{A}\cdot\overset{b\ \ c}{\left(B-C\right)}\subset \overset{a\ \ b}{A\cdot B}-\overset{a\ \ c}{A\cdot C}$$

Mówimy, że liczba przybliżona $\overset{c}{C}$ jest ilorazem liczb przybliżonych $\overset{a\ \ b}{A}$ i B ($b < |B|$) i piszemy $\overset{a\ \ b\ \ c}{A:B=C}$ wtedy i tylko wtedy, kiedy liczba przybliżona $\overset{c}{C}$, tj. przedział $[C-c,\ C+c]$ jest zbiorem wszystkich liczb postaci $\frac{x}{y}$ gdzie $A-a \leqslant x \leqslant A+a$ i $B-b \leqslant y \leqslant B+b$. Założenie $b < |B|$ jest równoważne założeniu, że $y \neq 0$. Na mocy tej definicji można udowodnić (dowód pomijamy), że

$$\overset{a\ \ b}{A:B} = \overset{0}{\underset{B^2-b^2}{1}}\cdot\overset{a\ \ b}{A\cdot B}. \tag{11}$$

Obliczymy dla przykładu iloraz $\overset{5\ \ 2}{7:8}$. Mamy $\overset{5\ \ 2}{7\cdot 8} = \overset{14}{56} + \overset{40}{+\ 54} + 10 = 66$ i na mocy (11):

$$\overset{5\ \ 2}{7:8} = \overset{0}{\underset{8^2-2^2}{1}}\cdot 66 = \overset{0}{\underset{60}{1}}\cdot\overset{54}{66} = \overset{54}{\underset{60}{66}} = \overset{0{,}9}{1{,}1}.$$

Wynik ten ma prostą interpretację. Liczba przybliżona $\overset{5}{7}$ jest przedziałem $[7-5,\ 7+5]$ czyli przedziałem $[2,\ 12]$. Analogicznie liczba przybliżona $\overset{2}{8}$ jest przedziałem $[6,\ 10]$, a liczba $\overset{0{,}9}{1{,}1}$ przedziałem $[0{,}2,\ 2{,}0]$. Zbiór wszystkich liczb postaci $\frac{x}{y}$, gdzie x leży w przedziale $[2,\ 12]$ a y w przedziale $[6,\ 10]$ jest właśnie przedziałem $[0{,}2,\ 2{,}0]$.

Inny przykład: Jeżeli objętość kawałka metalu o ciężarze $\overset{5}{120}$ gramów wynosi $\overset{4}{15{,}0}$ cm^3, to ciężar właściwy tego metalu w g/cm^3 możemy obliczyć wykonując działanie:

$$\overset{5\ \ 4}{120:15{,}0} = \overset{5\ \ 4}{120\cdot 15{,}0}\cdot\overset{0}{\underset{15^2-0{,}4^2}{1}} = \overset{(120\cdot 0{,}4+5\cdot 15)}{(120\cdot 15+5\cdot 0{,}4)}\cdot\overset{0}{\underset{224{,}84}{1}} =$$

$$= \overset{123}{1802}\cdot\overset{0}{\underset{224{,}84}{1}} = \overset{123}{\underset{224{,}84}{1802}} = \overset{0{,}547\ldots}{8{,}014\ldots}\subset \overset{0{,}549}{8{,}014}\subset \overset{0{,}563}{8}\subset \overset{0{,}6}{8}.$$

Dzielenie (11) — podobnie jak mnożenie (8) — nie jest rozdzielne względem dodawania i odejmowania, ale jest słabo rozdzielne względem tych działań, tzn.

$$\overset{a\ \ b}{\left(A+B\right)}:\overset{c}{C}\subset \overset{a\ \ c}{A:C}+\overset{b\ \ c}{B:C} \quad\text{i}\quad \overset{a\ \ b}{\left(A-B\right)}:\overset{c}{C}\subset \overset{a\ \ c}{A:C}-\overset{b\ \ c}{B:C}.$$

Dzielenie (11) nie jest też działaniem odwrotnym do mnożenia, gdyż $\overset{a\ \ b}{\left(A:B\right)}\cdot\overset{b}{B} \neq \overset{a}{A}$. Jest to wynikiem nieodwracalnego procesu narastania błędów z każdym nowym działaniem. Można jednak wykazać, że $\overset{a}{A}\subset\overset{a\ \ b}{\left(A:B\right)}\cdot\overset{b}{B}$.

W rachunkach praktycznych często można wykonywać dzielenie w sposób przybliżony według następującego wzoru:

$$\overset{a\ \ b}{A:B}\subset \frac{a+\left|\frac{A}{B}\right|b}{|B|-b}\Big/\frac{A}{B} \tag{12}$$

Wzór ten wynika ze wzorów (11) i (10) na mocy reguły podnoszenia. Jest on ścisłym ujęciem znanej reguły sumowania błędów względnych przy dzieleniu. Regułę tę otrzymujemy ze wzoru (12) opuszczając w mianowniku części górnej ilorazu składnik $-b$. Otrzymujemy wtedy błąd względny ilorazu:

$$\frac{a+\left|\frac{A}{B}\right|b}{|B|}\Big/\left|\frac{A}{B}\right| = \frac{a}{|A|}+\frac{b}{|B|}.$$

Opuszczenie wyrazu $-b$ w mianowniku części górnej ilorazu rekompensuje się w przypadku dostatecznie małego b zaokrągleniami wyników obliczeń, ale nie zawsze tak być musi. Wzór (12) zapewnia zawsze poprawność wyniku i jest ponadto prostszy od wspomnianej reguły.

Obliczymy dla przykładu przybliżenie ilorazu $\overset{05\ \ 08}{981{,}22:27{,}1}$. Na mocy wzoru (12) oraz reguł podnoszenia i rozszerzania otrzymujemy kolejno:

$$\overset{05\ \ 08}{981{,}22:27{,}1}\subset \frac{0{,}005+(36{,}207\ldots)\,0{,}08}{27{,}02}\Big/\frac{36{,}207\ldots}{27{,}02} \subset \frac{0{,}005+36{,}21\cdot 0{,}08}{27{,}02}\Big/\frac{36{,}207\ldots}{27{,}02}\subset$$

$$\subset \overset{0{,}108}{36{,}207\ldots}\subset \overset{0{,}116}{36{,}2}\subset \overset{0{,}12}{36{,}2}.$$

Wzorami (5), (7), (8) i (11) określone są cztery działania arytmetyczne na liczbach przybliżonych. Gdy części górne liczb przybliżonych, na których wykonuje się te działania, są zerami i liczby przybliżone identyfikujemy z ich częściami dolnymi, działania te przechodzą w zwykłe działania arytmetyczne na zwykłych liczbach. Na mocy wzoru (5) mamy bowiem $\overset{0}{A}+\overset{0}{B}=\overset{0}{A+B}$, czyli $A+B=A+B$, na mocy wzoru (7) mamy $\overset{0}{A}-\overset{0}{B}=\overset{0}{A-B}$, czyli $A-B=A-B$, na mocy wzoru (8) mamy $\overset{0}{A}\cdot\overset{0}{B}=\overset{0}{AB+0}=\overset{0}{AB}$, czyli $A\cdot B=AB$, a na mocy wzoru (11) dla $\overset{0}{B}\neq 0$ mamy: $A:B=\overset{0}{\frac{1}{B^2-O^2}}\cdot\overset{0}{A}\cdot\overset{0}{B}=\overset{0}{\frac{1}{B^2}}\cdot\overset{0}{AB}=\overset{0}{\frac{AB}{B^2}+0}=\overset{0}{\frac{A}{B}}$, czyli $A:B=\frac{A}{B}$. Zatem działania arytmetyczne na liczbach przybliżonych są uogólnieniem działań na zwykłych liczbach, podobnie jak pojęcie liczby przybliżonej jest uogólnieniem pojęcia liczby.

Gdy tylko jedna z liczb przybliżonych, na których wykonuje się działanie, redukuje się do liczby zwykłej, działanie przebiega prościej, niż w przypadku ogólnym. Łatwo sprawdzić prawdziwość następujących wzorów:

$$\overset{a}{A}+B=\overset{a}{A+B};\quad \overset{a}{A}-B=\overset{a}{A-B};\quad \overset{a}{A}+0=\overset{a}{A};\quad \overset{a}{A}-0=\overset{a}{A};$$

$$\overset{a}{B}\cdot A=\overset{|B|a}{BA};\quad 1\cdot\overset{a}{A}=\overset{a}{A};\quad 0\cdot\overset{a}{A}=0;$$

$$\overset{a}{A}:B=\frac{\overset{a}{\frac{|B|}{A}}}{B}\ (B\neq 0);\quad \overset{a}{A}:1=\overset{a}{A};\quad B:\overset{a}{A}=\frac{\overset{|B|a}{\frac{BA}{A^2-a^2}}}{A^2-a^2}\quad (a<|A|);$$

$$0:\overset{a}{A}=0\ (a<|A|),\quad 1:\overset{a}{A}=\frac{\overset{a}{\frac{A}{A^2-a^2}}}{A^2-a^2}\quad (a<|A|).$$

Na przybliżeniach można wykonywać podobne działania, jak na równościach. Mamy np. następujące twierdzenia (dowody pomijamy):

Jeżeli $\overset{a_1}{A_1}\subset\overset{b_1}{B_1},\ \overset{a_2}{A_2}\subset\overset{b_2}{B_2},\ \ldots,\ \overset{a_n}{A_n}\subset\overset{b_n}{B_n}$,

to $\overset{a_1}{A_1}+\overset{a_2}{A_2}+\ldots+\overset{a_n}{A_n}\subset\overset{b_1}{B_1}+\overset{b_2}{B_2}+\ldots+\overset{b_n}{B_n}$,

oraz $\overset{a_1}{A_1}\cdot\overset{a_2}{A_2}\cdot\ldots\cdot\overset{a_n}{A_n}\subset\overset{b_1}{B_1}\cdot\overset{b_2}{B_2}\cdot\ldots\cdot\overset{b_n}{B_n}$.

W szczególności, jeżeli $\overset{a}{A}\subset\overset{b}{B}$, to $\overset{a}{A}+\overset{c}{C}\subset\overset{b}{B}+\overset{c}{C}$ i $\overset{a}{A}\cdot\overset{c}{C}\subset\overset{b}{B}\cdot\overset{c}{C}$. Ponadto jest również $\overset{a}{A}:\overset{c}{C}\subset\overset{b}{B}:\overset{c}{C}$ oraz $\overset{c}{C}:\overset{a}{A}\subset\overset{c}{C}:\overset{b}{B}$ (przy założeniu wykonalności dzielenia). Jeżeli $\overset{a}{A}\subset\overset{c}{B}$ i $\overset{d}{C}\subset D$, to $\overset{a}{A}+\overset{c}{C}\subset\overset{b}{B}+\overset{d}{D}$, $\overset{a}{A}-\overset{c}{C}\subset\overset{b}{B}-\overset{d}{D}$, $\overset{c}{C}-\overset{a}{A}\subset\overset{d}{D}-\overset{b}{B}$, $\overset{a}{A}\cdot\overset{c}{C}\subset\overset{b}{B}\cdot\overset{d}{D}$, $\overset{a}{A}:\overset{c}{C}\subset\overset{b}{B}:\overset{d}{D}$, $\overset{c}{C}:\overset{a}{A}\subset\overset{d}{D}:\overset{b}{B}$.

Na zakończenie niniejszego artykułu rozpatrzymy jeszcze dwa proste przykłady zastosowania podanych wyżej wiadomości z rachunku przybliżonego.

P r z y k ł a d 1. Opory $\overset{1}{R_1}=3{,}2\ \Omega$, $\overset{2}{R_2}=4{,}8\ \Omega$, $\overset{05}{R_3}=1{,}8\ \Omega$ połączono równolegle. Należy obliczyć opór wypadkowy R.

Wykonujemy obliczenia według znanego wzoru $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$. Mamy kolejno:

$$\frac{1}{\overset{1}{R_1}}=1:3{,}2=\frac{\overset{0{,}1}{\frac{3{,}2}{3{,}2^2-0{,}1^2}}}{3{,}2^2-0{,}1^2}=\overset{10}{0{,}3128\ldots}\subset 0{,}313,$$

$$\frac{1}{\overset{2}{R_2}}=1:4{,}8=\frac{\overset{0{,}2}{\frac{4{,}8}{4{,}8^2-0{,}2^2}}}{4{,}8^2-0{,}2^2}=\overset{10}{0{,}2086\ldots}\subset 0{,}209,$$

$$\frac{1}{\overset{05}{R_3}}=1:1{,}8=\frac{\overset{0{,}05}{\frac{1{,}8}{1{,}8^2-0{,}05^2}}}{1{,}8^2-0{,}05^2}=\overset{16}{0{,}5559\ldots}\subset 0{,}556,$$

$$\frac{1}{R}\subset\overset{10}{0{,}313}+\overset{10}{0{,}209}+\overset{16}{0{,}556}=\overset{36}{1{,}078}.$$

$$R\subset 1:1{,}078=\frac{\overset{0{,}036}{\frac{1{,}078}{1{,}078^2-0{,}036^2}}}{1{,}078^2-0{,}036^2}=\overset{33}{0{,}0286\ldots}\subset 0{,}93\ (\Omega).$$

P r z y k ł a d 2. Jakie powinno być napięcie $\overset{u}{U}$ (woltów) na końcówkach oporu $\overset{r}{R}=0{,}55\ \Omega$, aby dla prądu $\overset{i}{I}$ płynącego przez ten opór spełnione było ograniczenie $\overset{i}{I}\subset 0{,}01$ A?

Powinno być:

$$\overset{i}{I}=\frac{\overset{u}{U}}{0{,}55}\subset\overset{3}{0{,}01},$$

czyli na mocy wzoru (11)

$$\overset{u}{U}\cdot 0{,}55\cdot\frac{1}{0{,}55^2-0{,}02^2}\subset\overset{3}{0{,}01},$$

skąd

$$\overset{u}{U}\cdot\overset{0{,}0662\ldots}{1{,}8205\ldots}\subset\overset{3}{0{,}01}.$$

Jeżeli założymy, że $u>|U|$, czyli jeżeli dopuścimy możliwość że napięcie będzie równe zeru, to na mocy wzoru (8) powinno być

$$\begin{matrix}(1{,}8205\ldots)\,u+(0{,}0662\ldots)\,u\\(1{,}8205\ldots)\,U+(0{,}0662\ldots)\,U\end{matrix}\subset\overset{3}{0{,}01},$$

czyli

$$\begin{matrix}(1{,}886\ldots)\,u\\(1{,}886\ldots)\,U\end{matrix}\subset\overset{3}{0{,}01},$$

czyli

$$(1{,}886\ldots)\cdot\overset{u}{U}\subset\overset{3}{0{,}01},$$

skąd

$$\overset{u}{U}\subset 0{,}01:1{,}886\ldots=\overset{159\ldots}{0{,}0053\ldots}$$

Aby ta zależność była spełniona, wystarczy przyjąć, że

$$\overset{u}{U}\subset\overset{158}{0{,}0053},\quad\text{gdyż}\quad\overset{158}{0{,}0053}\subset\overset{159\ldots}{0{,}0053\ldots}.$$

W artykule niniejszym podano wstępne wiadomości z algebry liczb przybliżonych, rachunek zaś przybliżony jest już znacznie szerszą teorią, obejmującą również analizę funkcyj zmiennej przybliżonej. Ciekawe są zwłaszcza analogie między rachunkiem liczb przybliżonych a rachunkiem liczb zespolonych.

Aby stosowanie sformalizowanego rachunku przybliżonego mogło się opłacać, konieczna jest, oczywiście, pewna wprawa w wykonywaniu typowych działań. Z działań trudniejszych korzysta się za pośrednictwem wzorów, tak, jak we wszystkich zresztą rachunkach. Sformalizowany rachunek przybliżony wyrósł z praktyki rachunkowej i dla niej jest głównie przeznaczony. Oddaje on cenne usługi we wszystkich dziedzinach, w których stosuje się metody numeryczne.

MGR INŻ. Z. KOŁODZIEJCZYK
Polski Komitet Normalizacyjny

Normalizacja w zakresie materiałów stosowanych w elektrotechnice

658.516:621.315:621.312

Treść. Przyczyny otrzymywania przez przemysł elektro techniczny materiałów złej jakości i wynikające stąd trudności. Propozycje zmian organizacyjnych, które mogą przyczynić się do poprawy obecnego stanu rzeczy.

Masowe stosowanie energii elektrycznej w każdej dziedzinie — w przemyśle, rolnictwie, gospodarstwie domowym, lecznictwie itd. — nakłada specjalne obowiązki na przemysł elektrotechniczny, który produkuje poszczególne wyroby lub całe urządzenia.

Wyroby i urządzenia elektryczne muszą nie tylko zapewniać właściwe działanie, ale również gwarantować całkowite bezpieczeństwo obsłudze i użytkownikowi. Ponadto jest wymagane oszczędne zużycie energii elektrycznej. Spełnienie wymienionych wymagań przez wyroby i urządzenia elektryczne zależy — poza właściwym rozwiązaniem konstrukcyjnym i starannością wykonania — również od jakości materiałów użytych do ich wykonania.

Dostawcami materiałów dla przemysłu elektrotechnicznego są różne zakłady produkcyjne różnych przemysłów, jak szklarskiego, papierniczego, hutniczego, chemicznego i innych, o najróżniejszej technice i doświadczeniu produkcyjnym. Ilości poszczególnych materiałów zużywanych przez przemysł elektrotechniczny są w stosunku do produkcji niektórych przemysłów niewielkie, ale wymagania stawiane materiałom są bardzo wysokie. Te dwie okoliczności stwarzają poważne trudności zarówno w produkcji wyrobów elektrotechnicznych, jak i przy ustalaniu norm na materiały.

Produkowanie materiałów w różnych zakładach powoduje różną jakość tych samych materiałów i chęć ustalenia norm według swoich zdolności produkcyjnych, natomiast małe zapotrzebowanie przez przemysł elektrotechniczny niektórych materiałów w stosunku do zasadniczej produkcji poszczególnych przemysłów powoduje, że potrzeby przemysłu elektrotechnicznego nie są traktowane tak, jak być powinno.

Z powyższych względów ogólnie przyjęta zasada, że normę opracowuje producent, jest w tym przypadku niesłuszna, gdyż przemysł elektrotechniczny zawsze będzie odczuwał trudności w otrzymywaniu materiałów żądanej jakości, jeżeli o opracowaniu normy czy warunków technicznych na te materiały będzie decydował producent nie związany z przemysłem elektrotechnicznym.

Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenie należałoby wyciągnąć zasadnicze wnioski, których zrealizowanie zmniejszyłoby trudności przemysłu elektrotechnicznego w zakresie zaopatrywania go w materiały właściwej jakości i jednocześnie przyczyniłoby się do podwyższenia jakości wyrobów przemysłu elektrotechnicznego.

W celu uzdrowienia obecnej sytuacji należałoby w poszczególnych przemysłach wydzielić określone zakłady lub działy, które będą produkować materiały tylko dla przemysłu elektrotechnicznego, lub też poszczególne zakłady podporządkować organizacyjnie odpowiednim działom przemysłu elektrotechnicznego i przydzielić im produkcję ściśle związaną z danym działem przemysłu elektrotechnicznego.

Zagadnienia produkcji są nierozerwalnie związane z normalizacją, a dla przemysłu elektrotechnicznego normalizacja materiałów jest jednym z najważniejszych zagadnień.

Stan obecny, kiedy przemysły produkujące materiały dla elektrotechniki nie dotrzymują wymagań przemysłu elektrotechnicznego, musi ulec gruntownej zmianie.

Normalizacją materiałów stosowanych w elektrotechnice, które powinny odpowiadać specjalnym wymaganiom technicznym i powinny być wytwarzane według odrębnych procesów technologicznych, jak np. papier kablowy, powinien zająć się przemysł elektrotechniczny przy ścisłej współpracy z producentem materiałów. Natomiast normalizacją materiałów, które mogą być stosowane w elektrotechnice w tym samym stanie, w jakim je stosują inne przemysły, powinien się zająć producent materiałów.

Obecny stan normalizacji na szczeblu państwowym w zakresie materiałów stosowanych w elektrotechnice jest niezadowalający. Istnieją normy na oleje izolacyjne transformatorowe, zalewy kablowe, blachy magnetyczne transformatorowe i prądnicowe oraz metody pomiarów stratności tych blach.

Poza tym w stadium mniej lub więcej zaawansowanym znajduje się szereg projektów norm, rozpoczętych przez dawne komisje SEP i PKN, a obecnie kończonych w większości w ramach normalizacji resortowej, z których najważniejsze są: metody badań własności elektrycznych materiałów elektroizolacyjnych stałych, przepisy ogólne na elektroizolacyjne materiały ceramiczne oraz metody badań tych materiałów, metody badań lakierów elektroizolacyjnych, tkaniny izolacyjne bawełniane i jedwabne, preszpan elektrotechniczny.

Byłoby rzeczą właściwą zastanowić się na obecnej konferencji nad drogami poprawy dotychczasowego niezadowalającego stanu normalizacji w zakresie materiałów elektrotechnicznych i ustalić wytyczne postępowania na najbliższą przyszłość.

Opracowywany obecnie wieloletni plan w zakresie normalizacji powinien objąć te wszystkie zagadnienia, które dla przemysłu elektrotechnicznego w zakresie materiałów są najważniejsze. Przy opracowywaniu norm należy wykorzystać normy radzieckie, dostosowując je do naszych możliwości surowcowych, jak również należy korzystać z materiałów posiadanych przez PKN w zakresie normalizacji międzynarodowej, a w szczególności z prac normalizacyjnych Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (CEI), która swoim zasięgiem obejmuje dziesiątki państw, i brać czynny udział w jej pracach.

Należy mieć nadzieję, że po powstaniu komisji, które mają oceniać merytorycznie normy i są obecnie powoływane w resortach na podstawie Uchwały Rządu, sytuacja zmieni się na lepsze, gdyż do komisji tych będą powoływani ludzie o dużym doświadczeniu zawodowym i dużym zasobie wiedzy, którzy będą czuwali nad tym, aby resorty opracowywały najważniejsze normy i aby ich poziom był naprawdę zadowalający.

DR. BRONISŁAW PILAWSKI
z. prof Politechniki Wrocławskiej

Uwagi o trudnościach przy realizowaniu postępu technicznego w przedsiębiorstwie[1])

658.5:347.77:338.983

Treść. Przyczyny trudności, występujących przy wprowadzaniu postępu technicznego w przedsiębiorstwie: błędna polityka na odcinku norm, nieuciekanie się do bodźców materialnego zainteresowania wśród załogi, niedostateczne zaktywizowanie ruchu racjonalizatorskiego, zbyt słabe powiązanie autorów nowych koncepcji technicznych z zakładem, w którym koncepcja ta jest urzeczywistniana, brak kalkulacji w odniesieniu do całokształtu kosztów próbnej produkcji.

1. Wstęp.

Realizowanie postępu technicznego w przedsiębiorstwie bardzo często napotyka trudności. Są one tak liczne i tak różnorodne, jak rozmaita jest praktyka w przedsiębiorstwie. Spośród tych trudności można wymienić jako często spotykane: 1) niewłaściwe ustawienie norm podczas wprowadzania maszyn nowej konstrukcji, 2) niewłaściwe wynagradzanie załogi w wypadku, gdy wprowadzane są zmiany, dotyczące całokształtu procesu technologicznego w przedsiębiorstwie, 3) niedostateczne zmobilizowanie załogi w ramach akcji racjonalizatorskiej, 4) niedostateczne zainteresowanie autora koncep-

[1]) Referat niniejszy opracowano z inicjatywy prof. dra inż. J. Skowrońskiego na podstawie wniosków z materiałów, zebranych w ramach współpracy Katedry wysokich napięć z Katedrą ekonomiki, organizacji i planowania Politechniki Wrocławskiej. *(B. P.)*

cji technicznej przebiegiem urzeczywistnienia jego koncepcji w przedsiębiorstwie. Dalszą poważną przeszkodą w urzeczywistnianiu postępu technicznego bywa często niedostateczne przeanalizowanie ekonomicznych następstw zmiany technologii z punktu widzenia ekonomiki danego przedsiębiorstwa.

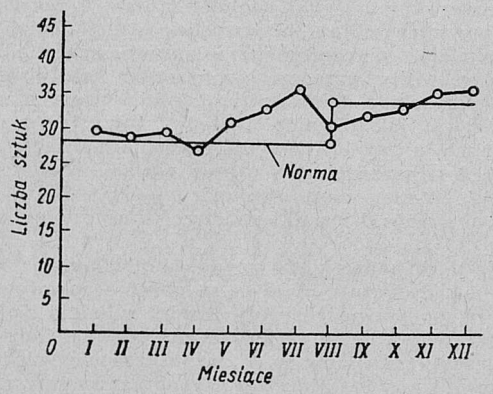
2. Maszyny nowej konstrukcji a normy pracy w przedsiębiorstwie.

Przy wprowadzaniu w przedsiębiorstwie maszyn nowej konstrukcji wyłania się zagadnienie właściwego wyznaczenia norm dla robotników, którzy na tych maszynach mają pracować. Jest to zagadnienie bardzo złożone i trudne. Pochopnie podejmowane decyzje w tym względzie mogą spowodować duże straty. Należyte ocenienie wagi tego zagadnienia, staranne przygotowanie każdej decyzji w tych sprawach, dokładne trzymanie się pewnej linii postępowania umożliwiają szybkie i łatwe wprowadzenie nowych maszyn, przysparzają korzyści zarówno załodze, jak przedsiębiorstwu i społeczeństwu. Ilustrują to następujące przykłady.

W jednym z przedsiębiorstw wrocławskich w marcu 1954 roku wprowadzono na jednym wydziale maszyny nowej konstrukcji, umożliwiające zarówno poprawę jakości produkowanych wyrobów (części), jak i skrócenie czasu niezbędnego na wykonanie jednej części. Na wydziale tym przed wprowadzeniem nowych maszyn norma wynosiła 28 części na 8 godzin. Wobec zaszeregowania robotników, pracujących na tych stanowiskach, do grupy IX o stawce godzinowej 4,93 zł wynagrodzenie za wykonanie jednej sztuki wynosiło 1,41 zł. Po sprowadzeniu nowych maszyn norma pozostawała w tym przedsiębiorstwie niezmieniona przez okres pięciu miesięcy. W sierpniu normę podwyższono na 35 sztuk w ciągu 8 godzin. Nowe wynagrodzenie za wykonanie jednej sztuki wyniosło więc 1,07 zł.

Przeciętna dzienna wydajność jednego robotnika kształtowała się wówczas na tym wydziale w sposób podany na rys. 1.

W tym samym przedsiębiorstwie w lipcu 1954 r. zainstalowano nowe maszyny na pozostałych pięciu stanowiskach, pracujących dotąd jeszcze w starych warunkach. Na tych pięciu stanowiskach wprowadzono normy takie same, jak na stanowiskach poprzednich, gdzie nowe maszyny pracowały już od marca, co znaczy, że do lipca obowiązywała tu norma 28 sztuk na 8 godzin, a od sierpnia obowiązywała norma 35 sztuk. Przeciętna dzienna wydajność pracy na każdym z pięciu ostatnio



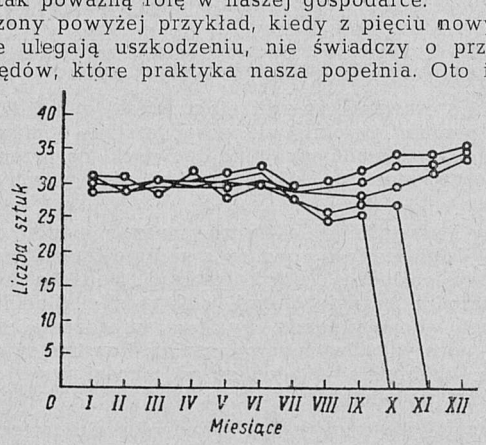
Rys. 1. Wydajność pracy w pierwszym przedsiębiorstwie na stanowiskach, na których nowe maszyny wprowadzono w marcu, a normy zmieniono w sierpniu

wymienionych stanowisk roboczych kształtowała się w sposób podany na rys. 2. Na dwóch spośród pięciu stanowisk roboczych powstały zaburzenia w pracy, wskutek czego wydajność kształtowała się tu bardzo niepomyślnie. Zamiast wyzyskania nowych maszyn, zamiast osiągnięcia większych korzyści niż poprzednio, otrzymano straty.

Mogłoby się wydawać, że przedstawiony przykład jest w praktyce raczej wyjątkiem i że nie jest on typowym przykładem dla zilustrowania zagadnienia kształtowania się norm podczas wprowadzania maszyn nowej konstrukcji. Tak jednak nie jest. Przykład powyższy jest, niestety, dla praktyki naszej typowy. Oto znamienna w tym względzie wypowiedź.

Na II Zjeździe Polskiej Zjednoczonej Partii Robotniczej w marcu 1954 roku w referacie wicepremiera Hilarego Minca „Główne zadania gospodarcze dwóch ostatnich lat (1954—1955) Planu Sześcioletniego", takie padło sformułowanie: „W kopalniach węgla nikłe jest wykorzystanie parku kombajnów, bo — wstyd powiedzieć — pracuje zaledwie jedna trzecia część" [2]). A więc dwie trzecie maszyn — nowoczesnych, drogich, przeważnie pochodzących z importu — są niewykorzystane; a więc znaczna strata w przemyśle węglowym, który odgrywa tak poważną rolę w naszej gospodarce.

Przytoczony powyżej przykład, kiedy z pięciu nowych maszyn dwie ulegają uszkodzeniu, nie świadczy o przejaskrawieniu błędów, które praktyka nasza popełnia. Oto inny je-

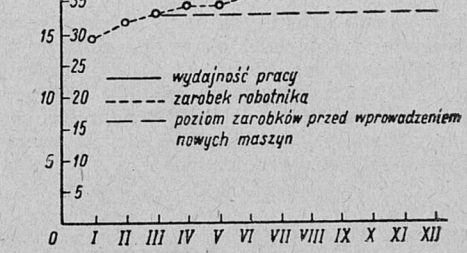


Rys. 2. Wydajność pracy w pierwszym przedsiębiorstwie na stanowiskach, na których nowe maszyny wprowadzono w lipcu, a normy zmieniono w sierpniu

szcze meldunek: w marcu 1955 roku w kopalni „Zabrze-Zachód" na pięć kombajnów, którymi dysponuje ten zakład, cztery leżały w zawale [3]).

Przyczyny tego stanu są liczne. W wielu przypadkach nowe maszyny wymagają znacznego podniesienia przygotowania technicznego załogi, wymagają też zmiany w organizacji procesu produkcyjnego. W pewnych przypadkach nowe maszyny mogą być nieodpowiednie dla danego przedsiębiorstwa, a w innych nowe maszyny mogą być nawet wadliwie zbudowane. Niezależnie jednak od wymienionych przyczyn częstą przyczyną — wydaje się — bywa brak odpowiedniego kształtowania się norm podczas zmiany procesu technologicznego.

W jednym z przedsiębiorstw przyjęto zasadę, że przy wprowadzaniu nowego procesu technologicznego należy stosować różne współczynniki łagodzące względnie zaostrzające normę, by zarobek robotnika podejmującego pracę na nowej maszynie nie ulegał obniżeniu w porównaniu ze stanem sprzed wprowadzenia nowych maszyn. W przedsiębiorstwie tym po zmianie procesu technologicznego przeciętna wydajność robotnika i przeciętne wynagrodzenie tego robotnika w poszczegól-



Rys. 3. Wydajność pracy i zarobki w drugim przedsiębiorstwie, w którym przyjęto zasadę niedopuszczenia spadku zarobków poniżej stanu, który był przed wprowadzeniem nowych maszyn

nych miesiącach przebiegały tak, jak pokazano na rys. 3. W przedsiębiorstwie tym nowe maszyny zostały wprowadzone szybko i bez większych trudności.

Wyłania się pytanie, który z przedstawionych na powyższych trzech wykresach sposobów postępowania powinien być najbardziej zalecany.

By na to pytanie odpowiedzieć, należy trzy przedstawione wyżej sposoby postępowania sprowadzić do „wspólnego mianownika", to znaczy należy przyjąć, że zastosowano je nie

[2]) Minc H. Główne zadania gospodarcze dwóch ostatnich lat (1954—1955) Planu 6-letniego (Nowe Drogi, 1954, z. 3, str. 120).

[3]) „Wielkie rezerwy wydajności" (Tryb. Ludu, 14.III.55, nr 71, artykuł wstępny).

w dwóch różnych przedsiębiorstwach, lecz w jednym, że sposoby te są stosowane równocześnie na analogicznych stanowiskach pracy oraz, że — dla uproszczenia obrazu — zmiany w wydajności pracy dokonują się w pewnych zaokrąglonych wielkościach. Starając się więc podkreślić dostrzeżone w praktyce tendencje oraz zmierzając do uproszczenia materiału liczbowego, można przyjąć założenia charakteryzujące trzy różne sposoby rozwiązania do trzech przykładów podanych w tabl. I, II i III.

Obraz kształtowania się przeciętnej dziennej wydajności i przeciętnego dziennego zarobku jednego robotnika według

Tablica I. Rozwiązanie pierwsze: norma dawna 40 sztuk w ciągu 8 godzin; wynagrodzenie za sztukę przy stałym zaszeregowaniu robotnika do grupy VIII o stawce 3,75 zł/godz. wynosi (3,75·8) : 40 = 0,75 zł

Miesiąc	Przeciętne dzienne wykonanie	Przeciętne dzienne wykonanie normy	Przeciętny zarobek dzienny
Styczeń	40 szt.	100%	30.— zł
Luty	44 „	110 „	33.— „
Nowe maszyny			
Marzec	36 szt.	90%	27.— zł
Kwiecień	38 „	95 „	28,50 „
Maj	40 „	100 „	30.— „
Czerwiec	44 „	110 „	33.— „
Lipiec	48 „	120 „	36.— „
Sierpień	52 „	130 „	39.— „
Wrzesień	56 „	140 „	42.— „
Październik	60 „	150 „	45.— „
Norma nowa: 52 szt. w ciągu 8 godz., wynagr. (3,75·8) : 52 = = 0,58 zł/szt.			
Listopad	48 szt.	92%	27,84 zł
Grudzień	52 „	100 „	30,16 „

trzech metod postępowania, podanych w tych tablicach, jest podany w sposób wykreślony na rys. 4 i 5. Przy trzecim rozwiązaniu brak na wykresie dużych skoków. Krzywa wydajności pracy, jak i krzywa zarobków, nie sięgają tych granicznych punktów, które występują w pierwszym i drugim rozwiązaniu. Ponadto w trzecim rozwiązaniu przeciętny dzienny zarobek robotnika nigdy nie spada poniżej poziomu, który był przed wprowadzeniem nowych maszyn (zarobek ten zawsze przekracza 33 zł dziennie).

Tablica II. Rozwiązanie drugie: norma dawna 40 sztuk w ciągu 8 godzin; wynagrodzenie za sztukę przy stałym zaszeregowaniu robotnika do grupy VIII o stawce 3,75 zł/godz. wynosi (3,75·8) : 40 = 0,75 zł

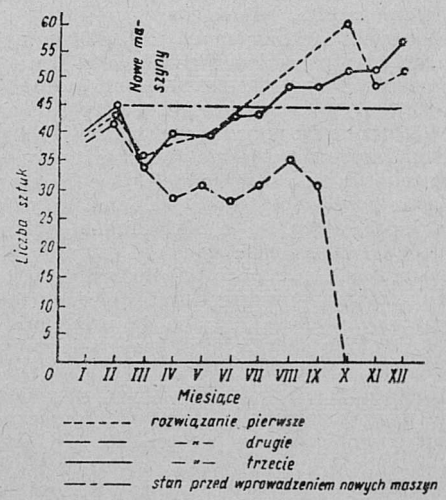
Miesiąc	Przeciętne dzienne wykonanie	Przeciętne dzienne wykonanie normy	Przeciętny dzienny zarobek
Styczeń	40 szt.	100%	30.— zł
Luty	44 „	110 „	33.— „
Nowe maszyny			
Marzec	36 szt.	90%	27.— zł
Norma nowa: 52 szt. w ciągu 8 godz.; wynagr. (3,75 · 8) : 52 = 0,58 zł/szt.			
Kwiecień	28 szt.	54%	16,24 zł
Maj	32 „	61 „	18,56 „
Czerwiec	28 „	54 „	16,24 „
Lipiec	32 „	61 „	18,56 „
Sierpień	36 „	69 „	20,88 „
Wrzesień	32 „	61 „	18,56 „
Październik	awaria		

Tablica III. Rozwiązanie trzecie: norma 40 sztuk w ciągu 8 godzin; wynagrodzenie za sztukę (3,75·8 : 40 = 0,75 zł

Miesiąc	Przeciętne dzienne wykonanie	Przeciętne dzienne wykonanie normy	Przeciętny dzienny zarobek
Styczeń	40 szt.	100%	30.— zł
Luty	44 „	110 „	33.— „
Nowe maszyny: norma nowa: 28 szt. w ciągu 8 godz.; wynagrodzenie zą sztukę (3,75 · 8) : 28 = 1,07 zł.			
Marzec	34 szt.	121%	36,38 zł
Kwiecień	40 „	143 „	42,80 „
Norma 32 szt. w ciągu 8 godz.; wynagrodzenie za sztukę (3,75 · 8) : 32 = 0,94 zł.			
Maj	40 szt.	125%	37,60 zł
Czerwiec	44 „	137 „	41,36 „
Norma 36 szt. w ciągu 8 godz.; wynagrodzenie za sztukę (3,75 8) : 36 = 0,83 zł.			
Lipiec	44 szt.	122%	36,52 zł
Sierpień	48 „	133 „	39,84 „
Norma 40 szt. w ciągu 8 godz.; wynagrodzenie za sztukę (3,75 · 8) : 40 = 0,75 zł.			
Wrzesień	48 szt.	120%	36.— zł
Październik	52 „	130 „	39.— „
Norma 44 szt. w ciągu 8 godz.; wynagrodzenie za sztukę (3,75 · 8) : 44 = 0,68 zł.			
Listopad	52 szt.	118%	35,36 zł
Grudzień	56 „	127 „	38,08 „

Omówione wyżej trzy różne rozwiązania przy wprowadzaniu nowych maszyn w przedsiębiorstwie sprowadzają się do trzech różnych sposobów ustalania norm i — co za tym idzie — do trzech różnych wyników w dziedzinie wydajności i zarobków robotnika.

Mogłoby się wydawać, że przedstawione trzy różne rozwiązania są wykładnikiem jakichś trzech różnych i sprzecznych

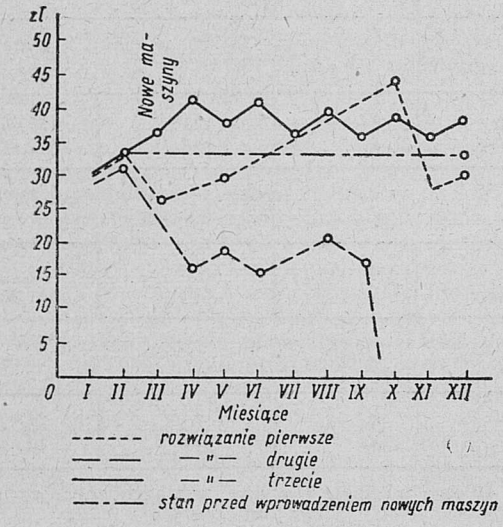


Rys. 4. Przeciętna dzienna wydajność pracy przy trzech różnych rozwiązaniach sprawy norm

między sobą punktów widzenia a mianowicie punktu widzenia „dobra robotnika", „dobra przedsiębiorstwa", i „dobra społeczeństwa". Pogląd taki byłby całkowicie błędny. W gospodarce socjalistycznej nie ma różnicy i nie ma sprzeczności między dobrem robotnika, przedsiębiorstwa i społeczeństwa. Oceniając trzy różne metody postępowania przy wprowadza-

niu nowych procesów technologicznych można dojść do wniosku, że tylko jedna metoda jest słuszna, a jeśli jest słuszna, oznacza to, że jest zgodna zarówno z dobrem społeczeństwa, jak i z dobrem przedsiębiorstwa, które jest własnością społeczeństwa, jak i z dobrem robotnika, który wespół z innymi to społeczeństwo tworzy.

Na podstawie danych liczbowych z trzech powyższych rozważań należy ustalić, jak wielką roczną produkcję daje jeden robotnik w ciągu roku przy poszczególnych metodach,



Rys. 5. Przeciętny dzienny zarobek przy trzech różnych rozwiązaniach sprawy norm

a także jak wielki jest jego roczny zarobek oraz ile przeciętnie zarabiał on na jednej sztuce przy każdej z trzech metod.

Sumując przeciętne dzienne wydajności pracy z poszczególnych miesięcy i mnożąc je następnie przez przeciętną liczbę dni roboczych w miesiącu (25 dni) oraz postępując analogicznie w stosunku do zarobków, dochodzi się do następujących wyników:

a) pierwsze rozwiązanie: w ciągu roku jeden robotnik wyprodukował 13 950 sztuk wyrobów, zarobił łącznie 10 037,50 zł, zarabiał na jednej sztuce 0,72 zł;

b) drugie rozwiązanie: w ciągu roku jeden robotnik wyprodukował 7700 sztuk wyrobów, w ciągu 9 miesięcy zarobił łącznie 4976 zł i zarabiał na jednej sztuce 0,65 zł;

c) trzecie rozwiązanie: w ciągu roku jeden robotnik wyprodukował 13 550 sztuk wyrobów, zarobił łącznie 11 148,50 zł, zarabiał na jednej sztuce 0,82 zł.

Oceniając w świetle otrzymanych liczb każdą z metod rozwiązania widać od razu, że rozwiązanie określone jako „drugie" należy odrzucić. Przy tym rozwiązaniu gospodarka narodowa, zmierzająca do maksymalnego zaspokojenia potrzeb społeczeństwa, otrzymuje najmniejszą ilość wyrobów, robotnik zarabia najmniej zarówno łącznie (pracuje tylko przez okres dziewięciu miesięcy), jak i na jednej sztuce, i wreszcie przy tym rozwiązaniu przedsiębiorstwo jest narażone na te wszystkie kłopoty, które wiążą się z zakłóceniami pracy, ze zniechęceniem załogi i płynnością kadr.

Zadecydowanie, która z pozostałych metod jest lepsza — pierwsza czy trzecia — wymaga już głębszej analizy. Na pierwszy rzut oka wydawałoby się, że występuje tu pewna „sprzeczność". Według metody pierwszej społeczeństwo otrzymuje od jednego robotnika więcej wyrobów (13 950 sztuk) niż według metody trzeciej (13 550 sztuk), natomiast robotnik zarabia lepiej przy rozwiązaniu „trzecim". Sprzeczność ta jest jednak pozorna, społeczeństwo bowiem nie jest zainteresowane w tym, by j e d e n robotnik wykazywał dużą wydajność, lecz by dużą wydajność wykazywał ogół robotników. I dalej, społeczeństwo jest zainteresowane nie tylko w otrzymywaniu dużej ilości wyrobów, lecz również w ich dobrej jakości. I tu tkwi wyjaśnienie tej „sprzeczności".

Przy obraniu rozwiązania „trzeciego" jest większe prawdopodobieństwo, że do pracy na tej nowej maszynie będzie się garnąć większa liczba robotników. Jest bardziej prawdopodobne, że nawet wtedy, kiedy ilość pracujących przy maszynie jest ograniczona, powstanie tendencja do uruchomienia tej maszyny na dwie zmiany. Przy tym rozwiązaniu jest również bardziej prawdopodobne, że lepiej wynagradzany robotnik da lepszą jakość wyrobów. Przy tym rozwiązaniu jest wreszcie najmniejsze prawdopodobieństwo uszkodzeń lub innych zakłóceń w pracy.

Widząc w nowej maszynie drogę do powiększenia swoich zarobków, robotnik będzie ją otaczał stałą troską, a jeśli nawet maszyna ta ulegnie uszkodzeniu, dołoży wszelkich starań, by je szybko usunąć, czyli zrobi wszystko, by taki meldunek, jaki padł na II Zjeździe Partii w referacie Przewodniczącego PKPG, nigdy nie powtórzył się.

Rozwiązanie trzecie, w którym przyjmuje się jako zasadę, że zarobek robotnika, podejmującego pracę na nowej maszynie, nie spadnie poniżej punktu wyjściowego, gwarantuje, że trudności wprowadzania maszyn nowej konstrukcji będą przezwyciężone, że przedsiębiorstwo rzeczywiście dźwignie się na wyższy poziom techniczny.

Powyższe rozważania nie stanowią jakiejś oryginalnej koncepcji autora. Rozważania te są rozwinięciem znanej wypowiedzi Lenina, że w okresie przechodzenia do komunizmu trzeba budować gospodarkę „...nie bezpośrednio na entuzjazmie, lecz — przy pomocy entuzjazmu zrodzonego przez wielką rewolucję — na osobistym interesie, na zainteresowaniu osobistym, na zasadzie opłacalności gospodarczej... w inny sposób... nie zbliżycie się do komunizmu, w inny sposób nie doprowadzicie milionów ludzi do komunizmu" [4]).

3. Wynagrodzenie załogi a zmiana całokształtu procesu technologicznego w przedsiębiorstwie.

Gdy w przedsiębiorstwie wprowadza się zmiany, dotyczące całokształtu procesu technologicznego, jak na przykład zmieniany jest surowiec wyjściowy, lub gdy następuje istotna zmiana w asortymencie (rodzaju) produkowanych wyrobów, wyłania się trudny problem właściwego wyznaczenia w okresie przejściowym, to znaczy w okresie próbnej produkcji, zarobków całej załogi przedsiębiorstwa.

Problem ten jest bardzo powikłany z dwóch zasadniczych przyczyn. Po pierwsze, w czasie trwania próbnej produkcji stosowanie wszelkich norm staje się iluzoryczne, a po drugie, zahamowanie procesu produkcyjnego na którymkolwiek z jego ogniw może spowodować wstrzymanie pracy na ogniwach dalszych, z kolei musi to pociągnąć zmniejszone wykonanie normy przez pracowników tych dalszych ogniw produkcyjnych, co w konsekwencji oznacza zmniejszenie ich zarobków, a więc ich zniechęcenie, a nawet uprzedzenie do nowego procesu technologicznego.

W jednym z przedsiębiorstw woj. wrocławskiego czyni się przygotowania do przeprowadzenia próbnej produkcji izolatorów elektrotechnicznych z masy kamionkowej zamiast dotąd stosowanej masy porcelanowej. Przygotowania te powinny być przeprowadzone bardzo wnikliwie.

Najpierw należy dokładnie zdać sobie sprawę z tego, że zmiana masy porcelanowej na kamionkową przy produkcji izolatorów oznacza zmianę przebiegu pracy nie tylko na jednym wydziale produkcyjnym, to jest na formowni, ale na wszystkich wydziałach. Zmieniony zestaw masy — to zmiana pracy w młynowni, szlamowni, formowni, piecowni, glazurowni, szlifierni, montowni, to zmiana pracy w probierni i sortowni, to zmiana w działach zaopatrzenia i wreszcie to zmiana pracy całej administracji i w zarządzie przedsiębiorstwa. Stąd więc prosty wniosek: nowy proces technologiczny spowoduje zakłócenia w całym przedsiębiorstwie. Stąd wniosek dalszy: należy z góry ustalić zarobki pracowników w czasie próbnej produkcji — w stosunku do całego przedsiębiorstwa, wyodrębniając jednak część załogi biorącą bezpośredni udział w próbnej produkcji.

Najpierw należy ustalić czas trwania zakłóceń, wywołanych próbną produkcją, dla całego przedsiębiorstwa. Należy możliwie dokładnie ustalić, jaka część załogi będzie bezpośrednio pracować nad wyprodukowaniem próbnej partii izolatorów kamionkowych oraz jak kształtowało się dotychczasowe wynagrodzenie pracowników, którzy mają być bezpośrednio zatrudnieni przy próbnej produkcji.

Dalej, by robotnik podjął się z zapałem prac w nowych warunkach bez żadnego doświadczenia, by pracę tę wykonał możliwie dokładnie i możliwie prędko, należy mu zapowiedzieć, że — niezależnie od dotychczasowego wynagrodzenia, które w żadnym wypadku nie ulegnie zmniejszeniu — może otrzymać wysoką premię.

[4]) Lenin W. I. Dzieła wybrane („Książka i Wiedza", t. II, str. 889).

Z kolei należy ustalić warunki premiowania na okres przeprowadzania próbnej produkcji dla robotników zatrudnionych bezpośrednio przy zmianie procesu technologicznego.

Wobec braku przepisów prawnych, obowiązujących w takich przypadkach, pewną orientację przy ustalaniu aktualnych tu zasad premiowania daje Uchwała nr 18 Prezydium Rządu z dnia 7 stycznia 1955 r. w sprawie zasad wynagradzania pracowników zatrudnionych przy pracach rozruchowych nowobudowanych lub rozbudowywanych obiektów przemysłowych [5]). Uchwała ta postanawia w § 8, że „robotnicy zatrudnieni przy rozruchu nowobudowanych i rozbudowywanych obiektów przemysłowych otrzymują w okresie rozruchu wynagrodzenie według stawki czasowej (dniówkowej) przysługującej im zgodnie z osobistym zaszeregowaniem oraz premie za każdą rzeczywiście przepracowaną godzinę przy pracach rozruchowych. Wysokość premii powinna być tak zróżnicowana, aby robotnicy wykwalifikowani, zatrudnieni bezpośrednio przy czynnościach rozruchowych, otrzymywali premię w granicach do 120% stawki płacy czasowej (dniówkowej), a robotnicy niższych kwalifikacji, zatrudnieni przy pomocniczych czynnościach rozruchowych, w granicach do 60% stawki płac czasowych".

Uchwała ta przewiduje ponadto (w § 4), że premia dla pracowników inżyniersko-technicznych, „zatrudnionych przy rozruchu nowobudowanych i rozbudowywanych obiektów przemysłowych o szczególnym znaczeniu dla gospodarki narodowej i o szczególnie skomplikowanych problemach technicznych, może być podwyższona do 150% płacy podstawowej".

Z przytoczonych przepisów, obowiązujących w zakresie inwestycji, można by przyjąć zasadę premii do 120% dla robotników i premii do 150% dla kadry inżyniersko-technicznej. W obu wypadkach należałoby jednak przyjąć za podstawę do procentowego ustalania premii nie stawkę czasową pracowników, względnie ich płacę podstawową, lecz ich dotychczasowe zarobki. Takie zastrzeżenie jest konieczne, albowiem duża część robotników o kwalifikacjach najwyższych osiąga — w omawianym przedsiębiorstwie — przeciętnie około 200% normy, wobec czego potraktowanie ich w okresie próbnej produkcji jako pracowników dniówkowych i przyznanie im 120% premii, przyniosłoby im w rezultacie zarobek niższy lub co najwyżej równy dotychczasowemu.

Wydaje się, że celowe byłoby dla omawianego przedsiębiorstwa ustalenie, że 50-procentową premię, zarówno dla robotników jak i dla kadry inżyniersko-technicznej, przyzna się w wypadku terminowego i ścisłego wykonania prac — zgodnie z otrzymanymi poleceniami podczas przeprowadzanej próbnej produkcji — bez względu na wynik kontroli ostatecznej wyprodukowanych wyrobów. Natomiast pozostałych 70% (dla robotników) oraz pozostałych 100% (dla kadr inżyniersko-technicznych) byłoby przyznane w wypadku uznania izolatorów kamionkowych za odpowiadające stawianym wymaganiom.

Stąd też w omawianym przedsiębiorstwie należałoby przyjąć cztery zasady.

1) Okres próbnej produkcji będzie trwać pół miesiąca, powodując półmiesięczną przerwę w planowanej działalności przedsiębiorstwa na wszystkich wydziałach produkcyjnych, tyle bowiem czasu będzie trwać — zgodnie z protokołem konferencji w przedsiębiorstwie — przerwa w pracy na wydziale szlamowni. Taki okres czasu jest ponadto potrzebny z uwagi na co najmniej dwutygodniowy okres dołowania masy kamionkowej (o czym protokół z konferencji w przedsiębiorstwie nie wspomina). Nie oznacza to, oczywiście, że dwutygodniowa przerwa wystąpi na wszystkich wydziałach równocześnie, lub że dany wydział będzie pracować nad wyrobami kamionkowymi przez pełny okres dwutygodniowy. Wobec braku technologicznego przygotowania próbnej produkcji, przyjęcie tego rodzaju przerwy jest jednak nieodzowne. Półmiesięczna przerwa w planowanej produkcji przedsiębiorstwa jest niezbędna z uwagi na konieczność bardzo dokładnego oczyszczenia nie tylko prasy i bębnów, ale wszystkich pozostałych urządzeń i pomieszczeń (nawet podłóg), albowiem najmniejsze zanieczyszczenia kamionkowe w masie kaolinowej mogą spowodować w przyszłości duże straty w jakości wyrobów porcelanowych. Niebezpieczeństwo to jest tym większe, że omawiane przedsiębiorstwo jest zakładem starym, silnie zagęszczonym i o źle rozwiązanym transporcie wewnątrz-zakładowym.

2) W próbnej produkcji wyrobów kamionkowych będą brać udział bezpośrednio: cała kadra inżyniersko-techniczna na stanowiskach kierowniczych w przedsiębiorstwie, wydział szlamowni — wszyscy pracownicy, wydział formowni — cztery brygady trzyosobowe, w tym jedna brygada składająca się z majstrów, wydział piecowni — trzy brygady czteroosobowe palaczy, składające się z majstra oraz najbardziej wykwalifikowanych robotników, wydział montowni — jedna brygada trzyosobowa, składająca się z majstra i dwóch robotników, wydział szlifierni — jedna brygada trzyosobowa, składająca się z majstra i dwóch robotników.

Powiększenie w stosunku do żądań przedsiębiorstwa liczby brygad, zatrudnionych bezpośrednio przy próbnej produkcji na poszczególnych wydziałach, jest nieodzowne z uwagi na zupełny brak wszelkich instrukcji technologicznych oraz z uwagi na zapowiedziane przez projektodawcę nowego procesu trudności, wynikające z różnicy skurczu między masą kaolinową a kamionkową.

3) Wszyscy pracownicy biorący bezpośredni udział w próbnej produkcji mają zagwarantowane minimum dotychczasowych półmiesięcznych zarobków, przy czym — w razie terminowego i dokładnego wypełnienia przez nich poleceń, otrzymanych w czasie próbnej produkcji — otrzymają oni ponadto premię do 50%, a w razie pozytywnej oceny jakości wyprodukowanych izolatorów kamionkowych otrzymają dalszych 70% (robotnicy) względnie 100% (kadra inżyniersko-techniczna), a więc łącznie otrzymają wszyscy zatrudnieni pracownicy do 120%, względnie do 150% premii w stosunku do dotychczasowego półmiesięcznego wynagrodzenia.

W konsekwencji przyjęcia podanej wyżej zasady należy zapewnić dodatkowe środki w wysokości:

dla kierowniczej kadry inż.-technicznej	29 000 zł,
dla szlamowni	22 300 zł,
dla formowni	11 400 zł,
dla piecowni	10 800 zł,
dla szlifierni	3 900 zł,
dla montowni	3 800 zł,
łącznie	81 200 zł.

4) Wszyscy pozostali pracownicy przedsiębiorstwa (to znaczy robotnicy i kadra inżyniersko-techniczna), nie biorący bezpośredniego udziału w próbnej produkcji, oraz cały aparat administracyjny otrzymają w ciągu półmiesięcznego okresu próby wynagrodzenie na poziomie ostatniego przeciętnego zarobku (akordowego lub czasowego z premią).

W tym celu należy ustalić wysokość przeciętnego półmiesięcznego funduszu płac wszystkich pracowników przedsiębiorstwa i — po odjęciu odeń półmiesięcznego zarobku pracowników wymienionych wyżej — wyraźnie określić sumę, która winna być wypłacona przez bank bez wymagania wykonania przez przedsiębiorstwo zadań planu miesięcznego. Suma ta powinna wchodzić w skład kosztów próbnej produkcji izolatorów kamionkowych. W omawianym przedsiębiorstwie wynosi ona 261 900 zł.

Tak więc koszt robocizny w okresie próbnej produkcji wyraża się sumą 81 200 + 261 900 = 343 100 złotych. Oczywiście, tak ustalony koszt robocizny przy próbnej produkcji jest rażąco wysoki w porównaniu z przewidzianą kwotą 40 000 zł, których domaga się omawiane przedsiębiorstwo w formie dodatkowego „funduszu bezosobowego". Kwota ta jest jednak obliczem rzeczywistego kształtowania się kosztów próbnej produkcji, podczas której powstanie przerwa w normalnym toku produkcji, a załoga będzie jednak pobierać wynagrodzenie. Kwota ta uwzględnia zasady materialnego zainteresowania pracowników w realizowaniu postępu technicznego w przedsiębiorstwie.

4. Nowa technika w przedsiębiorstwie a racjonalizatorzy.

W przypadku wprowadzania w przedsiębiorstwie maszyn o zmienionej konstrukcji lub w przypadku zmiany procesu technologicznego wskutek zmiany surowców, albo zmiany asortymentu wyrobów — należy uruchomić bodźce materialnego zainteresowania załogi i zagadnienie zarobków

[5]) Monitor Polski, 1955, nr 8, poz. 84.

pracowników w okresie próbnej produkcji musi być traktowane ze szczególną wnikliwością. Czy to jednak wystarcza?

W czasie próbnej produkcji występuje w przedsiębiorstwie bardzo często jeszcze jedna istotna trudność, mianowicie brak odpowiedniej, szczegółowej, dostosowanej do konkretnych warunków danego przedsiębiorstwa instrukcji technologicznej (roboczej) oraz niedostosowanie struktury organizacyjnej procesu produkcyjnego do nowych zadań.

W przedsiębiorstwie występuje więc konieczność dokonania wielu — choćby drobnych, niemniej jednak niezbędnych — zmian w dotychczasowej instrukcji i w dotychczasowej strukturze organizacyjnej przedsiębiorstwa. Tu właśnie kierownictwo przedsiębiorstwa popełnia czasem błąd, polegający na mylnym przeświadczeniu, że wszystkie te zmiany można ustalić i opracować w czasie jednej konferencji na szczeblu kierowniczej kadry inżynierskо-technicznej oraz że zmiany te można następnie wprowadzić w życie drogą jednego rozporządzenia.

Oczywiście, wstępna konferencja w kierownictwie zakładu jest zawsze niezbędna. Konferencja ta jest jednak w stanie wskazywać pewne zagadnienia, co najwyżej w „sposób problemowy", natomiast robocze wykonanie i opracowanie poszczególnych problemów, wymagające dużego wysiłku wielu osób, należy powierzać pracownikom, którzy są szermierzami postępu technicznego, to znaczy racjonalizatorom.

Wciągnięcie racjonalizatorów do współpracy nad wprowadzeniem postępu technicznego jest bardzo pożądane z dwóch jeszcze względów: 1) racjonalizatorzy, pracujący bezpośrednio przy maszynach i na wydziałach, są często najlepszymi znawcami danych — wycinkowych — zagadnień technicznych i organizacyjnych, 2) racjonalizator współpracujący nad zmianą instrukcji technologicznej daje lepszą gwarancję, że po jej opracowaniu będzie jej przestrzegać. Wynika stąd, że do pomocy przy wprowadzaniu nowej techniki w przedsiębiorstwie należy mobilizować racjonalizatorów danego przedsiębiorstwa. Akcja przygotowawcza powinna tu polegać na informowaniu racjonalizatora o planowanych poczynaniach z dziedziny postępu technicznego i na zorganizowaniu — do opracowania zadań trudniejszych — robotniczo-inżynierskich brygad racjonalizatorskich.

Zalecenia w tym względzie można by ująć w sposób następujący:

a) kierownictwo przedsiębiorstwa ustala, jakie konkretne problemy techniczne oraz organizacyjne wymagają rozwiązania na poszczególnych wydziałach produkcyjnych i wykaz tych problemów należałoby traktować jako wykaz zadań dla racjonalizatora;

b) do rozwiązania trudniejszych problemów należy organizować odrębne robotniczo-inżynierskie brygady racjonalizatorskie, powołując do ich grona robotników o najwyższych kwalifikacjach, majstrów, inżynierów oraz pracowników odpowiednich instytucji naukowych;

c) brygady należy otoczyć opieką i zapewnić im wszystkie przewidziane w przepisach wynagrodzenia, a mianowicie z tytułu przysparzanych oszczędności (korzyści), z tytułu wykonanych prac i dokumentacji, z tytułu udzielonej „pomocy technicznej" i pomocy w realizacji projektów racjonalizatorskich.

Należy podkreślić, że spotykany w praktyce pogląd, jakoby racjonalizacja nie mogła obejmować tematyki związanej z nowym procesem technologicznym, narzuconym przedsiębiorstwu przez jednostkę nadrzędną, jest całkowicie błędny. Jeżeli polecenie jednostki nadrzędnej nie jest wyposażone w szczegółową dokumentację techniczną, wówczas pracownik uzupełniający tę dokumentację jest racjonalizatorem, wówczas jego projekt racjonalizatorski jest wyjątkowo cenny, albowiem dotyczy tematyki dla przedsiębiorstwa bardzo aktualnej, wówczas racjonalizator staje się wykonawcą obowiązującego dane przedsiębiorstwo planu postępu technicznego.

5. Nowa technika w przedsiębiorstwie a uprawnienia znajdujących się poza przedsiębiorstwem inicjatorów tej techniki.

Zdarza się, że pracownicy zatrudnieni w instytutach naukowo-badawczych oraz w wyższych uczelniach przekazują do przemysłu swoje rozwiązania techniczne, nie otrzymując w zamian za to żadnych konkretnych uprawnień. Jest to błędne i szkodliwe z punktu widzenia dobra zarówno jednostki, jak i społeczeństwa.

W myśl obowiązujących przepisów prawnych [6]) twórca projektu racjonalizatorskiego, a więc twórca usprawnienia, udoskonalenia technicznego i wynalazku, ma prawo do odpowiedniego świadectwa i do odpowiedniego wynagrodzenia. Ograniczeń w tym względzie dla pracowników, zatrudnionych poza przemysłem, przepisy prawne nie znają, a więc jeśli pracujący poza przemysłem autor pewnego rozwiązania technicznego przekazuje je przedsiębiorstwu, to powinien to uczynić w trybie przewidzianym dla zgłaszania pracowniczych wniosków racjonalizatorskich w przedsiębiorstwie. Bardzo dogodną formą przekazania tego rozwiązania jest utworzenie robotniczo-inżynierskiej brygady robotniczej, w której zgodnie z przepisami [7]) autor projektu może brać udział jako przedstawiciel instytutu, a pracownicy danego przedsiębiorstwa mogą brać udział jako realizatorzy tej koncepcji. Wówczas uprawnienia autora projektu co do pierwszeństwa jego myśli zostają potwierdzone i wynagrodzenie autora projektu jest zapewnione.

Czy chodzi tu jednak tylko o przysporzenie autorowi danego rozwiązania odpowiedniego wynagrodzenia, czy też tylko o stwierdzenie pierwszeństwa jego myśli twórczej? Nie, sprawa ta ma daleko szersze znaczenie.

Jeżeli jakieś rozwiązanie techniczne jest ujęte w formę projektu racjonalizatorskiego, a zwłaszcza gdy staje się ono projektem wynalazku, na który zostaje udzielony patent, wówczas społeczeństwo osiąga korzyści niepomiernie większe niż wtedy, kiedy autor koncepcji rezygnuje z tej oficjalnej drogi i biernie godzi się z tym, że przejściowe trudności w urzeczywistnieniu jego koncepcji spychają tę koncepcję na plan dalszy.

Rozwiązanie techniczne ujęte w formę wynalazku obejmuje pełną dokumentację techniczną. Może ono być przedmiotem wymiany w międzynarodowej współpracy naukowo-technicznej. Rozwiązanie techniczne ujęte w ramy formalnego projektu racjonalizatorskiego trafia przez Urząd Patentowy do skarbca dorobku polskiej myśli technicznej, staje się własnością całego społeczeństwa.

Rozwiązanie techniczne ujęte w formę projektu racjonalizatorskiego obejmuje dokumentację techniczną, uwzględniającą konkretne warunki technologiczne konkretnego przedsiębiorstwa. W stosunku do autora takiego rozwiązania uruchomiona zostaje dźwignia materialnego zainteresowania w kierunku przysparzania korzyści jemu i społeczeństwu, wynagrodzenie bowiem autora jest zależne od rozmiaru korzyści, których projekt jego przysparza przedsiębiorstwu. Stąd wypływają starania autora o możliwie pełne urzeczywistnienie jego projektu, stąd jego współpraca z racjonalizatorami przedsiębiorstwa oraz dalsze uzupełnianie i ulepszanie projektu.

Rozwiązanie techniczne opracowane poza przedsiębiorstwem i zgłoszone jako projekt racjonalizatorski w przedsiębiorstwie staje się realnym osiągnięciem na drodze realizowania postępu technicznego w naszym przemyśle.

6. Nowa technika a jej wyniki ekonomiczne w przedsiębiorstwie.

W warunkach gospodarki kapitalistycznej właściciel przedsiębiorstwa realizuje postęp techniczny tylko wtedy, kiedy mu to zapewnia osiągnięcie maksymalnego zysku. W warunkach gospodarki socjalistycznej postęp techniczny jest drogą do maksymalnego zaspokojenia materialnych i kulturalnych potrzeb społeczeństwa.

Fakt, że w warunkach gospodarki socjalistycznej zysk nie stanowi czynnika motorycznego przy realizowaniu postępu technicznego, nie może usprawiedliwiać niedoceniania kalkulacji przy podejmowaniu prób zmiany technologii.

W omawianym wyżej przedsiębiorstwie (rozdz. 3) przeprowadzona przez kierownictwo przedsiębiorstwa kalkulacja kosztów próbnej produkcji sprowadza się do przytoczonych nakładów finansowych na materiały w wysokości 12 000 zł oraz na dodatkowy „fundusz bezosobowy" w wysokości 40 000 zł, łącznie 12 000 + 40 000 = 52 000 zł. Sama ta suma nic nie mówi. Nie daje ona żadnej podstawy do porównania dotychczasowych nakładów z nakładami nowymi i jako kalkulacja kosztów nie ma żadnego znaczenia.

W omawianym wyżej przedsiębiorstwie (rozdz. 3) koszt robocizny (wynagrodzeń) winien się kształtować w okresie próbnej produkcji w wysokości 343 100 zł. Zaopatrzenie materiałowe w okresie próbnej produkcji będzie wymagać 58 750 zł.

[6]) Dekret z 12.X.1950 r. o wynalazczości pracowniczej (Dz. U. Rz. P., 1950, 47, poz. 428, art. 4—7).

[7]) Zarządzenie Przewodniczącego PKPG z 15.XII.51 w sprawie robotniczo-inżynierskich brygad racjonalizatorskich (Monitor Polski, nr A-104/1951, poz. 1513, § 5).

Ponadto próbna produkcja, trwająca przez okres dwóch tygodni, musi być obciążona dwutygodniowym kosztem utrzymania całego przedsiębiorstwa, to znaczy — niezależnie od już wymienionych kosztów — kosztami amortyzacji, świadczeń, opłat oraz innymi kosztami ogólnymi, co stanowi w omawianym przedsiębiorstwie sumę w wysokości 211 000 zł. Łącznie koszt próbnej produkcji wyniesie:

robocizna (wynagrodzenia)	343 100 zł,
zużycie materiałowe	58 750 zł,
koszty ogólne	211 000 zł,
	612 850 zł.

Koszt ten należy porównać z wartością wyrobów, które ma dać próbna produkcja w przedsiębiorstwie.

Wartość wyprodukowanych izolatorów kamionkowych, które według założeń autora koncepcji technicznej mają przewyższać pod względem jakości izolatory porcelanowe, ma wynieść według obowiązujących cen zbytu dla izolatorów porcelanowych 124 650 zł.

Należy wyraźnie stwierdzić, że przedsiębiorstwo, które dotychczas było rentowne, to znaczy którego koszty własne produkcji mieściły się w granicach obowiązujących cen zbytu, przestaje być rentowne podczas próbnej produkcji i stanie się silnie deficytowe wskutek tego, że koszty produkcji będą pięciokrotnie wyższe od wartości wyrobów wyprodukowanych (koszt izolatora kamionkowego będzie 5-krotnie większy od kosztu dotychczas produkowanych izolatorów porcelanowych). Jednakowoż ten pięciokrotnie droższy izolator kamionkowy będzie zjawiskiem przejściowym. Po opracowaniu nowego procesu technologicznego wystąpią korzyści, które w wyniku końcowym spowodują obniżenie kosztów izolatorów porcelanowych, produkcja bowiem izolatorów kamionkowych pociągnie za sobą obniżenie kosztów zużycia węgla o 34,2% wskutek obniżenia temperatury wypału oraz obniżenie kosztów zużycia surowców o 35,4%. Ponadto nowy proces technologiczny spowoduje znaczne obniżenie zużycia kapsli (szamotowych osłon używanych podczas wypału). Obniżenie temperatury wypału zapobiegnie pękaniu kapsli i przedłuży okres służby jednego kapsla co najmniej o 100%.

Szacując więc przyszłe obniżenie kosztów produkcji izolatorów można przyjąć, że po opanowaniu nowego procesu technologicznego koszt ten powinien obniżyć się o 20% do 30%. Tak określone obniżenie kosztów produkcji izolatorów nie odzwierciedla jednak istotnej wartości nowego rozwiązania technologicznego, które ma być przedmiotem podejmowanej próbnej produkcji. Istotną korzyścią, którą przyniesie przejście z kaolinu na gliny kamionkowe przy produkcji izolatorów jest uniknięcie trudności importowych, związanych ze sprowadzaniem z zagranicy kaolinu, dla którego przewiduje się ograniczenie dostaw.

Dalszą istotną korzyścią nowego procesu technologicznego jest zaoszczędzenie dewiz, wydawanych dotąd na sprowadzanie kaolinu, oraz możność uzyskania nowych dewiz w rezultacie zaoszczędzenia węgla, który będzie mógł być wyeksportowany.

Tych korzyści nie da się wyrazić w liczbach, gdyż ważna tu jest nie tylko różnica w cenie glin (np. importowany kaolin „Imperial" kosztuje 504 zł/t, a krajowa glina kamionkowa „Irena" — 150 zł/t), ale i to, że 504 zł należy płacić dewizami, a 150 zł płacimy w krajowej walucie. Ważne jest nie tylko to, że przy produkcji jednej tony izolatorów możemy zaoszczędzić około 90 zł na paliwie, ale i to, że każdą dodatkowo zaoszczędzoną tonę węgla możemy eksportować za granicę. Korzyści, które powinno przynieść przejście z kaolinu na kamionkę przy produkcji izolatorów elektrotechnicznych, są więc znaczne. Stąd też podjęcie produkcji izolatorów kamionkowych jest z punktu widzenia dobra gospodarki narodowej — korzystne i konieczne.

Próbna produkcja izolatorów kamionkowych umożliwi podjęcie właściwej decyzji co do dalszego realizowania koncepcji produkowania izolatorów elektrotechnicznych z glin kamionkowych. Być może okaże się celowe przestawienie przedsiębiorstwa wyrabiającego izolatory na stałe z kaolinu na kamionkę, być może okaże się niezbędne założenie nowego przedsiębiorstwa, wyspecjalizowanego w produkcji izolatorów kamionkowych.

Stwierdzone w toku powyższych rozważań korzyści są to korzyści aktualne — przynajmniej na początku — wyłącznie w skali gospodarki narodowej jako całości. W skali omawianego przedsiębiorstwa efekt ekonomiczny próbnej produkcji wyrazi się na początku w podniesieniu kosztów produkcji, a więc dla omawianego przedsiębiorstwa będzie na razie wynik gospodarczy ujemny.

Dokładne zdanie sobie sprawy z takiego stanu rzeczy jest bardzo ważne zarówno dla kierownictwa przedsiębiorstwa, jak i dla jednostek nadrzędnych w stosunku do tego przedsiębiorstwa. Wyższe koszty własne muszą być bowiem zawczasu zapowiedziane w banku finansującym działalność omawianego przedsiębiorstwa.

Pominięcie takiej wstępnej analizy wyników gospodarczych podejmowanej próbnej produkcji zagraża przedsiębiorstwu przekroczeniem wielu limitów finansowych, poderwaniem i trwałym zachwianiem równowagi w gospodarce środkami obrotowymi, może więc stać się przyczyną niechętnego ustosunkowania się administracji przedsiębiorstwa do wszelkich podejmowanych w przyszłości zmian w technologii procesu produkcyjnego, może się stać czynnikiem hamującym realizowanie postępu technicznego w przedsiębiorstwie.

Nieustalenie, choćby w sposób ramowy, przewidywanych wyników gospodarczych podejmowanej próbnej produkcji stwarza niebezpieczeństwo rozrzutności i marnotrawstwa podczas realizowania tej próbnej produkcji. W chaosie finansowym nieprzygotowanej odpowiednio próbnej produkcji mogą ulec zaprzepaszczeniu duże ilości środków pieniężnych i materiałowych.

Brak uprzedniej kalkulacji kosztów podejmowanej próbnej produkcji w poważnym stopniu utrudni podjęcie decyzji co do wyboru przedsiębiorstwa wtedy, kiedy możliwe jest przeprowadzenie próbnej produkcji w kilku różnych przedsiębiorstwach. Brak takiej kalkulacji może stać się przyczyną niepodejmowania rozważań w kierunku wyznaczenia innego przedsiębiorstwa do podjęcia próby lub w kierunku obrania innego sposobu przeprowadzenia próbnej produkcji. Brak kalkulacji może być wreszcie w pewnych wypadkach przyczyną podjęcia decyzji pochopnej, grożącej skierowaniem zmian w procesie produkcyjnym w kierunku zgoła niewłaściwym.

Analiza wyników gospodarczych przy podejmowaniu prób wprowadzenia nowej techniki jest trudna i wymaga dużego nakładu pracy, wymaga orientacji zarówno w zagadnieniach technologicznych, jak i gospodarczych. Dla dobra postępu technicznego analiza gospodarcza nowych rozwiązań technicznych jest jednak niezbędna.

7. Wnioski (tezy do dyskusji).

1) Trudności w realizowaniu postępu technicznego w przedsiębiorstwie są tak samo różnorodne, jak różnorodna jest praktyka w przedsiębiorstwie.

2) Wprowadzając w przedsiębiorstwie maszyny nowej konstrukcji, należy stworzyć dla załogi bodźce materialnego zainteresowania, to znaczy należy tak wyznaczać normy dla robotników pracujących przy tych maszynach, żeby ich zarobki nawet na krótki czas nie spadały poniżej poziomu z okresu przed wprowadzeniem maszyn nowej konstrukcji, lecz żeby — przeciwnie — wykazywały wolny, ale stały wzrost.

3) Wprowadzając w przedsiębiorstwie zmiany w całokształcie technologii procesu produkcyjnego, należy stworzyć dla załogi bodźce materialnego zainteresowania, to znaczy należy dokładnie przeanalizować i odpowiednio wyznaczyć zarobki całej załogi, wprowadzając dla pracowników, których zmiana procesu technologicznego dotyczy bezpośrednio, odpowiedni system premiowania oraz gwarantując wszystkim pozostałym pracownikom zachowanie poziomu wynagrodzenia z okresu przed zmianą.

4) Do pracy nad przygotowaniem szczegółowych instrukcji technologicznych i nad rozwiązywaniem problemów, które wyłaniają się w przedsiębiorstwie podczas wprowadzania nowej techniki, należy powoływać racjonalizatorów, organizując ich do rozwiązywania zagadnień trudniejszych w robotniczo-inżynierskie brygady racjonalizatorskie.

5) W wypadku kiedy autor koncepcji technicznej nie pracuje w przemyśle, należy jego koncepcję zgłaszać w przedsiębiorstwie w trybie normalnego projektu racjonalizatorskiego i jednocześnie przyciągnąć go do współpracy nad urzeczywistnieniem jego koncepcji w przedsiębiorstwie.

6) Próbę wprowadzania nowej techniki w przedsiębiorstwie należy poprzedzać analizą wyników gospodarczych tej próby dla uchronienia przedsiębiorstwa przed trudnościami natury finansowej oraz zapobieżenia stratom pieniężnym i materiałowym, godzącym w dobro gospodarki narodowej.

Pierwiastki chemiczne

Oznaczenia

+ – wydobycie w kraju w ilości dostatecznej
– – niedobór w posiadaniu lub wydobywaniu w kraju
0 – brak w ilości lub postaci nadającej się do wydobycia
? – możliwości posiadania - badania nie zakończone
x – pierwiastek promieniotwórczy
• – sztuczne izotopy promieniotwórcze o znaczeniu praktycznym
H – grubym drukiem wyróżniono pierwiastki znajdujące zastosowanie w elektrotechnice

Okres	METALE ALKALICZNE	METALE LEKKIE		METALE BARDZO TRUDNO TOPLIWE				METALE CIĘŻKIE TRUDNO TOPLIWE				METALE CIĘŻKIE ŁATWO TOPLIWE				GAZY I NIEPRZEWODNIKI		GAZY SZLACHETNE	Okres
1																1 H wodór + •		2 He hel –	1
2	3 Li lit –	4 Be beryl ? •										5 B bor 0		6 C węgiel + •	7 N azot +	8 O tlen +	9 F fluor 0	10 Ne neon –	2
3	11 Na sód – •	12 Mg magnez +	13 Al glin – ?											14 Si krzem +	15 P fosfor – •	16 S siarka + •	17 Cl chlor + •	18 A argon – •	3
4	19 K potas –	20 Ca wapń + •	21 Sc skand 0	22 Ti tytan 0 •	23 V wanad ? •	24 Cr chrom ? •	25 Mn mangan – •	26 Fe żelazo – •	27 Co kobalt 0 •	28 Ni nikiel – •	29 Cu miedź –	30 Zn cynk + •	31 Ga gal 0 •	32 Ge german ? •	33 As arsen + •	34 Se selen 0 •	35 Br brom – •	36 Kr krypton – •	4
5	37 Rb rubid 0 •	38 Sr stront ? •	39 Y itr 0	40 Zr cyrkon ?	41 Nb niob 0 •	42 Mo molibden ?	43 Tc x technet	44 Ru ruten 0 •	45 Rh rod 0	46 Pd pallad 0	47 Ag srebro – •	48 Cd kadm – •	49 In ind 0 •	50 Sn cyna ? •	51 Sb antymon – •	52 Te tellur 0 •	53 J jod – •	54 Xe ksenon – •	5
6	55 Cs cez 0 •	56 Ba bar + •	57 do 71 met. ziem rzadkich (**) ?	72 Hf hafn 0 •	73 Ta tantal – •	74 W wolfram ? •	75 Re ren 0 •	76 Os osm 0 •	77 Ir iryd 0 •	78 Pt platyna 0 •	79 Au złoto – •	80 Hg rtęć 0 •	81 Tl tal + •	82 Pb ołów – •	83 Bi bizmut – •	84 Po x polon 0	85 At x astat	86 Rn x radon 0	6
7	87 Fr x frans	88 Ra x rad 0	89 Ac x aktyn 0	90 Th x tor 0	91 Pa x protaktyn 0	92 U x uran ?	93 Np x neptun	94 Pu x pluton	95 Am x ameryk	96 Cm x kiur	97 Bk x berkel	98 Cf x kaliforn	99 Fm x ferm	100 E x ajnsztajn	101 Mv x mendelew	102	103	104	7

PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE

(**)	6	57 La lantan •	58 Ce cer •	59 Pr prazeodym •	60 Nd neodym	61 Pm promet •	62 Sm samar •	63 Eu europ •	64 Gd gadolin	65 Tb terb •	66 Dy dysproz	67 Ho holm	68 Er erb	69 Tm tul	70 Yb iterb	71 Lu lutec •	6

METALE ZIEM RZADKICH

PRZEGLĄD DOKUMENTACYJNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI
Dodatek do miesięcznika PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 7 Warszawa, październik 1955 r. Nr 10

Gwiazdkami obok porządkowych liczb artykułów, oznaczone są publikacje znajdujące się w bibliotece Instytutu Elektrotechniki

Wiadomości ogólne

453* 621.791.753.9 IEl

Jones T. B., Skolnik M., Konwenhoven W. B.: **Łuk elektryczny w argonie i helu.** „The electric arc in argon and helium". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 16; A4, 5,5 str., 3 wykr., 1 fot., 1 rys., 2 tabl., 7 poz. bibl. — Teoretyczne badania nad łukiem elektrycznym prądu stałego stosowanym przy spawaniu elektrycznym w atmosferze gazu neutralnego. Badania przeprowadzono dla zakresu prądów 10 — 100 A, przy elektrodach wolframowych w argonie i helu. Układ pomiarowy. Warunki pomiarów. Charakterystyki łuku.

454* 539.16:620.179.152 IEl

Gruzin P. L., Litwin D. F.: **Zagadnienie określania współczynników dyfuzji w ciałach stałych metodą izotopów promieniotwórczych.** „K woprosu ob opriedielenji koefficjentow difuzji w twierdych tiełach mietodom radioaktiwnych izotopow". Dokł. Akad. Nauk SSSR, Moskwa, 3 razy w miesiącu, t. 94, Nr 1, stycz. 54, s. 41; B5, 4 str., 2 wykr., 2 poz. bibl. — Metoda polega na zastosowaniu izotopów wysyłających promieniowanie beta i gamma. Mierzy się stosunek natężenia promieniowania beta i gamma w próbce umieszczonej na izotopie. W miarę dyfuzji promienie beta ulegają osłabianiu w większym stopniu niż promienie gamma. Stosunek natężeń jest miarą dyfuzji.

455* 621—52:621—55 IEl

Hunsinger W.: **Technika regulacyjna.** „Regelungstechnik". Z. VDI., Düsseldorf, 3 razy w mies., t. 95, Nr 19, lip. 53, s. 627; A4, 5,5 str., 4 fot., 110 poz. bibl. — Obecny stan techniki regulacyjnej w świetle targów przemysłowych w Hannowerze (1953). Regulatory elektryczne regulatory z mechanizmem wskazówkowym i inne. Elementy konstrukcyjne regulatorów, w szczególności serwomotory. Obszerne zestawienie literatury.

456* 621—52:621.9.002 IEl

Dikuszin W. I.: **Rozwój prac badawczych w dziedzinie automatyzacji procesów w przemyśle maszynowym.** „O razwitii issledowatielskich rabot po awtomatizacji processow maszinostrojenja". Izw. Akad. Nauk SSSR, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 54, s. 14; B5, 9 str. — Zagadnienie automatyzacji w wykonaniu zadań planowanych na 1951—1955 rok. Osiągnięcia przemysłu maszynowego ZSRR. Badania procesów technologii maszynowej z punktu widzenia automatyzacji. Zagadnienie kadr o przemysłową produkcję elementów automatyki. Zadanie naukowe: typowanie procesów technologicznych do automatyzacji oraz przystosowanie maszyn i urządzeń do wymagań automatyki, badanie regulowanego napędu elektrycznego i hydraulicznego, automatyka kopiujących obrabiarek.

457* 621.3.01:538.551 IEl

Wienikow W. A.: **Niektóre zagadnienia stosowania podobieństwa przy modelowaniu układów elektrycznych.** „Niekotoryje woprosy primienienja podobja pri modielirowanji elektriczeskich sistiem". Izw. Akad. Nauk SSSR, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 54, s. 69; B5, 11 str., 7 poz. bibl. — Modelowanie dynamiczne jako jedno z narzędzi badania zjawisk fizycznych. Kryterium podobieństwa układów elektrycznych. Możliwości odstąpienia od podobieństwa geometrycznego. Wpływ nieliniowości parametrów przy modulowaniu. Zagadnienie dokładności modelowania i różnic w reagowaniu na zakłócenia przypadkowe (statystycznie określone). Modelowanie układów wzbudzenia i regulatorów wzbudzenia. Metody aproksymacji charakterystyki regulatorów.

458* 621.3.015.34 IEl

Bulla W.: **Wykres Bergern'a dla fal wędrownych.** „Das Bergern-Diagram für Wanderwellen". E und M., Wien, dwutyg., Nr 2, stycz. 54, s. 37; A4, 5 str., 8 rys., 5 poz. bibl. — Zastosowanie metody wykreślnej przedstawienia udarów naprężenia w rurach wodociągowych (Bergeron) do wyznaczania przebiegów fal wędrownych. Objaśnienia konstrukcji wykresu dla fal płaskich. Przedstawienie na wykresie punktów nieciągłości linii, odwzorowanie oporności, indukcyjności, czasów przebiegu itp. Rozwiązanie przykładu dla stacji końcowej zasilanej linią napowietrzną z podejściem kablowym.

459* 621.3.015.34 IEl

Chůra V.: **Wpływ oporności ziemi na unieszkodliwienie fal przepięciowych.** „Učast odporu země při znoškodňováni přepotových vln". Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 6, czerw. 53, s. 317; A4, 7,5 str., 7 rys., 1 tabl., 8 poz. bibl. — Odkształcanie i obniżanie amplitudy fal wędrownych wzdłuż linii napowietrznej. Obliczenia dla fal w kształcie sinusoidalnym, zastosowanie całki Fourrier'a do fali prostokątnej. Wymiary geometryczne linii, stromość fali oraz oporność właściwa ziemi jako parametry w obliczeniach. Przypadki układów przewód—ziemia, przewód—3 przewody—ziemia. Znaczniejsze odkształcenia przy udarze stromym przy dużej oporności ziemi.

460* 621.3.016.23:622.33 IEl

Musser H. P.: **Współczynniki zapotrzebowania mocy różnego rodzaju prac w kopalniach węgla.** „Characteristic power requirements for performing various functions in underground coal mines". Trans. amer. Inst. Electr, Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 336; A4, 4 str., 7 tabl., 1 poz. bibl. — Zapotrzebowanie mocy przez poszczególne urządzenia stosowane w kopalnictwie węgla na podstawie danych z eksploatacji i przeprowadzonych pomiarów. Średniówki dla poszczególnych urządzeń w funkcji różnych czynników.

461* 621.3.05 IEl

Crary S. B. (i inni): **Postęp i kierunki rozwojowe przesyłu elektrycznego.** „Progress and future trends in electric transmission". Trans. amer. Instr. electr. Engrs, New-York, t. 71, cz. 3, 1952, s. 963; A4, 11,5 str., 2 rys., 4 wykr., 5 tabl., 20 poz. bibl. — Obecny stan, rozwój historyczny i kierunki rozwojowe konstrukcji stosowanych zabezpieczeń, napięć znamionowych itp. sieci przesyłowych w Stanach Zjednoczonych.

462* 621.3.053.22 IEl

Richtr J., Heral J.: **Dławik gaszący w sieciach wysokich napięć, nowa metoda strojenia.** „Petersenova civka v sitich vn a zjištěni vyladěni novou methodou". Elektrotechn. Obz., Praha, mies., Nr 2, luty 53, s. 76; A4, 16,5 str., 37 rys., 3 poz. bibl. — Schematy i wykresy wektorowe prądów i napięć w przypadku zwarcia jednofazowego w sieci skompensowanej. Wnioski z działania dławików gaszących w eksploatacji, badania eksploatacyjne. Płynna regulacja dławików. Przegląd metod strojenia dławików, dyskusja, zalety metody przedstawionej przez autorów. Zasada metody, schemat połączeń, konstrukcja przyrządu do strojenia. Wyniki badań, oscylogramy.

463* 621.3.053.22 IEl

Wskazówki stosowania dławików rezonansowych. „Guide for application of ground fault neutralizers". Trans. amer. Inst. Electr Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 183; A4, 7 str., 5 wykr., 1 oscylogr., 37 poz. bibl. — Ogólne wskazówki i wytyczne odnośnie do stosowania, sposobu instalowania, strojenia i doboru wartości znamionowych dławików rezonansowych przy kompensacji ziemnozwarciowej.

464* 621.3.054.42 IEl

Jancke G., Åkerström K. F.: **Ulepszenia i doświadczenia ze stosowania kondensatorów szeregowych w Szwecji.** „Developments and experience with series capacitors in Sweden". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New-York, t. 71, cz. 3, 1952, s. 1118; A4, 5,5 str., 1 fot., 3 rys., 4 wykr., 7 poz. bibl. — Ekonomia stosowania kondensatorów szeregowych w sieciach. Lokalizacja kondensatorów szeregowych. Wymagania napięciowe dla kondensatorów. Opis stacji kondensatorów szeregowych w Alfta (Szwecja) oraz wyniki z jej eksploatacji. Ogólne wnioski co do jakości kondensatorów kompensacyjnych oraz ich potrzeby w nowych liniach elektrycznych.

465* 621.3.064.241:621.3.064.44 IEl

Hurtle R. L.: **Łuki elektryczne prądu stałego.** „Controlling D—C arcs". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 228; A4, 5 str., 5 fot., 2 rys., 2 poz. bibl. — Badania nad łukiem prądu stałego w wyłącznikach powietrznych z wydmuchem magnetycznym przy prądach 50 — 20000 A. Zjawisko wstecznego ruchu łuku (wtórny zapłon łuku, bocznikujący łuk wydmuchiwany), czynniki powodujące, sposoby eliminacji. Zalecenia konstrukcyjne.

466* 621.3.066.6.001 IEl

Little C. W., Konwenhoven W. B.: **Oporności przejścia styków elektrycznych.** „The spreading and interface resistances of electric contacts". Trans. amer. Inst. Electr, Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 314; A4, 9 str., 2 fot., 1 rys., 8 wykr., 4 tabl., 10 poz. bibl. — Badania nad oporem przejścia styków elektrycznych przy prądzie stałym. Rozważanie składowych: a) oporności na skutek odkształcenia linii przepływu, b) oporności styku. Teoria i przeprowadzone doświadczenia.

Układy energoelektryczne

467* 621.311:631.37 IEl

Wiejcem W. I.: **Zagadnienia naukowe elektryfikacji rolnictwa w ZSRR.** „Naucznyje woprosy elektryfikacji sielskowo chozjajstwa SSSR". Izw. Akad. Nauk SSSR, Moskwa, mies., Nr 1, stycz. 54, s. 61; B5, 8 str. — Wytyczne elektryfikacji wsi w oparciu o zalecenia Plenum KPZR. Rozbudowa sieci zasilających i rozdzielczych wysokiego napięcia. Znaczenie gospodarcze elektrowni kołchozowych, szczególnie wodnych. Wykorzystanie energii wiatru. Parametry sieci wiejskich i rozdzielni transformatorowych. Szersze stosowanie w rolnictwie maszyn o napędzie elektrycznym. Przewidziany wkład Akademii Nauk do prac nad elektryfikacją wsi.

468* 621.311.15.003 IEl

Halperin H.: **Ekonomiczne wykorzystanie urządzeń elektrycznych.** „Economic utilisation of electric power equipment". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 203; A4, 11,5 str., 2 wykr., 3 fot., 7 tabl., 5 poz. bibl. — Problem maksymalnego, opłacalnego wykorzystania istniejących urządzeń układów elektroenergetycznych w miarę wzrostu zapotrzebowania energii elektrycznej — określenie opłacalnej obciążalności urządzeń. Dopuszczalny przyrost temperatury, trwałość (odporność na starzenie), wzrost strat dodatkowych mocy na podstawie prób laboratoryjnych i danych z eksploatacji. Próby starzenia izolacji papierowo-olejowej przy cyklicznych krótkotrwałych wzrostach obciążenia. Starzenie styków wyłączników.

469* 621.311.16 IEl

Graner H.: **Regulacja charakterystyk sieciowych w bardzo wielkich układach sieci.** „Netzkennlinienregelung in sehr grossen Netzverbänden". ETZ—A, Wuppertal, dwutyg., Nr 7, 1 kw. 54, s. 249; A4, 5,5 str., 4 poz. bibl. — Podstawy teoretyczne dla przyszłego międzynarodowego rozrządu mocy. Zagadnienia regulacji wymiany energii elektrycznej między poszczególnymi sieciami krajowymi. Zasady regulacji przy pracy normalnej i przy zakłóceniach. Wpływ regulacji i zakłóceń na pracę sieci indywidualnej i na współpracę sieci ogólnej. Wahania częstotliwości sieci, wpływ na równowagę systemu.

Elektrownie

470* 621.311.21:627.88 IEl

Granbois K. J.: **Zwalczanie osadzania się lodu w hydroelektrowniach.** „Combatting frazil ice in hydroelectric stations". Trans. amer. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 111; A4, 4 str., 2 fot., 1 rys., 3 wykr., 2 poz. bibl. — Stosowane metody zapobiegania i zwalczania osadzania się lodu znajdującego się w postaci drobnych igiełek w przechłodzonej wodzie przepływającej przez turbinę wodną hydroelektrowni. Opis przekaźnika rejestrującego dokładną temperaturę wody dla uruchamiania urządzeń przeciwoblodzeniowych.

471* 61.311.23:621.438 IEl

Chambadal P.: **Turbiny gazowe w elektrowniach.** „Les turbines à gaz dans les usines génératrices élèctriques". Rev. gen. Électr., Paris, mies., t. 62, Nr 11, list. 53, s. 501; A4, 13,5 str., 2 fot., 19 rys., 1 poz. bibl. — Porównanie turbin gazowych z parowymi. Opis i schematy układów turbin gazowych z otwartym i zamkniętym obiegiem gazu. Zastosowanie turbin gazowych do produkcji energii elektrycznej. Opis zainstalowanych we Francji i poza jej granicami turbin gazowych w elektrowniach. Wnioski.

Maszyny elektryczne

472* 621.313:621.317.333 IEl

Hill G. L.: **Próby izolacji elektrycznej maszyn wirujących prądem stałym wysokiego napięcia.** „Testing electrical insulation of rotating machinery with high voltage direct current". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 159; A4, 11 str., 2 fot., 2 rys., 21 wykr., 4 tabl., 12 poz. bibl. — Metoda określenia stanu izolacji dużych wirujących maszyn elektrycznych i innych aparatów na podstawie charakterystyki napięciowo-prądowej (napięcie w funkcji prądu skrośnego) przy próbach prądem stałym wysokiego napięcia (do ok. 40 kV). Metodyka prób i aparatura probiercza. Wyniki pomiarów na rzeczywistych maszynach. Wnioski.

473* 621.313.32—181.4:621.318.22 IEl

Hershberger D. D.: **Uwagi na temat projektowania silników i prądnic ułamkowej mocy o magnesach trwałych.** „Design considerations of fractional horsepower size permanent-magnet motors and generators". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, t. 72, cz. 3, 1953, s. 581; A4, 4 str., 1 fot., 3 rys., 5 wykr., 1 tabl., 4 poz. bibl. — Problemy występujące przy projektowaniu silników i prądnic ułamkowej mocy o magnesach trwałych. Zagadnienie doboru najwłaściwszego dla danej maszyny materiału na magnesy i ustalanie najwłaściwszych wymiarów obwodu magnetycznego. Przykładowe obliczenie strumienia magnetycznego w maszynie.

474* 621.313.322:621.3.014.3 IEl

Lawrence R. F., Ferguson R. W.: **Prądy kolejności przeciwnej generatora przy zwarciach międzyprzewodowych.** „Generator negative-sequence currents for line-to-line faults". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 9; A4, 7 str., 4 rys., 12 wykr., 3 tabl., 5 poz. bibl. — Metody obliczeń prądów kolejności przeciwnej generatorów występujących przy zwarciach międzyfazowych. Uwzględniono i rozważono czynniki jak wielkość obciążenia, oporność bierna systemu i generatora oraz obecność automatycznego regulatora, napięcia generatora wpływające na wartość tych prądów.

475* 621.313.322:621.316.925 IEl

Barkle J. E., Glassburn W. E.: **Ochrona generatorów przed prądami niesymetrycznymi.** „Protection of generators against unbalanced currents". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 282; A4, 3 str., 3 wykr., 1 tabl., 2 poz. bibl. — Prądy zwarcia kolejności przeciwnej dla różnych stanów generatorów synchronicznych wyposażonych lub nie w automatyczne regulatory. Zjawisko przegrzewania wirników maszyn przez indukowane prądy wywołane płynącym w tworniku prądem kolejności przeciwnej. Rewizja normy amerykańskiej na wymagania wytrzymałości zwarciowej generatorów (ASA C—50 1943 r.) z punktu widzenia zagrożenia prądem kolejności przeciwnej. Przekaźnik zabezpieczający generator przed tymi prądami — dobór charakterystyki.

476* 621.317.333.82:621.313.322 IEl

Moses G. L., Alki R. J.: **Badania nad wytrzymałością udarową oraz zagadnienie prób udarowych wysokonapięciowych generatorów.** „Studies of impulse strength and impulse testing problems on high-voltage generators". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 123; A4, 7 str., 2 rys., 1 wykr., 15 oscylogr., 13 poz. bibl. — Zagadnienia związane z wytrzymałością udarową izolacji dużych generatorów wysokiego napięcia (izolacji głównej i zwojowej) przy obecnie stosowanej ochronie odgromowej. Współczynnik udaru dla izolacji generatorów. Wyznaczanie rozkładu napięć udarowych w uzwojeniu metodą pomiarów na uzwojeniach rzeczywistych (przy niskich napięciach) lub drogą badań na analizatorze stanów nieustalonych. Próby udarowe generatorów.

477* 621.313.333.001 IEl

Bradford C. E., Rhudy R. G.: **Poosiowe siły magnetyczne działające na wirnik maszyny indukcyjnej.** „Axial magnetic forces on induction machine rotors". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 488; A4, 6,5 str., 10 rys., 4 wykr., 2 poz. bibl. — Przyczyny mogące wywołać powstanie poosiowych sił magnetycznych działających na wirnik maszyny indukcyjnej. Wyprowadzenie wzorów do obliczania wartości sił poosiowych wywołanych: przesunięciem rdzenia wirnika w stosunku do rdzenia stojana, przesunięciem kanałów promieniowych wirnika w stosunku do kanałów stojana i skosem żłobków.

478* 621.313.333.025.1:621.316.717 IEl

Williams J. E.: **Konstrukcja silnika jednofazowego zmniejszająca spadek napięcia przy rozruchu.** „Design of single-phase motors to minimize voltage dips". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 484; A4, 4,5 str., 4 rys., 5 wykr., 2 tabl., 6 poz. bibl. — Zagadnienie otrzymania w silniku jednofazowym możliwie dużego momentu rozruchowego przy niewielkim poborze prądu z sieci. Rozwiązanie rozruchu silnika jednofazowego w układzie z kondensatorem włączonym w szereg z fazą główną. Uzyskanie dużych wartości momentu rozruchowego przy poborze niewielkiego prądu o charakterze pojemnościowym i związane z tym niewielkie spadki napięć w sieci. W dyskusji wskazano na duży koszt silnika i na niewielkie możliwości jego stosowania.

479* 621.313.333.2.001 IEl

Douglas J. F. H.: **Przyczynek do teorii silnika indukcyjnego dwuklatkowego.** „A contribution to the theory of the double-cage induction motor". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 624; A4, 6 str., 8 rys., 5 wykr., 4 tabl., 5 poz. bibl. — Obliczanie przewodności żłobkowych silników dwuklatkowych przez podział na warstwy z uwzględnieniem rzeczywistego, nieprostoliniowego przebiegu linii pola. Rozwiązanie analityczne wpływu nasycenia na przewodności żłobkowe w przypadku okrągłych żłobków stycznych do powierzchni wirnika. Pomiary przewodności żłobkowych na modelach. W dyskusji omówiono sposoby doświadczalnego wyznaczania rozproszenia dokoła połączeń czołowych.

480* 621.313.333.2.001 IEl

Jacobs P.: **Określenie schematu zastępczego silnika dwuklatkowego.** „Defining the equivalent circuit of the double-cage motor". Trans amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 651; A4, 6,5 str., 13 rys., 4 wykr., 2 tabl., 6 poz. bibl. — Wyprowadzenie schematu zastępczego silnika dwuklatkowego. Obliczanie przewodności żłobkowych wirnika. Wyznaczanie charakterystyk silnika. W dyskusji nad artykułem podano uzasadnienie pomijania oporności indukcyjnej w gałęzi klatki rozruchowej schematu zastępczego oraz omówiono wyniki pomiarów przeprowadzonych dla silnika dwuklatkowego na analizatorze „Moneca".

481* 621.313.333.2.001 IEl

Alger P. L., Wray J. H.: **Podwójna i potrójna klatka wielofazowego silnika indukcyjnego.** „Double and triple squirrel-cages for polyphase induction motors". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 637; A4, 8 str., 13 rys., 7 wykr., 9 poz. bibl. — Schemat zastępczy silnika dwu- i trójklatkowego. Wpływ różnych parametrów na właściwości silnika dwuklatkowego. Przykład obliczenia charakterystyk silnika głębokożłobkowego, potraktowanego jako silnik trójklatkowy oraz silnika dwuklatkowego z klatką odlaną z aluminium. W dyskusji podano inne postaci schematu zastępczego silnika dwu- i trójklatkowego.

482* 621.313.333.2.001.24 IEl

Lee C. H.: **Metoda projektowania dwuklatkowego silnika indukcyjnego.** „A design method for double squirrel-cage induction motors". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 630; A4, 6 str., 4 rys., 6 wykr., 8 poz. bibl. — Metoda projektowania silnika dwuklatkowego oparta na schemacie zastępczym. Przebieg obliczenia i przykład obliczeniowy. Porównanie obliczonych charakterystyk silników z charakterystykami zdjętymi doświadczalnie. W dyskusji nad artykułem omówiono zalety stosowania układu jednostek względnych.

483* 621.313.333.2.001.24 IEl

Goodman J.: **Metoda projektowania dwuklatkowego silnika indukcyjnego.** „A design method for double squirrel-cage induction motors". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 645; A4, 6 str., 10 rys., 2 wykr., 4 tabl., 12 poz. bibl. — Metoda obliczania charakterystyk dwuklatkowego silnika indukcyjnego w oparciu o schemat zastępczy. Wzory do obliczania poszczególnych parametrów schematu zastępczego. Pełny przebieg obliczenia ujęty w formularz. Przykład obliczenia silnika dwuklatkowego o mocy 75 HP. W dyskusji podkreślono wpływ rozproszenia dokoła pierścieni klatek na charakterystyki silnika.

484* 621.313.333.2.001.24 IEl

Chang S. S. L.: **Metoda graficzna wyznaczania oporności pozornej przewodów klatki wielokrotnej.** „A graphical method for determining the impedance of multiple-cage conductors". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 621; A4, 3 str., 2 rys., 1 wykr., 2 tabl., 6 poz. bibl. — Metoda wyznaczania oporności pozornej klatki wielokrotnej przy pomocy podanego w artykule wykresu. Uzasadnienie metody. Przykład obliczenia zastępczej oporności klatki podwójnej. Porównanie wyników obliczenia prądu i momentu rozruchowego silników dwuklatkowych z wynikami pomiarów. W dyskusji nad artykułem podano sposób odtwarzania klatek wielokrotnych w schemacie zastępczym silnika.

Transformatory

485* 621.314.21:621.317.2.014.3 IEl

Cogbill B. A.: **Transformator o wytrzymałości zwarciowej 1100 MVA dla laboratorium wielkich mocy.** „1.100.000 kVA short-circuit transformer in the new high-capacity switchgear testing laboratory". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 84; A4, 5 str., 4 fot., 2 rys., 6 poz. bibl. — Opis szczegółów konstrukcyjnych i wykonania transformatora dla prób zwarciowych wykonanego dla laboratorium wielkich mocy. Transformator ma następujące dane znamionowe: napięcie dolne 7,5/15,5 kV, napięcie górne 220 kV z odczepami, moc znamionowa 100 MVA, wytrzymałość zwarciowa 1100 MVA.

486* 621.314.213.1:621.3.048.004.62 IEl

Stewart H. C., Whitman L. C., Scheideler A. L.: **Określenie starzenia izolacji transformatorów suchych.** „Aging evaluation of dry-type transformer insulating systems". Trans. amer Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 267; A4, 7 str., 3 fot., 11 wykr., 18 poz. bibl. — Starzenie się izolacji transformatorów suchych różnego typu, otwartych lub hermetycznych pracujących w atmosferze azotu lub powietrza pod ciśnieniem. Przeprowadzone próby i ich wyniki. Określenie dopuszczalnych przyrostów temperatur w czasie pracy.

487* 621.314.222.6.004 IEl

Aleksandrow J. A.: **Kontrola eksploatacji transformatorów w miejskich sieciach elektrycznych.** „Kontrol ekspłuatacji transformatorow w gorodskich elektrosietiach". Energietik, Moskwa, mies., Nr 2, luty 54, s. 19; B5, 1 str., 3 rys. — Organizacja kontroli okresowej transformatorów. Dokumentacja danych znamionowych i wyników badań profilaktycznych. Deska kontrolna dla brygady remontowej.

488* 621.314.224:621.791 IEl

Knight D. L.: **Konstrukcja transformatorów spawalniczych.** „Design of transformers for resistance welding machines". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 238; A4, 5 str., 2 fot., 2 rys., 3 wykr., 4 poz. bibl. — Transformatory spawalnicze — dane znamionowe, konstrukcja, napięcie zwarcia, sprawność, typy uzwojeń wtórnych, chłodzenie, straty, materiały izolacyjne. Artykuł traktuje transformatory z punktu widzenia eksploatatora.

Materiały izolacyjne

489* 621.315.615.2 IEl

Wilson W. R.: **Podstawowy czynnik określający wytrzymałość elektryczną oleju.** „A fundamental factor controlling the unit dielectric strength of oil". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 68, A4, 5,5 str., 5 wykr., 5 tabl., 10 poz. bibl. — Zależność wytrzymałości dielektrycznej od objętości oleju naprężanej elektrycznie — ze wzrostem objętości wzrasta prawdopodobieństwo przebicia, a więc maleje wytrzymałość. — Określenie wytrzymałości dielektrycznej izolacji olejowej dla różnego typu elektrod w oparciu o metody statystyczne ułatwia w znacznej mierze projektowanie układów izolacyjnych aparatury elektrycznej.

490* 621.315.617.3 IEl

Suchanowskij W. W.: **Teoria wielowarstwowych pokryć izolacyjnych.** „Tieorja mnogosłojnych dielektriczeskich pokrytij". Dokł. Akad. Nauk SSSR, Moskwa, 3 razy w miesiącu, t. 95, Nr 2, 11 marz. 54, s. 245; B5, 4 str., 3 rys., 2 tabl., 5 poz. bibl. — Wyznaczanie załamania wektora pola elektrycznego w cienkich warstewkach dielektryka. Metoda rozwiązania dowolnego dielektryka uwarstwionego. W szczególności obliczanie ilości, grubości i rodzaju warstewek. Porównanie z dotychczasowymi metodami i z doświadczeniem.

491* 621.315.626 IEl

Bogosłowskij P. W.: **Wzmocnienie izolacji przepustów 110 kV.** „Usilenje izolacji wwodow 110 kV". Energietik, Moskwa, mies., Nr 2, luty 54, s. 20; B5, 1 str., 1 rys. — Wady izolatora przepustowego typu kondensatorowego firmy ASEA. Poprawa wypełnienia przepustu masą zalewową przez uzupełnianie ubytków olejem transformatorowym. Zadowalające własności przepustu w eksploatacji.

Sieci i podstacje

492* 621.316.11.027 IEl

Prikłonskij E. N.: **O artykule inż. R. I. Klionskoj i inż. J. G. Czernyszewoj dotyczącym wyboru napięcia sieci dla siły i światła.** „O statie inż. R. I. Klionskoj i inż. J. G. Czernyszewa po woprosu wybora napriażenja dla siłowych i oświetlitielnych sietiej". Promyszl. Energ., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 22; A4, 2 str., 1 tabl. — Dyskusja celowości stosowania napięcia 500 V w sieciach siłowych z izolowanym punktem zerowym. Statystyczne wyniki eksploatacji sieci, porównanie z siecią 380/220 V. Wskaźniki ekonomiczne doboru napięcia. Porównanie strat w sieci 500 V i 380/220 V dla różnych stosunków obciążenia siłowego i oświetleniowego.

493* 621.316.17 IEl

Shuler W.: **Trójfazowe czteroprzewodowe zasilanie obwodów siłowych i oświetleniowych w nowoczesnych zakładach przemysłowych napięciem 240/416 V.** „240/416-Volt 3-phase 4-wire

power and lighting supply for modern industrial plants". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 71; A4, 7 str., 4 wykr., 7 rys., 7 tabl. — Zagadnienie zasilania zakładów przemysłowych wyposażonych w maszyny o napędzie indywidualnym — duża liczba niewielkich silników na ogół niedociążonych. Dobór napięcia i układu zasilającego. Zalety układu czteroprzewodowego 416/240 V dla obwodów siłowych i oświetleniowych.

494* 621.316.17.003:628.972 IEl

Kahler W. H., Bell R. N.: **Elektryczna instalacja oświetleniowa.** „Electric distribution and control for lighting systems". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 92; A4, 7 str., 6 wykr., 5 tabl. — Obwody oświetleniowe w zakładach przemysłowych, biurach, szkołach itp. dla lamp żarzeniowych, rtęciowych i świetlówek. Najlepsze z punktu widzenia ekonomicznego zaprojektowanie systemu zasilającego. Dobór metod łączenia i sterowania, oraz stosowanych łączników.

495* 621.316.26 IEl

Krikunczik A. B.: **Zmniejszenie kosztów i typizacja budowy podstacji.** „Udieszewlenje i industralizacja sooruženja podstancij". Elektr. Stancji, Moskwa, mies., Nr 2, luty 54, s. 20; A4, 4 str., 7 poz. bibl. — Założenia projektów typowych opracowywanych w „Tiepłoenergoprojektie". Zasadnicze schematy rozdzielni napowietrznych i wnętrzowych. Stosowanie zestawów celek rozdzielni średnich napięć. Oszczędności przy ograniczaniu prądu zwarcia. Kompensacja mocy biernej. Układy pomocnicze, sterownicze, sygnalizacyjne.

496* 621.316.262 IEl

Saudler A. I.: **Zagadnienie typowego projektu podstacji transformatorowej o mocy do 320 kVA.** „K woprosu o tipowom projektie transformatornoj podstancji moszczności do 320 kVA" Promyszl. Energ., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 21; A4, 1 str., 1 poz. bibl. — Typizacja podstacji transformatorowej małej mocy w świetle wymagań „Przepisów budowy urządzeń elektrycznych". Oświetlenie rozdzielni. Zagadnienie uziemień ochronnych i roboczych. Umożliwienie łatwego przeprowadzania remontów i pomiarów w eksploatacji. Dyskusja z artykułem omawiającym błędy projektowania.

497* 621.316.267:621.316.545 IEl

Kizewietter J. N., Charniew M. K., Jasiewicz W. S.: **O rozdzielniach 3 — 10 kV z odłącznikami mocy.** „O raspriedielitielnych ustrojstwach 3 — 10 kV s wykluczatielami nagruzki". Promyszl. Energ., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 19; A4, 2,5 str., 3 rys., 3 poz. bibl. — Dyskusja celowości zastosowania odłączników mocy w typowych zestawach celek rozdzielczych średnich napięć. Oszczędność układu odłącznik mocy — bezpiecznik w porównaniu z układem wyłącznik — 2 odłączniki. Porównanie rozdzielni o dużych i małych prądach obciążenia i zwarcia.

498* 621.316.35 IEl

Abramow A. G.: **O oszczędności materiału przewodowego.** „Ob ekonomji prowodnikowowo matieriała". Promyszl. Energ., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 16; A4, 2,5 str., 1 rys., 1 tabl., 4 poz. bibl. — Kryteria doboru przekroju szyn w rozdzielni wysokiego napięcia. Obliczenia na prąd obciążenia i zwarcia, cieplne i dynamiczne działania prądu. Wzory i krzywe dla szyn stalowych, porównanie z szynami aluminiowymi, lepsze własności w warunkach zwarciowych. Artykuł dyskusyjny.

Odłączniki

499* 621.316.545 IEl

Gielman R. J.: **Odłączniki wnętrzowe produkcji Ministerstwa Elektrowni i przemysłu elektrotechnicznego.** „Razjedinitieli wnutrienniej ustanowki zawoda Ministierstwa elektrostancij i elektropromyszlennosti". Promyszl. Energ., Moskwa, mies., Nr 4, kw. 53, s. 31; A4, 1 str., 2 tabl., 2 rys. — Zestawienie katalogowe wszystkich typów odłączników wnętrzowych z uwzględnieniem napięć i prądów znamionowych, wytrzymałości zwarciowej (cieplnej i dynamicznej) oraz ciężaru. Szkice wymiarowe odłączników. Typy izolatorów odłącznikowych. Napędy odłączników.

Wyłączniki

500 621.316.57.027.3:621.3.067 IEl

Rietz E. B.: **Mechanizmy napędowe wysokonapięciowych wyłączników olejowych dużych mocy wyłączalnych.** „Operating mechanisms for high-capacity high-voltage oil circuit breakers". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 256; A4, 6 str., 4 fot., 5 rys., 1 wykr., 2 tabl. — Kierunki rozwoju, stawiane wymagania i szczegóły konstrukcyjne nowoczesnych wyłączników olejowych dużych mocy i wysokiego napięcia — szczególnie z punktu widzenia mechanizmów napędowych. Porównanie mechanizmów napędowych sprężynowych i pneumatycznych (wydajność, szybkość działania i spz).

501* 621.316.57.064.25 IEl

Shores R. B., Olsen E. J.: **Ulepszone napowietrzne wyłączniki olejowe średnich napięć.** „Improved outdoor oil circuit breakers for medium voltages". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 74; A4, 7 str., 3 fot., 7 rys., 4 wykr., 2 tabl., 7 poz. bibl. — Seria nowoczesnych wyłączników olejowych na napięcia 14,4 — 34,5 kV dla mocy wyłączalnych 1000 — 1500 MVA. Wprowadzone ulepszenia. Opis poszczególnych części składowych. Próby działania i ich wyniki.

Regulacja

502* 621.316.727:621.3.077.8 IEl

Własow A. W.: **Roczne doświadczenia eksploatacji baterii kondensatorów do poprawy współczynnika mocy.** „Godicznyj opyt ekspłuatacji kondiensatornoj batierji dla powyszenja koefficjenta moszcznosti". Eniergietik, Moskwa, mies., Nr 3, marz. 54, s. 6; B5, 3,5 str., 3 rys. — Schemat baterii kondensatorów statycznych włączonych na szyny 6 kV. Wykonanie połączeń elementów baterii, rozmieszczenie ich w rozdzielni. Dokonywanie przełączeń grup szeregowo-równoległych. Wyniki poprawy współczynnika mocy w kopalni rudy.

503* 621.316.728:621.311.16 IEl

George E. E.: **Zasady rozdziału obciążeń między poszczególne elektrownie.** „Principles of load allocation among generating units". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 263; A4, 2 str., 8 poz. bibl. — Optymalny rozdział mocy między poszczególne punkty zasilania układu elektroenergetycznego dla osiągnięcia minimalnego kosztu 1 kWh. Koszty paliwa i koszty przesyłu oraz wymagania dla regulatorów. Obciążalność generatorów. Rezerwa mocy.

Urządzenia zabezpieczające i ochronne

504* 621.316.923.1 IEl

Gibson J. W.: **Zastosowanie i normalizacja bezpieczników o dużej mocy wyłączalnej.** „The application and standardization of high rupturing capacity current limiting fuses". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 126; A4, 5 str., 1 rys., 5 wykr., 4 poz. bibl. — Bezpieczniki HRC o dużej mocy wyłączalnej (drut topikowy w hermetycznej wkładce wypełnionej kwarcem) — konstrukcja, charakterystyki i zastosowanie. Zalety w stosunku do innych stosowanych zabezpieczeń. Metoda sporządzania charakterystyk prądowo czasowych bezpieczników. Normalizacja.

505* 621.316.925:621.313.333 IEl

O zabezpieczaniu silników elektrycznych przed pracą dwufazową (dyskusja). „O zaszczitie elektrodwigatielej ot raboty na dwuch fazach (diskusji)". Promyszl. Energ., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 25; A4, 5 str., 6 rys., 2 poz. bibl. — Zbiór notatek dyskusyjnych 6 autorów do dwóch artykułów z poprzedniego roku. Przykładowe rozwiązania zabezpieczeń. Schemat przekaźnika cieplnego o bimetalicznych elementach. Krytyka układów zabezpieczających, dyskusja ich działania w różnych przypadkach zwarcia i przerwy.

506* 621.316.933.6 IEl

Zastosowanie i działanie liniowych odgromników wydmuchowych 13 — 138 kV. „Application and performance od 13 — 138 kV line expulsion lightning arresters (line protector tubes)". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 151; A4, 6 str., 4 rys., 3 wykr., 5 tabl. — Zebrane przy pomocy ankiety dane z eksploatacji liniowych odgromników wydmuchowych przede wszystkim z punktu widzenia: 1) skuteczności ochrony, 2) typów uszkodzeń, 3) kierunków rozwojowych, 4) względnego kosztu ochrony linii odgromnikami wydmuchowymi lub linką odgromową.

Niniejszy Przegląd Bibliograficzny zawiera jedynie część analiz dokumentacyjnych publikacji z zakresu elektrotechniki. Pełna dokumentacja ukazuje się w postaci kart dokumentacyjnych, wydawanych przez Centralny Instytut Dokumentacji Naukowo-Technicznej (Warszawa, Al. Niepodległości 188). CIDNT przyjmuje prenumeratę kart dokumentacyjnych, która może obejmować zarówno całą dokumentację naukowo-techniczną, jak i działy lub poszczególne zagadnienia i tematy techniczne.

CINDT wykonuje za zwrotem kosztów fotokopie i mikrofilmy publikacji objętych Przeglądem Dokumentacyjnym jak i kartami dokumentacyjnymi.

PRZEGLĄD DOKUMENTACYJNY ELEKTROTECHNIKI

opracowany przez OŚRODEK DOKUMENTACJI ELEKTROTECHNIKI
Dodatek do miesięcznika PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Rocznik 7 Warszawa, listopad 1955 r. Nr 11

Gwiazdkami obok porządkowych liczb artykułów, oznaczone są publikacje znajdujące się w bibliotece Instytutu Elektrotechniki

Wiadomości ogólne

507* 538.21 IEl

Gäbler I.: **Magnetyczny opór właściwy.** „Der spezifische magnetische Widerstand". Elektrotechnik (Berlin), Leipzig, mies., t. 7, Nr 10, paźdz. 53, s. 496; A4, 3 str., 2 poz. bibl. — Prawo Ohma w zastosowaniu do zjawisk magnetycznych. Jednostki, wielkości i zależności między wielkościami magnetycznymi. Przenikalność magnetyczna i jej składowe. Teoretyczna analiza i rozkład na składowe obciążenia i przenikalności magnetycznej.

508* 612.84:535—2 IEl

Kellershohn M.: **Reakcje człowieka na światło.** „Réactionshumaines à la lumière". Lux, Paris, 5 razy do roku, Nr 3, sierp.-wrzes.-paźdz. 53, s. 68; A4, 2 str. — Streszczenie referatu dotyczącego zjawisk zachodzących pomiędzy siatkówką i korą mózgową oraz metod anatomicznych, klinicznych i elektrycznych stosowanych do wyjaśnienia mechanizmu widzenia.

509* 621.3.015.33:614.825 IEl

Dalziel C. F.: **Studia nad niebezpieczeństwem prądów udarowych.** „A study of the hasards of impulse currents". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 1032; A4, 9 str., 7 rys., 3 tabl., 8 poz. bibl. — Badania nad niebezpieczeństwem porażenia człowieka przez krótkotrwałe przepięcia udarowe lub oscylacyjne. Autor jako podstawę do badań przyjmuje, że niebezpieczeństwo zależy od wartości energii elektrycznej przepływającej przez ciało porażonego. Badania prowadzone na zwierzętach. Dokładna analiza i opis kilkunastu przypadków porażeń prądami udarowymi.

510* 621.3.047.2:621.313.2—8:629.135.06 IEl

Franklin P. W.: **Komutacja niskonapięciowych prądnic lotniczych prądu stałego.** „Commutation of low-voltage D—C aircraft generators". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 254; A4, 8 str., 4 rys., 1 tabl., 5 poz. bibl. — Znaczenie dobrej komutacji w lotniczych prądnicach prądu stałego. Sposoby zapewnienia prawidłowej komutacji. Zagadnienie właściwego obliczenia elektromagnetycznego. Zastosowanie wzorów do obliczenia komutacji. Szczegółowe omówienie mechanicznych warunków dobrej komutacji. Zużywanie się szczotek.

511* 621.3.048.001.5 IEl

Herman C. J.: **Żywotność izolacji silnika wyznaczana przez próby przyspieszone i zmęczenie dielektryczne.** „Motor insulation life as measured by accelerated test and dielectric fatigue". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 986; A4, 6 str., 3 fot., 2 rys., 2 wykr., 2 tabl., 13 poz. bibl. — Nowy sposób szybkiego przeprowadzania prób żywotności izolacji silnika polegający na nagrzewaniu przy biegu jałowym silnika o zwiększonej szczelinie, działaniu wilgoci i podwyższonego napięcia. Określanie stanu izolacji za pomocą wykrywania początkowego napięcia wyładowań. Wyniki przeprowadzonych prób.

512* 621.3.051.2 IEl

Rokotian S.: **Przesył energii elektrycznej z kujbyszewskiej GES do Moskwy.** „Pieriedacza elektroenergii ot Kujbyszowskoj GES w Moskwu". Energietik, Moskwa, mies., Nr 1, czerw. 53, s. 3; A4, 6 str., 6 rys. — Przesył energii 1200 MW na odległość 900 km. Związane z tym trudności. Dobór napięcia na linii przesyłowej, straty w linii, zagadnienie współpracy elektrowni kujbyszewskiej z moskiewskimi. Poprawa współczynnika mocy w linii. Kompensacja prądów pojemnościowych. Strata ulotu. Budowa przewodów. Izolacja linii w 3 strefach klimatycznych. Konstrukcja słupów na linii. Budowa podstacji obniżających. Wstępne prace badawcze na próbnych odcinkach linii.

513* 621.3.054.42 IEl

Starr E. C., Harrington E. J.: **Kondensatory bocznikowe w dużych sieciach przesyłowych.** „Shunt capacitors in large transmission networks". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 1129; A4, 8,5 str., 11 rys., 1 tabl., 5 poz. bibl. — Ekonomia kompensacji współczynnika mocy systemów elektroenergetycznych przy pomocy kondensatorów bocznikowych. Lokalizacja stacji kondensatorowych. Wyniki z eksploatacji instalacji kondensatorów w systemie Bonneville Power Administration — uszkodzenia, ochrona, łączenie i wymagania stawiane łącznikom, typy stacji.

514* 621.3.054.2 IEl

Crary S. B., Saline L. E.: **Lokalizacja kondensatorów szeregowych w sieciach przesyłowych wysokiego napięcia.** „Location of series capacitors in high-voltage transmission systems". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 1140, A4, 9 str., 15 rys., 6 tabl., 24 poz. bibl. — Metody stosowania i lokalizacja stacji kondensatorów szeregowych włączanych celem zwiększenia stabilności przejściowej linii. Rozważania prowadzono dla linii o długości 300 — 600 mil ang. na napięcie 230 — 380 kV. Zagadnienie ekonomiczne.

515* 621.3.066.6 IEl

Wilson W. R.: **Trwałość posrebrzanych styków przy powtarzających się łukach.** „Sife of silver-surfaced contacts on repetive arcing duty". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 3, cz. 3, 1953, s. 1236; A4, 7 str., 11 rys., 6 tabl. 5 poz. bibl. — Wyniki i opis przeprowadzonych prób laboratoryjnych celem określenia trwałości (okresu życia) posrebrzanych styków elektrycznych. Metodyka prób. Jakościowe i ilościowe wpływy poszczególnych czynników.

516* 621.3.067.2 IEl

Briggs E. E. (i inni): **Hydrauliczne mechanizmy napędowe dla wyłączników dużej mocy.** „Hydraulic operating mechanisms for high-capacity circuit breakers". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 874; A4, 5 str., 6 rys., 2 poz. bibl. — Hydrauliczno-pneumatyczny mechanizm napędowy dla wyłączników dużych mocy — opis konstrukcji; działanie przy włączaniu, wyłączaniu i samoczynnym ponownym włączaniu; urządzenia sterujące; zalety w stosunku do innych rozwiązań.

Maszyny elektryczne

517* 621.313.2—8:621.3.015.54 IEl

Coho O. C.: **Moment obrotowy przy powstaniu łuku w prądnicy prądu stałego.** „Flashover torque of D—C generator". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, s. 43; A4, 5 str., 1 fot., 2 rys., 4 wykr., 4 poz. bibl. — Wyniki pomiarów przebiegu momentu obrotowego prądnicy prądu stałego przy powstaniu łuku na komutatorze. Dane techniczne prądnicy i opis prób. Przebieg zmienności momentu podczas powstawania łuku. Zależność momentu od prędkości obrotowej, wzbudzenia i oporności zwarcia.

518* 621.313.322—81:621.317.2 IEl

Stevens R. W., Rosa M. D.: **Badanie wielkich prądnic turbinowych w zakładzie wytwórczym.** „Factory testing of large turbine generators". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 676; A4, 5 str., 3 fot., 3 rys., 1 wykr., 1 tabl., 2 poz. bibl. — Program prób wstępnych, prób wyrobu i prób typu stosowanych dla prądnic turbinowych w zakładach Westinghouse Electric Corporation. Przebieg dotychczas stosowanych prób i wymagania co do prób w przyszłości. Opis nowego laboratorium do badania wielkich prądnic turbinowych. Wyposażenie do badań, w szczególności dławiki do obciążania prądnic.

519* 621.313.322.025.3:629.135.06 IEl

Wilson B. J.: **Metody wyznaczania charakterystyk niesymetrycznie obciążonych trójfazowych prądnic o regulowanym napięciu w stanie ustalonym.** „Methods for prediction of steady-state performance for unbalanced regulated 3-phase generators". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 413; A4, 10 str., 6 rys., 10 wykr., 6 tabl., 6 poz. bibl. — Na podstawie analizy działania układu regulacyjnego przy asymetrii wyznaczono równania określające napięcie na uzwojeniu wzbudzenia prądnicy. Ogólny graficzny sposób rozwiązania tych równań i rozwiązanie analityczne w szczególnych przypadkach. Zastosowanie obydwu metod do prądnicy lotniczej o częstotliwości 400 Hz.

320* 621.313.322.044.53 IEl

Ginsberg D., Jokl A. L., Blum L. M.: **Obliczanie kształtu fali napięcia przy biegu jałowym prądnic synchronicznych z biegunami wydatnymi.** „Calculation of no-load wave shape of sa-

lient pole A—C generators". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 974; A4, 6,5 str., 3 rys., 13 wykr., 3 tabl., 5 poz. bibl. — Wyprowadzenie wzorów określających udział wyższych harmonicznych w krzywej napięcia prądnicy synchronicznej o biegunach wydatnych w zależności od ukształtowania i wymiarów nabiegunników i szczeliny powietrznej. Na podstawie wyprowadzonych wzorów sporządzono wykresy ułatwiające obliczenia. Porównanie wyników obliczeń z pomiarami przeprowadzonymi dla 4 prądnic.

521* 621.316.717:621.313.323 IEl

Bakunc W.: **Doświadczenie bezpośredniego rozruchu silnika synchronicznego 600 kW na pełne robocze napięcie 6 kV.** „Opyt priamowo zapuska sinchronnowo elektrodwigatiela 600 kW na połnoje raboczeje napriażenje 6 kV". Energietik, Moskwa, mies., Nr 1, czerw. 53, s. 20; A4, 2 str., 1 rys. — Zastosowanie silnika synchronicznego zamiast przewidywanego asynchronicznego do napędu młyna kulowego. Trudności związane z rozruchem silnika synchronicznego dużej mocy. Układ połączeń i zabezpieczenia silnika. Rozruch bezpośredni opisywanego silnika synchronicznego, związane z tym spadki napięć i wpływ na pracę pozostałych silników. Korzyści stosowania silników synchronicznych.

522* 621.313.333:621.3.048.001.5 IEl

Leape C. B., McDonald J., Gibson G. P.: **Metoda oceny układów izolacyjnych w silnikach.** „A method of evaluating insulation systems in motors". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 793; A4, 6 str., 4 fot., 4 rys., 3 wykr., 2 tabl., 9 poz. bibl. — Opis metody oceny układów izolacyjnych w trójfazowych silnikach indukcyjnych. Przebieg próby polegający na kolejno po sobie następujących okresach: pracy z nawrotami, działania wilgoci i działania suchego powietrza. Po każdym cyklu prób przeprowadzone są pomiary stanu izolacji. Wyniki badań dwóch układów izolacyjnych ilustrujące zmiany wyników pomiarów w miarę starzenia się izolacji.

523* 621.313.333.1:621.316.719 IEl

Cochran P.: **Obliczanie charakterystyk hamowania dynamicznego pierścieniowych silników indukcyjnych.** „Calculation of dynamic braking characteristics of wound rotor induction motors". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 992; A4, 4,5 str., 4 rys., 7 wykr., 1 tabl., 3 poz. bibl. — Określanie charakterystyk hamowania prądem stałym pierścieniowych silników indukcyjnych z uwzględnieniem nasycenia magnetycznego. Wyznaczanie siły magnetomotorycznej przy zasilaniu stojana prądem stałym. Wyprowadzenie wzorów do obliczania charakterystyki biegu jałowego i rozmagnesowującego działania prądów wirnika.

524* 621.313.333.2 IEl

Courtin J. J.: **Sprawozdanie z porównania artykułów o wirniku dwuklatkowym.** „Report on double-cage rotor symposium". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 657; A4, 5,5 str., 8 rys., 2 wykr., 9 tabl., 6 poz. bibl. — Artykuł zawiera omówienie wyników obliczeń tego samego silnika dwuklatkowego o mocy 75 HP przez różnych autorów. Zestawienie danych silnika i porównanie wyników obliczeń. Opis prób przeprowadzonych na zbudowanym silniku i szczegółowe wyniki pomiarów.

525* 621.313.333.2:621.316.719 IEl

La Pierre W., Metaxas N.: **Hamowanie dynamiczne klatkowych silników indukcyjnych.** „D—C dynamic braking of squirrel-cage induction motors". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 3, 1953, s. 981; A4, 6 str., 3 rys., 5 wykr., 3 tabl., 6 poz. bibl. — Metoda obliczania zależności momentu obrotowego od prędkości silników klatkowych przy hamowaniu prądem stałym. Obliczanie średniej i maksymalnej wartości momentu. Porównanie wyników obliczeń z wynikami przeprowadzonych pomiarów. Wyniki wykazały rozbieżność co do wartości momentu maksymalnego, które autorzy przypisują powstawaniu dodatkowego momentu obrotowego pochodzenia takiego jak w induktorze. W dyskusji zakwestionowano słuszność tej interpretacji i jako przyczynę niezgodności podano wpływ nasycenia.

Transformatory

526* 621.314.21:621.3.014.3 IEl

Clem J. E.: **Wytrzymałość termiczna i mechaniczna krótkotrwała transformatorów i dławików.** „Short time thermal and mechanical limits for transformers and reactors". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 432; A4, 13 str., 17 wykr., 4 tabl., 13 poz. bibl. — Obliczanie wytrzymałości termicznej transformatorów i dławików w warunkach zwarciowych. Określenie temperatury granicznej przy zwarciu. Starzenie izolacji w zależności od temperatury uzwojeń oraz czasu trwania i częstości zwarć. Rewizja wymagań normy na wytrzymałość dynamiczną transformatorów przy zwarciach.

527* 621.314.21:621.3.017.72 IEl

Fohrholtz H. A.: **Optymalne warunki pracy urządzeń chłodzących w transformatorze.** „Transformer cooling equipment has optimum operating conditions". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 424; A4, 2,5 str., 2 wykr., 3 tabl., 2 poz. bibl. — Zagadnienie związane z najkorzystniejszą pracą urządzeń chłodzących w transformatorze. Transformator olejowy o chłodzeniu własnym zaopatrzony dodatkowo w wentylatory. Przekaźnik rejestrujący temperaturę uzwojenia uruchamiający wentylatory. Dobór temperatur włączania i wyłączania wentylatorów dla osiągnięcia optymalnych warunków pracy przy chłodzeniu tego rodzaju.

528* 621.314.212:621.316.926 IEl

Bean R. L., Cole H. L.: **Przekaźnik ciśnieniowy do ochrony transformatorów.** „A sudden gas pressure relay for transformer protection". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 480; A4, 3 str., 3 rys., 2 wykr., 3 poz. bibl. — Opis konstrukcji i działania przekaźnika do transformatorów olejowych. pobudzanego przez nagłe zmiany ciśnienia w kadzi. Próby działania. Dane z eksploatacji.

529* 621.314.222.6.004 IEl

Kondachczan W.: **O dopuszczalnym przeciążeniu transformatorów.** „O dopustimoj pieriegruzkie transformatorow". Raboczij Energ., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 37; A4, 1 str., 1 rys. — Zagadnienie przeciążalności dobowej i rocznej transformatorów typu TM mocy 50 — 180 kVA. Autor podaje wykres zależności wielkości przeciążenia od czasu jego trwania. Dane odnośnie przeciążenia transformatorów w zależności od pór roku.

Kable

530* 621.315.21:621.3.017.7 IEl

Hadley W. A., Eisenstadt R. E.: **Krytyczne warunki wilgotności ziemi dla kabli ułożonych w ziemi.** „A critical soil moisture condition affecting buried transmission cables". Trans. amer. Inst. electr. Engrs. New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 849, A4, 3 str., 6 rys., 2 poz. bibl. — Opis i wyniki prób przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych celem określenia rozchodzenia się ciepła w kablach ułożonych w ziemi. Krytyczna wilgotność ziemi (około 4% wagowo), przy której odpływ ciepła z kabla jest minimalny.

531* 621.315.23:624.21 IEl

Hawley D. C.: **Przejścia kablowe na mostach i wiaduktach.** „Power cable crossings on bridges and viaducts". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 1312; A4, 9,5 str., 16 rys., 14 poz. bibl. — Prowadzenie linii kablowych przez mosty lub wiadukty — czynniki dotyczące konstrukcji kabli oraz rozwiązań instalacji i metod prowadzenia. Uwagi z praktyki.

Przewody

532* 621.315.53:621.315.68 IEl

Tompkins J., Lanctot E. K.: **Próby osprzętu izolowanych przewodów aluminiowych.** „Tests of fitting on insulated aluminium cable". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 865; A4, 8 str., 14 rys., 1 poz. bibl. — Łączenie przewodów aluminiowych — próby na grzanie i ich wyniki. Stosowany osprzęt — złączki, końcówki, zaciski itp. przystosowany najlepiej dla przewodów aluminiowych.

Sieci i podstacje

533* 621.316.26 IEl

Schematy jednofazowe stacji. „Substation on one-line diagrams". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 747; A4, 4,5 str., 17 rys., 2 poz. bibl. — Podstawowe schematy stosowanych typów stacji w układach przesyłowych i sieciach rozdzielczych. Dyskusja poszczególnych rozwiązań w celu wyboru najlepszego typu stacji, jako stacji znormalizowanej.

Odłączniki

534* 621.316.545.027.3 IEl

Lingal H. J., Owens J. B.: **Nowy wysokonapięciowy, napowietrzny odłącznik mocy.** „A new high-voltage out door load interrupter switch". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 293; A4, 3 str., 3 fot., 2 rys., 3 oscylogr., 1 poz. bibl. — Powietrzny odłącznik mocy 115 kV o konstrukcji napowietrznej z widoczną przerwą międzystykową — konstrukcja, działanie i przeprowadzone próby. Odłącznik ma zdolność wyłączania i włączania znamionowego prądu obciążenia, prądu ładowania linii i prądu magnesującego transformatorów.

Wyłączniki

535* 621.315.1.001:621.316.57 IEl

Johnson J. B., Schultz A. J., Skeats W. F.: **Napięcia powrotne i wymagania zwarciowe dla wyłączników wysokonapięciowych.** „System recovery voltage and short circuit duty for high-voltage circuit breakers". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 1339; A4, 6 str., 16 rys., 11 poz. bibl. — Badania nad napięciami powrotnymi w typowych układach elektroenergetycznych 138, 230 i 330 kV przeprowadzone na analizatorze stanów nieustalonych. Pomiary prowadzono dla różnych charakterystycznych punktów sieci. Celem badań było określenie wymagań dotyczących napięć powrotnych dla wyłączników stosowanych w przyszłości w amerykańskich sieciach elektrycznych.

536* 621.316.57.064.241. IEl

Beall B. S., Stewart V. N.: **Nowa seria niskonapięciowych wyłączników powietrznych.** „New line of low-voltage air circuit breakers". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 78, cz. 3, 1953, s. 1207; A4, 7 str., 18 rys., 1 tabl., 3 poz. bibl. — Opis nowej serii wyłączników powietrznych dla sieci niskiego napięcia (do 600 V), o prądach wyłączalnych 50 — 100 kA — komora gasząca, konstrukcja styków, napędowy mechanizm sprężyny, przekaźnik nadprądowy, próby i ich wyniki.

537* 621.316.57.064.26 IEl

Phillips V. E., Miller R. H.: **Charakterystyki udarowe wyłączników pełnoolejowych.** „Short time impulse voltage characteristics of tank-type oil circuit breakers". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 998; A4, 2,5 str., 5 rys., 8 poz. bibl. — Wyniki i opis prób przeprowadzonych dla określenia charakterystyk napięciowo-czasowych wytrzymałości wyłączników olejowych. Szczególną uwagę zwrócono na udary krótkotrwałe (ucięte po 2 μs) o wartości szczytowej wyższej od podstawowego poziomu izolacji. Stwierdzono, że charakterystyki wyłączników pokrywają się niemal z charakterystyką przepustów.

538* 621.316.57.064.45:621.365.2 IEl

Schrameck J. E., Walker J. K.: **Nowoczesny wyłącznik powietrzny do pieców łukowych.** „A new compressed-air circuit breaker for arc-furnace switching duty". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 673; A4, 3 str., 3 fot., 1 wykr., 6 poz. bibl. — Wymagania stawiane wyłącznikom obsługującym piece łukowe. Opis konstrukcji, działania i przeprowadzonych prób nowego wyłącznika powietrznego o napięciu 34,5 kV i mocy wyłączalnej 500 MVA, specjalnie przystosowanego do współpracy z elektrycznym piecem łukowym.

Urządzenia zabezpieczające i ochronne

539* 621.316.933.6:621.316.1 IEl

Ackermann O.: **Wymagania dla odgromników wydmuchowych w sieciach rozdzielczych.** „The duty on expulsion-type lightning arresters for distribution systems". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 759; A4, 8 str., 11 rys., 2 tabl., 15 poz. bibl. — Wyniki eksploatacji odgromników wydmuchowych w sieciach rozdzielczych w okresie od 1932 r. — charakter łuku i prądów następczych; napięcie powrotne, częstość działania, okres życia odgromników. Porównanie wymagań stawianych odgromnikom wydmuchowym w eksploatacji ze znormalizowanymi próbami typu oraz wnioski co do ich uzupełnienia.

540* 621.316.933:621.316.26 IEl

Gross J. W., Le Vesconte L. B., Dillard J. K.: **Ochrona odgromowa stacji bardzo wysokiego napięcia — wpływ linii wieloborowych.** „Lightning protection in extra high voltage stations — influence of multiple circuits". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 882; A4, 7 str., 11 rys., 5 tabl., 5 poz. bibl. — Zagadnienia związane z ochroną odgromową i lokalizacją odgromników w stacji transformatorowej 330 kV. Szczególnie rozważano możliwość zmniejszenia koniecznej liczby odgromników w stacjach z liniami wielotorowymi, przyłączonymi do wspólnych szyn zbiorczych. Pomiary przeprowadzone na analizatorze stanów nieustalonych przy udarach różnego kształtu.

541* 621.316.26:621.316.933:551.594.221 IEl

Ellis H. M.: **Badania burzowe w dwóch stacjach 115/230 kV w ciągu 1947 — 1951.** „Lightning investigations at two major 115/230 kV stations, 1947 — 1951". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 337; A4, 5 str., 3 fot., 6 wykr., 2 tabl., 9 poz. bibl. — Opis i wyniki kilkuletnich badań burzowych przeprowadzonych w dwóch stacjach 115/230 kV w celu określenia skuteczności stosowanej ochrony odgromowej przez linki odgromowe i iskierniki koordynacyjne. Dane charakteryzujące spotykane przepięcia — amplituda, kształt, częstość występowania, tłumienia fal. Urządzenia pomiarowe i rejestrujące.

542* 621.316.98:621.315.1 IEl

Foust C. M., Maine B. C., Lee C.: **Ochrona przed uderzeniem piorunu na dużych wzniesieniach w Peru.** „Lightning troke protection at high altitude in Peru". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 383; A4, 9 str., 1 fot., 1 rys., 7 wykr., 16 tabl., 8 poz. bibl. — Badania burz oraz ochrony odgromowej linii 50 kV w okolicach o bardzo dużym natężeniu i częstości burz w Peru w okresie 1944—1949. Zastosowanie linki odgromowej i ustawionych na specjalnych słupach wzdłuż linii piorunochronów. Wyniki badań i ich dyskusja.

543* 621.316.993:621.317.329 IEl

Armstrong H. R.: **Charakterystyki elektrod uziemiających na podstawie prób modelowych.** „Grounding electrode characteristics from model tests". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 1301; A4, 5 str., 16 rys., 8 poz. bibl. — Wyniki i opis pomiarów przeprowadzonych w wannie elektrolitycznej celem określenia charakterystyk (oporność, gradienty napięcia, rozpływ prądu) różnego typu uziomów. Określono na podstawie próbek różnego rodzaju gleby ciepło właściwe i napięcia iskrzenia.

544* 621.316.995.001.24 IEl

Zaborszky J., Rittenhouse J. W.: **Wykresy do określenia optymalnych wymiarów uziomów rurowych.** „Design charts for determining optimum ground- rod dimensions". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 810; A4, 6 str., 8 rys., 2 tabl., 6 poz. bibl. — Wskazówki do projektowania uziemień podane w formie wykresów określających optymalne wymiary uziomów. Minimalna waga, najlepszy kształt, zagadnienie doboru uziomu o optymalnych wymiarach dla uzyskania pożądanej oporności. Uziomy pojedyncze i złożone.

545* 621.316.999:621.316.26 IEl

Gross E. T. B., Chitnis B. V., Stratton L. J.: **Uziomy kratowe stacji wysokiego napięcia.** „Grounding grids for high-voltage stations". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 799; A4, 9 str., 9 rys., 6 tabl., 19 poz. bibl. — Opis uziemień w formie siatki uziemiającej w stacjach elektroenergetycznych w terenach skalistych, gdzie stosowanie uziomów rurowych jest niemożliwe. Obliczanie oporności oraz pojemności siatek uziemiających względem ziemi. Przykłady obliczeniowe.

Miernictwo elektryczne

546* 621.317.2.014.3:621.316.3 IEl

Skeats W. F., Williams R. W.: **Opis laboratorium badawczego przyrządów rozdzielczych w Filadelfii.** „Features of the Philadelphia switchgear development laboratory". Trans. amer. Inst. electr. Engrs., New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 770; A4, 10 str., 22 rys., 8 poz. bibl. — Opis wyposażenia, metod pracy i dane z jednorocznej eksploatacji nowoczesnego laboratorium zwarciowego wielkich mocy w Filadelfii.

547* 621.317.333.82:621.315.62 IEl

Park J. H.: Cones H. N.: **Próby na przebicie porcelanowych izolatorów rozdzielczych udarami o stromym czole.** „Puncture tests on porcelain distribution insulators using steep-front voltage surges". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 737; A4, 4 str., 3 fot., 2 rys., 3 oscylogr., 3 tabl., 4 poz. bibl. — Opis prób laboratoryjnych przebicia porcelanowych izolatorów liniowych, 7,2 i 14,4 kV, typu trzonowego udarami o bardzo stromym czole. Metodyka prób oraz ich wyniki.

548* 621.317.39:531.775 IEl

Frazier R. H.: **Tachometr prądu zmiennego wzbudzany prądem stałym.** „Drag-cup A-C tachometer with constant-current excitation". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 72, cz. 2, 1953, s. 150; A4, 2 str., 1 rys., 2 poz. bibl. — Zagadnienie powiększenia dokładności pomiaru tachometrem prądu zmiennego wzbudzanym prądem stałym. Analiza wzoru na napięcie wyjściowe ułożonego na podstawie schematu zastępczego. Zachowanie się tachometru przy zmiennej prędkości.

549* 621.317.714:621.316.925.43 IEl

Taleporowskij Ł.: **Przenośne urządzenie pomiarowe.** „Pierienosnaja izmieritielnaja ustanowka". Raboczij Energ., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 19; A4, 1,5 str., 4 rys. — Układ przenośny służący do badań ochrony nadmiarowej i sprawdzania amperomierzy. Układ do badania przekaźnika z elementem czasowym i nadmiarowo prądowym. Sposób wykonywania pomiarów. Zalety układu.

550* 621.317.73:621.314.21 IEl

Płachin A.: **Urządzenie do pomiaru oporności rzeczywistej i współczynnik transformacji transformatorów.** „Prisposoblenje

dla zamiera omiczeskowo soprotiwlenja i koeficjenta transformacji transformatorow". Raboczij Enierg., Moskwa, mies., Nr 3, marz. 53, s. 18; A4, 1,5 str., 1 rys., — Trudności związane z pomiarem oporności oraz przekładni transformatorów mocy z regulowanym napięciem. Schemat i opis opracowanego przez autora urządzenia pozwalającego na znaczne uproszczenie pomiarów. Sposób wykorzystania pomiarów.

Generatory udarowe

551* 621.319.53:621.317.333.8:621.314.21 IEl

Johnson G. H.: **Generator udarowy do prób transformatorów udarami uciętymi.** „An impulse generator circuit for chopped-wave tests on transformers". Trans. amer. Inst. electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 839; A4, 2,5 str., 4 rys. — Układ probierczy stosowany przy próbach udarowych transformatorów pozwalający na dokładne nastawienie czasu do ucięcia udaru przyłożonego. Teoria działania. Sposób stosowania.

Oświetlenie elektryczne

552* 621.32:628.972.726.5 IEl

Codegone C.: **Oświetlenie Bazyliki św. Piotra w Rzymie.** „L'éclairage de la Basilique Sait-Pierre à Rome". Lux, Paris, 5 razy w ciągu roku, Nr 3, sierp.—wrzes.—paźdz. 53, s. 18; A4, 3 str., 3 fot. — Charakterystyka nowych rozwiązań oświetlenia żarowego wnętrza i elewacji Bazyliki, z których jedno służy do codziennego, zwykłego użytkowania — drugie do użytkowania w czasie wielkich uroczystości. Dane techniczne dotyczące zastosowanego sprzętu oświetleniowego, uzyskanych poziomów natężeń oświetlenia oraz mocy zainstalowanych. Ocena urządzeń z punktu widzenia oświetleniowego i artystycznego.

553* 621.327 IEl

Beggs W.: **Tendencje amerykańskie w przemyśle lamp wyładowczych.** „Tendances américaines dan l'industrie des lampes à décharge". Lux, Paris, 5 razy do roku, Nr 5, grud. 53, s. 104; A4, 7 str., 4 fot., 2 rys., 5 wykr. — Rozwój i stan obecny produkcji lamp fluoryzujących oraz lamp rtęciowych z luminoforem, głównie z punktu widzenia barwy światła, sprawności i trwałości. Charakterystyka obecnych wyrobów. Zakres stosowania oraz ocena możliwości dalszych ulepszeń.

554* 621.327.3 IEl

Jenkins H. G., McKeag A. H.: **Lampy rtęciowe wysokiej prężności z luminoforem.** „Lampes fluorescentes à mercure haute pression". Lux, Paris, 5 razy do roku, Nr 4, list. 53, s. 87; A4, 6,5 str., 1 fot., 6 wykr., 3 tabl., 10 poz. bibl. — Stan obecny produkcji lamp rtęciowych wysokiej prężności z luminoforem oraz szczegółowa charakterystyka tych lamp. Ocena możliwości dalszej poprawy barwy światła. Porównanie z rurami fluoryzującymi oraz opinie o zakresie zastosowania.

555* 621.327.3.004 IEl

Janin J.: **Zastosowanie fotochemiczne i biologiczne lamp rtęciowych.** „Application fotochimique et biologique des lampes à vapeur de mercure". Lux, Paris, 5 razy w ciągu roku, Nr 3, sierp.—wrzes.—paźdz. 53, s. 66; A4, 1 str. — Krótka charakterystyka lamp rtęciowych stosowanych do celów bakteriobójczych i leczniczych oraz lamp stosowanych w przemyśle farmaceutycznym, spożywczym, chemicznym, fotograficznym i fotochemicznym.

556* 621.327.43:628.971 IEl

Roy-Pochon C.: **Fluorescencyjne oświetlenie ulic.** „Voies publiques éclairées en fluorescence". Lux, Paris, 5 razy do roku, Nr 1, stycz.—luty—marz.—kw. 54, s. 11; A4, 5 str., 12 fot. — Zasady oświetlenia ulic lampami fluoryzującymi. Wymagania dotyczące zabezpieczenia lamp, budowy opraw oświetleniowych oraz sposobów ich rozmieszczania. Kilka przykładów oświetlenia ulic Paryża.

557* 628.9.001.24 IEl

Wetzel J.: **Projekt oświetlenia.** „Le projet d'éclairage". Lux, Paris, 5 razy do roku, Nr 1, stycz.—luty—marz.—kw. 54, s. 7; A4, 4 str. — Krytyczna ocena dotychczasowych metod projektowania oświetlenia, w szczególności metodą współczynnika sprawności. Wnioski praktyczne dotyczące danych fotometrycznych opraw, wartości współczynników, zalecanych natężeń oświetlenia oraz stopnia dokładności obliczeń.

558* 628.971 IEl

Oświetlenie uliczne w czasie Tygodnia Światła w Dijon 1953. „L'éclairage urbain à la Semaine de la Lumière de Dijon 1953". Lux, Paris, 5 razy do roku, Nr 5, grud. 53, s. 113; A4, 2 str., 12 fot. — Dane techniczne i oświetleniowe opraw do żarówek i świetlówek oraz sposób ich zastosowania i osiągnięte wyniki.

559 628.973:727.7 IEl

Rievière G. H.: **Oświetlenie przedmiotów w muzeach sztuki i historii.** „L'éclairage des objets dans les musées d'art et d'histoire". Lux, Paris, 5 razy do roku, Nr 5, grud. 53, s. 112; A4, 3,5 str., 2 poz. bibl. — Przedstawienie zagadnienia oświetlenia wnętrz muzeów z punktu widzenia wymagań oświetleniowych i estetycznych, z uwzględnieniem ochrony przedmiotów przed szkodliwym działaniem nadfioletu i podczerwieni. Zakres i sposób stosowania żarówek i lamp fluoryzujących.

560* 628.973 IEl

Déribéré M.: **Widowiska w Val de Loire.** „Spectacles au Val de Loire". Lux, Paris, 5 razy do roku, Nr 4, list. 53; s. 80; A4, 1 str., 2 fot. — Dekoracyjne oświetlenie projektorowe historycznych zabytków architektury francuskiej stanowiące nową dziedzinę sztuki. Wrażenia psychologiczne.

561* 628.974 IEl

Déribéré M.: **Czar światła nad Francją.** „Féeries de lumière sur la France". Lux, Paris, 5 razy w ciągu roku, Nr 3, sierp—wrzes.—paźdz. 53, s. 61; A4, 3 str., 6 fot. (+ 12 poza tekstem). — Krótka charakterystyka niektórych, wybitniejszych rozwiązań oświetlenia projektowanego historycznych zabytków architektury francuskiej. Analiza osiągniętych efektów oświetleniowych i artystycznych.

Elektrochemia

562* 621.35:621.365 IEl

Sevin R.: **Modernizacja i wydajność we francuskim przemyśle elektrochemicznym i elektrometalurgicznym.** „Modernisation et productivité dans les industries électrochimiques et électrométallurgiques françaises". J. Four electr., Paris, dwumies., t. 62, Nr 3, maj—czerw. 53, s. 77; A4, 6 str., 12 fot. — Omówienie nowoczesnych zakładów przemysłu elektrochemicznego i elektrometalurgicznego we Francji, ze szczególnym uwzględnieniem zmodernizowanych urządzeń elektrotermicznych — pieców łukowych jedno- i trójfazowych: wanien Soderberga do produkcji aluminium itp. Niektóre wskaźniki wydajności i dane ekonomiczne z obu gałęzi przemysłu.

563* 621.357:1:669.713.7 IEl

Ferrand L.: **Warunki pracy wanien elektrolitycznych do produkcji aluminium z rudy o małej zawartości aluminu.** „Les conditions de fonctionnement des cuves d'électrolyse pour la fabrication de l'aluminium aux faibles teneurs en alumine". J. Four electr., Paris, dwumies., t. 62, Nr 1, stycz.—luty 53, s. 15; A4, 3 str., 1 rys., 10 poz. bibl. — Analiza zjawisk fizyko-chemicznych w elektrolitach o małej zawartości aluminu (Al_2O_3); zależność stopnia dysocjacji oraz przewodności elektrycznej od zawartości procentowej Al_2O_3 w elektrolicie. Wpływ temperatury na przebieg zjawisk w elektrolicie. Określenie optymalnych warunków pracy wanien.

Rozrząd zdalny

564* 621.311.1:621.398.2 IEl

Cardell T. E., Clarke M. W., Ranelle H.: **Sterowanie automatyczne i nadzorcze systemu hydroelektrycznego Calgary Power Ltd — Doświadczenia eksploatacyjne.** „Automatic and supervisory control of Calgary Power Ltd. hydroelectric system — Operating experiences". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 92; A4, 3,5 str., 1 poz. bibl. — System elektroenergetyczny o kombinowanym zasilaniu przez hydroelektrownie i elektrociepłownie o łącznej mocy 160 MVA całkowicie zautomatyzowany, sterowany z centralnej stacji dyspozycyjnej. Doświadczenia uzyskane w ciągu eksploatacji w 1952 r. — działanie urządzeń oraz systemów sterujących, napotykane trudności, awarie. Rozważanie ekonomiczne co do stosowania automatyzacji systemu.

565* 621.311.1:621.398.2 IEl

Układy zdalnego wyzwalania. „Remote tripping schemes". Trans. amer. Inst. Electr. Engrs, New York, t. 73, cz. 3, 1953, s. 142; A4, 8 str., 7 tabl., 2 poz. bibl. — Metody pozwalające na zdalne wyzwalanie wyłączników (szczególnie ważne dla stacji nie zaopatrzonych w wyłączniki między linią i transformatorem). Zasada działania poszczególnych układów oraz zebrane przy pomocy ankiety dane z eksploatacji w sieciach elektroenergetycznych USA. Wnioski.

Niniejszy Przegląd Bibliograficzny zawiera jedynie część analiz dokumentacyjnych publikacji z zakresu elektrotechniki. Pełna dokumentacja ukazuje się w postaci kart dokumentacyjnych, wydawanych przez Centralny Instytut Dokumentacji Naukowo-Technicznej (Warszawa, Al. Niepodległości 188). CIDNT przyjmuje prenumeratę kart dokumentacyjnych, która może obejmować zarówno całą dokumentację naukowo-techniczną, jak i działy lub poszczególne zagadnienia i tematy techniczne.

CINDT wykonuje za zwrotem kosztów fotokopie i mikrofilmy publikacji objętych Przeglądem Dokumentacyjnym jak i kartami dokumentacyjnymi.

Biblioteka

VI. MATERIAŁY CERAMICZNE I MINERALNE DLA ENERGOELEKTRYKI

Calikowski R. Tworzywa mineralne w budowie współczesnych przyrządów elektrotechnicznych. 666.
Guzek Zb., Święcki Zb. Surowce ceramiczne do celów elektrotechniki. 667.
Winogradow L. Porcelana. 671.
Skowroński J. I. Szkło izolatorowe. 673.
Skowroński J. I., Juchniewicz J., Widurski T. Kamionka jako materiał izolacyjny dla elektrotechniki. 675.
Mazur M. Ceramika elektrotermiczna. 680.
Guzek Zb., Święcki Zb. Elektrotechniczne spoiwa nieorganiczne. 682.
Święcki Zb. Zwiększanie zawartości mulitu w wyrobach ceramicznych przez zmianę procesu technologicznego. 684.
Ranachowski J., Wehr J. Zastosowanie defektoskopii ultradźwiękowej do prób wysokonapięciowych izolatorów ceramicznych. 688.

VII. MATERIAŁY CERAMICZNE I MINERALNE DLA TELEELEKTRYKI

Badian L. Dielektryki ceramiczne w technice wielkiej częstotliwości. 695.
Pajewski W. Ferroelektryki. 701.
Pajewski W. Materiały piezoelektryczne. 703.
Kossakowski J. Mika i jej pochodne. 704.

VIII. MATERIAŁY DLA ELEKTRONIKI

Maksymowicz E. Szkła lampowe. 706.
Malikowski K. Spoiwa. 709.
Mikke K. Materiały zmiennooporowe. 711.
Majewski Z. German i krzem. 717.
Morkowska K. Pasty emisyjne półprzewodnikowe. 728.
Morkowska K. Pasty izolacyjne stosowane w lampach elektronowych. 733.
Okoniewski St. Metale próżniowe. 735.
Bryjak E., Leśniak Ch. Badania nad krzemowaniem molibdenu. 744.

IX. RÓŻNE

Warmus M. Rachunek przybliżony w zakresie pomiarów technicznych i wynikających z nich błędów. 749.
Kołodziejczyk Z. Normalizacja w zakresie materiałów stosowanych w elektrotechnice. 753.
Pilawski B. Uwagi o trudnościach przy realizowaniu postępu technicznego w przedsiębiorstwie. 760.
Pierwiastki chemiczne. 760.
Przegląd Dokumentacyjny Elektrotechniki. B37, B41.

VI. КЕРАМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ СИЛЬНЫХ ТОКОВ

Цаликовский Р. Минеральные вещества для постройки современных электрических приборов. 666.
Гузек Зб., Свенцкий Зб. Керамическое сырье для нужд электротехники. 667.
Виноградов Л. Фарфор. 671.
Сковроньский Е. И. Изоляторное стекло. 673.
Сковроньский Е. И., Юхневич Е., Видурский Т. Огнеупорная глина как изолирующий материал в электротехнике. 675.
Мазур М. Керамика для нужд электротермии. 680.
Гузек Зб., Свенцкий Зб. Неорганические вяжущие вещества в электротехнике. 682.
Свенцкий Зб. Увеличение компактности мулита в керамических изделиях путем изменения технологического процесса. 684.
Ранаховский И., Вэр И. Применение ультраакустической дефектоскопии для испытания высоковольтных керамических изоляторов. 688.

VII. КЕРАМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НУЖД ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ СЛАБЫХ ТОКОВ

Бадиан Л. Керамические диелектрики в технике высокой частоты. 695.
Паевский В. Ферроэлектрические материалы. 701.
Паевский В. Пиезоэлектрические материалы. 703.
Коссаковский Я. Слюда и ея производные. 704.

VIII. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ

Максимович Е. Ламповое стекло. 706.
Маликовский К. Цокольная мастика. 709.
Микке К. Материалы переменного сопротивления. 711
Маевский З. Германий и кремний. 717.
Морковская К. Эмиссионные полупроводниковые пасты. 728.
Морковская К. Изоляционные пасты, применяемые в электронных лампах. 733.
Оконевский С. Вакуумные металлы. 735.
Брыяк Е., Лесняк Х. Исследования в области силицирования молибдена. 744.

IX. ПРОЧЕЕ.

Вармус М. Приближенное исчисление в области технических измерений и связанных с ними погрешностей. 749.
Колодзейчик З. Нормализация в области материалов, применяемых в электротехнике. 753
Пилявский Б. Замечания по поводу затруднений встречаемых при осуществлении технического прогресса в предприятии. 760
Химические элементы. 760. Библиографический Обзор электротехники. B 37, B 41.

VI. CERAMIC AND MINERAL MATERIALS FOR ELECTRIC POWER ENGINEERING

Calikowski R. Mineral Materials for the Construction of Modern Electrical Instruments. 666.
Guzek Zb., Święcki Zb. Ceramic Raw Materials for Electrical Engineering. 667.
Winogradow L. Electrical Porcelain. 671.
Skowroński J. I. Insulator Glass. 673.
Skowroński J. I., Juchniewicz J., Widurski T. Fire-Clay as Insulating Material in Electrical Engineering. 675.
Mazur M. Ceramics for Electrothermics. 680.
Guzek Zb., Święcki Zb. Electrical Anorganic Solder. 682.
Święcki Zb. „Mulit" Enrichment of Ceramic Products by Alteration of the Technological Process. 684.
Ranachowski J., Wehr J. Ultra-sound Defectoscopy in the Testing of Ceramic High Voltage Insulators. 688.

VII. CERAMIC AND MINERAL MATERIALS IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING

Badion L. Ceramic Dielectrics in High Frequency Technics. 695.
Pajewski W. Ferroelectrics. 701.
Pajewski W. Piezoelectric Materials. 703.
Kossakowski J. Mica and Mica Products. 704.
VIII. MATERIALS FOR ELECTRONICS
Maksymowicz E. Valve Glasses. 706.
Malikowski K. Cements for Vacuum Valves. 709.
Mikke K. Varying Resistance Materials 711.
Majewski Z. Germanium and Silicon. 717.
Morkowska K. Semi-Conductor Emission Pastes. 728.
Morkowska K. Insulating Coatings for Vacuum Valves. 733.
Okoniewski Z. Vacuum Metals. 735.
Bryjak R., Leśniak Ch. Research on Silicon Coating of Molybdenum. 743.

IX. MISCELLANEA

Warmus M. Approximate Computation in Technical Measurements and Corresponding Errors. 749.
Kołodziejczyk Z. Standardisation of Materials Used in Electrical Engineering. 753.
Pilawski B. Some Remarks on Difficulties in Realising Technical Progress in Enterprises. 753.
Chemical Elements. 760.
Electrical Bibliographic Review. B37, B41.

Warunki prenumeraty PRZEGLĄDU ELEKTROTECHNICZNEGO na 1956 r.

I. Prenumerata normalna

Prenumerata normalna wynosi: roczna 108 zł, półroczna 54 zł, kwartalna 27 zł.

Zgłoszenia na prenumeratę normalną przyjmują wyłącznie urzędy pocztowe oraz listonosze miejscy i wiejscy w tym rejonie doręczeń, gdzie zamieszkuje prenumerator.

Termin zgłaszania prenumeraty normalnej na okres roczny, półroczny lub kwartalny upływa **z dniem 10 każdego miesiąca,** poprzedzającego okres prenumeraty.

II. Prenumerata ulgowa

Prenumerata ulgowa wynosi: roczna 54 zł, półroczna 27 zł, kwartalna 13,50 zł.

Z prenumeraty ulgowej mogą korzystać w 1955 r. jedynie członkowie stowarzyszeń naukowo-technicznych zrzeszonych w NOT oraz członkowie klubów techniki i racjonalizacji przy zamawianiu **zbiorowym** przez koła zakładowe. Członkowie stowarzyszeń nie zrzeszeni w kołach zakładowych korzystają z prenumeraty ulgowej przy zamawianiu **zbiorowym** przez oddziały stowarzyszeń.

Prenumeratę można zgłaszać na okres kwartalny, półroczny i roczny.

Koła zakładowe i oddziały stowarzyszeń przekazują zamówienia zbiorowe w podanych niżej terminach wraz z należnością pod adresem: „Ruch", Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, Warszawa, ul. Srebrna 12, konto: PKO 1-6-100.020.

Terminy zgłaszania prenumeraty ulgowej w kołach zakładowych i oddziałach stowarzyszeń:

„ I kwartał 1956 r. – do 30 listopada 1955 r.
„ II „ „ – do 28 lutego 1956 r.
„ III „ „ – do 31 maja 1956 r.
na IV kwartał 1956 r. – do 31 sierpnia 1956 r.

Terminy powyższe powinny być ściśle przestrzegane.

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWA TECHNICZNE

ANTONIEWICZ J. mgr inż.: **Materiałoznawstwo elektryczne.** 1952, s. 354, zł 22.—

BERSON L. inż.: **Rury fluoryzujące.** 1950, s. 119, zł 6.40

BŁAŻEWSKI S. mgr inż.: **Wytrzymałość materiałów.** Wyd. 2. 1954, s. 304, zł 20.— (oprawa półpł.)

FELHORSKI W. mgr inż.: **Oświetlenie w przemyśle włókienniczym.** 1951, s. 90, zł 5.—

Kalendarzyk elektrotechniczny. 1954 — 1955. Praca zbiorowa pod red. nacz. prof. dra B. Konorskiego. Stowarzyszenie Elektryków Polskich. Wyd. 9 przedruk z klisz wydania ósmego. 1953, s. 947, zł 60.— (oprawa pł.)

KONORSKI B. prof. dr inż., STARCZAKOW W. prof. mgr inż., WOJCIECHOWSKI S. mgr inż.: **Równania i układy jednostek w elektrotechnice.** 1954, s. 156, zł 12.—

LIS B. mgr inż.: **Liczniki energii elektrycznej.** Działanie-użytkowanie-instalowanie. 1953, s. 140, zł 7.50

LIS B. mgr inż.: **Wskaźniki elektroenergetyczne zakładów przemysłowych.** 1954, s. 107, zł 10.—

ŁANIECKI W. dr: **Półprzewodniki.** Część 1. 1951, s. 128, zł 6.50. Część 2. **Prostowniki stykowe.** 1953, s. 176, zł 9.60

Mały poradnik mechanika. Praca zbiorowa. Wyd. 3. 1954, s. 792, zł 70.— (oprawa pł.)

MAZUR M. inż.: **Oświetlenie elektryczne.** Tom 1. 1950, s. 147, zł 7.10

NOWACKI P. J. prof. dr inż., KORDECKI A. prof. mgr inż., STANKIEWICZ Z. mgr inż.: **Atlas konstrukcji maszyn elektrycznych.** Tom 1. Części maszyn elektrycznych. 1954, tabl. 38, zł 15.—

Oświetlenie zakładów przemysłowych. Stowarzyszenie Elektryków Polskich. Polski Komitet Oświetleniowy. 1953, s. 336, zł 20.50

PFLIER M. P. dr inż.: **Pomiary elektryczne wielkości mechanicznych.** Tłum. z niem. mgr inż. J. Plebański i mgr inż. K. Szpotański. 1953, s. 264, zł 25.50 (oprawa półpł.)

PRIWIEZENCEW A.: **Produkcja drutów emaliowanych.** Tłum. z ros. Z. Walewski. 1950, s. 184, zł 13.50

RABKIN L., SZOLC N.: **Magnetodielektryki i cewki rdzeniowe.** Tłum. z ros. mgr inż.: Z. Scheidlinger. 1951, s. 320, zł 20.50

RADWAN M. inż.: **Zarys radiografii przemysłowej.** 1950, s. 148, zł 12.50

SCHWERDTFEGER W.: **Technika pomiarów elektrycznych.** Tłum. z niem. mgr inż. A. Schulce. Tom 1. 1952, s. 212, zł 25.— Tom 2. 1953, s. 260, zł 17.20

SKONIECZNY M. mgr: **Elektryczne przyrządy pomiarowe.** Wskazówki właściwego użytkowania. 1953, s. 100, zł 5.50

SOCHOR B. mgr inż.: **Termometry elektryczne.** 1952, s. 176, zł 16.—

SZALEK R. mgr inż.: **Świetlówki.** Działanie-montaż-eksploatacja. 1954, s. 59, zł 3.50

SZUMAN W. mgr inż.: **Urządzenia pomocnicze elektrowni cieplnych.** Tom 1. Rurociągi i pompy. 1954, s. 431, zł 16.50

TARNAWSKI E. dr: **Matematyka dla elektryków.** Wyd. 2. 1955, s. 376, zł 39.— (oprawa półpł.)

WIERCIAK J. mgr inż.: **Kable i przewody.** 1954, s. 263, zł 9.—

ŻEREBCOW I. P.: **Elektrotechnika elementarna.** Tłum. z ros. mgr inż. J. Baranowski. Biblioteka Radiomechanika. 1954, s. 132, zł 6.—

Do nabycia w księgarniach technicznych Domu Książki i u kolporterów zakładowych

PWT