

C3
mgr inż. Jan Wojciech Szpil

SPIS TREŚCI

1. Przegląd wyników badań wpływu powłok
na żywotność mosiądzu M 63

2. Podsumowanie przebiegu wyników badań

Rozprawa doktorska

II. Badania własne wpływu powłok z polimerów na żywotność mosiądzu M 63

1.1. Badania wstępne, zastosowanie

1.2. Badania właściwości

1.3. Badania dodatkowe - grupujące

Promotor: prof. dr inż. Tadeusz Porębski

INSTYTUT MATERIAŁOZNAWSTWA I MECHANIKI TECHNICZNEJ
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Publikacja nie zawiera nowego rozwiązania zagadnienia technicznego nadającego się do opatentowania.

Wrocław, 1972

RZECZNIK PATENTOWY
Kuźmy 23.05.72
Mgr inż. Krystyna Sosińska

Nr 2227

S P I S T R E Ś C I

	strona
Wstęp	1
I. Przegląd wyników badań wpływu powłok z tworzyw sztucznych na wytrzymałość zmęczeniową metali i stopów	3
1. Przegląd wyników badań	3
2. Podsumowanie przeglądu wyników badań oraz związane z nimi uwagi	19
II. Badania własne wpływu powłok z Poliamidu M i żywicy epoksydowej Epidian 1 na żywotność mosiądzu M63	23
1. Program doświadczeń	23
1.1. Badania własności zastosowanych tworzyw	24
1.2. Badania zmęczeniowe	26
1.3. Badania dodatkowe - uzupełniające	27
1.4. Analiza otrzymanych wyników	27
2. Charakterystyka badanych materiałów	28
2.1. Charakterystyka mosiądzu M63	28
2.2. Charakterystyka Poliamidu M	32
2.3. Charakterystyka żywicy epoksydowej Epidian 1	35

3. Urządzenie i próbki do badań zmęczeniowych	36
4. Wyniki badań zmęczeniowych oraz ich statystyczne opracowanie	42
4.1. Sprawdzenie normalności rozkładu wyników pomiaru w próbce	43
4.2. Wyznaczenie równań prostych regresji	45
4.3. Sprawdzenie słuszności przyjęcia regresji prostoliniowej	60
4.4. Wyznaczenie przedziałów ufności prostych regresji - dla pojedynczych spostrzeżeń i wartości oczekiwanej	62
5. Badania dodatkowe - aparatura, próbki oraz wyniki pomiarów	81
5.1. Pomiary temperatury samowzbudnej	81
a/ Program badań oraz użyta aparatura	81
b/ Wyniki pomiarów temperatury samowzbudnej i analiza	83
5.2. Pomiar dynamicznej strzałki ugięcia	95

a/ Program badań oraz użyta aparatura	95
b/ Wyniki pomiarów dynamicznej strzałki ugięcia i analiza	97
5.3. Analiza złomów zmęczeniowych	
i stanu powłoki	108
a/ Analiza makroskopowa złomów	108
b/ Analiza mikroskopowa złomów	116
c/ Stan powłoki w procesie zmęczenia	124
5.4. Analiza rozrzutu wyników badań zmęczeniowych próbek powlekanych Poliamidem M	125
a/ Program i wyniki doświadczeń	125
b/ Analiza statystyczna	127
c/ Interpretacja fizykalna i wnioski	128
6. Statystyczna analiza wyników badań zmęczeniowych - dyskusja i interpretacja	134
6.1. Podstawy teoretyczne analizy statystycznej	134

- IV -

a/ Sprawdzenie jednorodności warian-	
cji oszacowywania	136
b/ Sprawdzenie istotności wpływu	
badanego czynnika na żywotność	
zmęczeniową materiału dla wybra-	
negu poziomu naprężenia	138
c/ Sprawdzenie istotności wpływu	
badanego czynnika na zmianę	
współczynnika korelacji prostych	
regresji	141
6.2. Statystyczna analiza wyników badań	
zmęczeniowych - dyskusja i inter-	
pretacja	148
a/ Analiza wpływu rodzaju obróbki	
na ograniczoną wytrzymałość zmę-	
czeniową	148
b/ Analiza wpływu powłok oraz gru-	
bości powłok na ograniczoną wy-	
trzymałość zmęczeniową	150
c/ Analiza wpływu zwiększonej obję-	
tości powłoki i sposobu powleka-	
nia na ograniczoną wytrzymałość	
zmęczeniową	157

d/ Analiza wpływu warstwy powier- chniowej na ograniczoną wytrzy- małość zmęczeniową	160
e/ Analiza wpływu rodzaju tworzywa sztucznego użytego na powłoki	167
f/ Funkcja żywotności mosiądzu M63 w zależności od grubości powłoki poliamidowej	170
7. Wnioski	179
7.1. Wnioski wynikające z badań zmęcze- niowych	179
7.2. Wnioski wynikające z badań dodat- kowych	182
III. Bibliografia	
IV . Aneks - Tabele i obliczenia	1-88

W s t ę p

Tworzywa sztuczne dzięki szczególnym własnościom mechanicznym, fizycznym i chemicznym, znalazły bardzo szybko zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Bardzo często stosuje się je jako powłoki наносzone na tworzywa metaliczne, w celu ochrony przed korozją, podwyższenia własności mechanicznych, lub też w celu tylko dekoracyjnym. Na skalę przemysłową powłoki ochronne z tworzyw sztucznych stosuje się obecnie w urządzeniach stosowanych w budownictwie okrętowym, w budowie mostów, kopalń, rafinerii oraz w całym przemyśle chemicznym.

Z tego też względu w szeregu ośrodkach naukowych rozpoczęto badania nad wpływem powłok z tworzyw sztucznych na wytrzymałość i żywotność zmęczeniową metali i stopów. Należy zdać sobie sprawę, że we wszystkich tych przypadkach współdziałanie obu tworzyw konstrukcyjnych sprowadza się do pracy jednego tworzywa - o dużej wytrzymałości i drugiego - o niskiej wytrzymałości. Tworzywo sztuczne tworzy wtedy cienką powłokę ściśle napiętą lub przyklejoną do metalu. Wbrew pozorom okazało się, że w niektórych przypadkach powłoki te mogą w istotny sposób wpływać na zmianę życia zmęczeniowego metali.

Możliwość uzyskania lepszych charakterystyk
zmęczeniowych metali i stopów przez naniesienie trwałej
powłoki niemetalicznej, skłoniły autora do podjęcia
niniejszej pracy.

I. Przegląd wyników badań wpływu powłok z tworzyw sztucznych na wytrzymałość i żywotność zmęczeniową metali i stopów.

1. Przegląd wyników badań

W ostatnich latach dużą uwagę poświęca się problemowi podwyższenia własności zmęczeniowych metali i stopów na drodze ochrony ich powierzchni przed korozyjnym i utleniającym działaniem powietrza.

Pierwsze prace z zastosowaniem ochrony powierzchniowej w postaci trwałej warstewki tworzywa sztucznego, próbek badanych zmęczeniowo, datują się na początek lat sześćdziesiątych. Są to próby zastosowań ochrony powierzchniowej w badaniach nad wpływem ośrodków ciekłych (oleje) lub korozyjnych na wytrzymałość zmęczeniową.

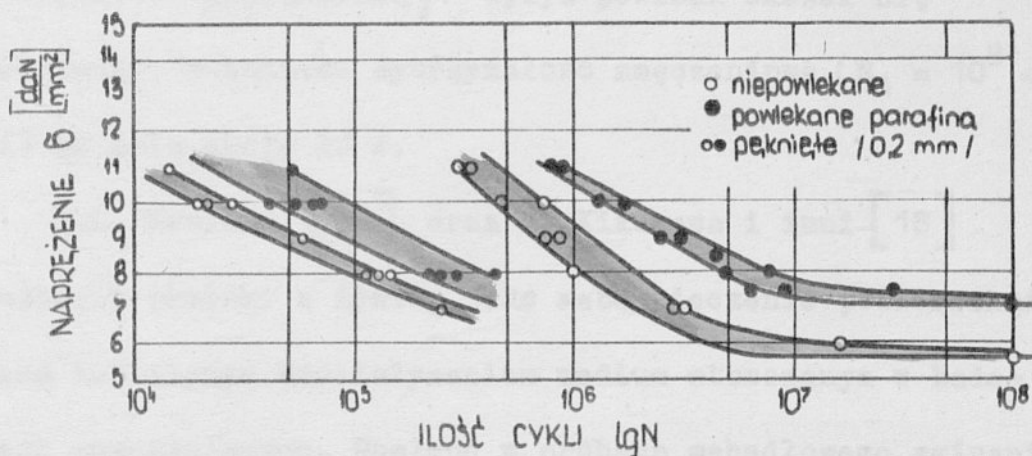
W późniejszych pracach wielu badaczy przeprowadza badania zmęczeniowe na próbkach z naniesionymi trwałymi powłokami z tworzyw sztucznych, stawiając sobie za cel określenie wpływu powłoki, jej grubości oraz sposobu nakładania na ograniczoną i nieograniczoną wytrzymałość zmęczeniową.

N.E. Frost [7] w uzupełnieniu swoich badań nad wpły-

wem ośrodków ciekłych na zmęczenie stali^{x)}, zastosował powłokę z gumy butylowej. Powłokę wykonano przez rozpuszczenie gumy w benzynie i kilkakrotne powlekanie części pomiarowej metodą zanurzeniową. Badania przeprowadzono przy obrotowym zginaniu oraz rozciąganiu ($\sigma_m > 0$) na próbkach gładkich i z karbem. Zarówno w zakresie ograniczonej jak i nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej dla wszystkich stosowanych obciążeń uzyskał około 50 % wzrost wytrzymałości dla próbek powlekanych. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji prędkości rozwoju szczeliny zmęczeniowej Frost uważa, że powłoka nie wywiera wpływu na naprężenie konieczne do zapoczątkowania pęknięcia, a dalszy rozwój szczeliny zmęczeniowej wymaga ich zwiększenia. Efekt ten wyjaśnia niemożliwość dostępu tlenu do wierzchołka pęknięcia, co pozwala na ponowne łączenie się - "zespawywanie" świeżo powstałych powierzchni w czasie półcyklu ściskania.

H.Uetz i M. Schick obserwowali podobnie jak Frost zmniejszenie prędkości pęknięcia próbek z karbem (rys. 1) w badaniach wpływu powłok z oleju parafinowego oraz żywicy epoksydowej na wytrzymałość zmęczeniową stali 14.05 i stopu

x) Miękka stal węglowa w stanie normalizowanym o składzie 0,22 % C; 0,65 % Mn; 0,04 % S; 0,06 % P; reszta Fe, i własnościach mechanicznych $R_m = 48 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$; $R_e = 29,5 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$; $A = 31 \%$.



Rys. 1 Krzywe zmęczeniowe dla niepowlekanych i powlekanych /olej parafinowy/ próbek ze stali 14.05 [43]

aluminium AlCuMg 1 [43]^{x)}. Powłokę z żywicy wykonano przez rozsypanie proszku na próbki podgrzane do temperatury około 140°C. Utwardzanie przeprowadzono w czasie 3 godzin w temperaturze 155°C. Badania zmęczeniowe z powłoką z żywicy epoksydowej przeprowadzono tylko na stalowych próbkach płaskich z karbem dla wahadłowego zginania. W zakresie przeciążeń (naprężenia maksymalne znacznie przekraczają praktyczną

x)

Własności mechaniczne stopów:

Stal 14.05 - $R_m = 31,5 \text{ daN/mm}^2$; $R_{0,2} = 19,5 \text{ daN/mm}^2$

$A_5 = 44 \%$

Aluminium AlCuMg 1 - $R_m = 44 \text{ daN/mm}^2$; $R_{0,2} = 29 \text{ daN/mm}^2$

$A_5 = 22 \%$

wytrzymałość zmęczeniową) wpływ powłoki okazał się nieistotny, natomiast wytrzymałość zmęczeniowa ($N_G = 10^8$ cykli) wzrosła około 20 %.

S.C. Rowland [38] oraz M. Kikukawa i inni [18] stosowali powłoki z żywicy jako zabezpieczenie powierzchni przed korozyjnym oddziaływaniem medium stosowanym w badaniach zmęczeniowych. Rowland w próbach wahadłowego zginania z jednoczesnym oddziaływaniem ciśnienia, zastosował lakier "Krylon" jako zabezpieczenie powierzchni próbek przed erozyjnym działaniem hydraulicznego płynu hamulcowego. Przeprowadzone badania wykazały dodatni wpływ na żywotność aluminium^{x)} w wyniku nałożenia powłoki, przy jednoczesnym działaniu naprężeń zginających i ciśnienia.

Kikukawa w przeprowadzonych próbach rozciągania stali węglowej (0,2 % C) z wysoką częstotliwością (22 kHz) zastosował żywicę "Araldite XV" (utwardzana przez 4 godziny w temperaturze 150°C) jako ochronę powierzchni przed korozyjnym oddziaływaniem chłodzącej wody. Zastosowana powłoka nie spełniła pokładanych w niej nadziei, żywotność^{xx)} próbek niepowlakanych

x/ Skład chemiczny stopu: 0,2 % Cu; 0,05 % Mn; 0,1 % Zn; 1 % Fe + Si ; reszta Al.

xx/ Żywotność - ilość cykli lub logarytm ilości cykli do złomu przy naprężeniach maksymalnych większych od praktycznej wytrzymałości zmęczeniowej.

i powlekanych przy zastosowaniu chłodzenia próbek wodą była taka sama. Autorzy tłumaczą ten fakt małą wytrzymałością powłoki i umożliwieniem penetracji wody do powierzchni metalu.

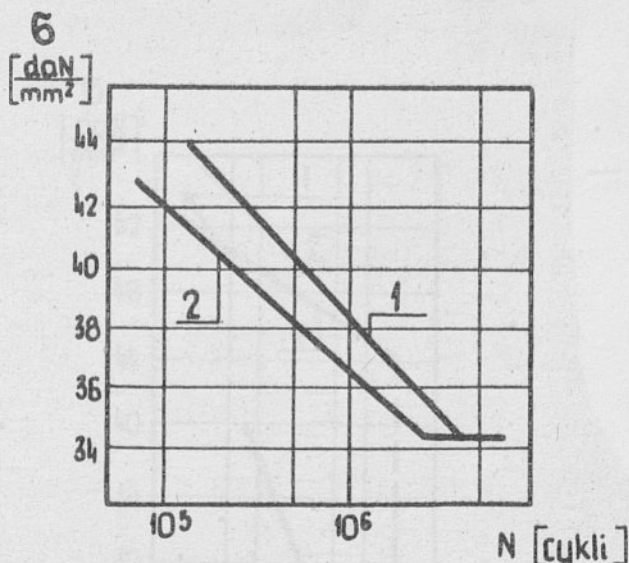
Badania przeprowadzone przy obrotowym zginaniu przez W.I. Harrisa [14] dla stopu aluminium RR58^{x)} powlekanego żywicą wykazały wzrost wytrzymałości zmęczeniowej w środowisku korozyjnym o 10 %, a uzyskana wytrzymałość zmęczeniowa była równa otrzymanej dla próbek niepowlekanych badanych w powietrzu. Harris podkreśla, że powłoka powoduje duży rozrzut wyników badań zmęczeniowych.

Ujemny wpływ powłoki obserwował Boczienow i inni [1]. Przedstawione na rysunku 2 wyniki wskazują, iż stosowana technologia oszklawiania rur, zmniejsza żywotność o 70 % przy przeciążeniach równych 25 % nie zmniejszając jednocześnie wytrzymałości zmęczeniowej materiału. Badania przeprowadzono przy tętniącym rozciąganiu przy bazie $N_G = 5 \cdot 10^6 \div 10^7$ cykli.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań stali nierdzewnej H17N2 przeprowadzonych w powietrzu i 3 % roztworze NaCl [31]. Autorzy podkreślają, że zastosowana powłoka

x) Brak danych określających bliżej rodzaj zastosowanego stopu.

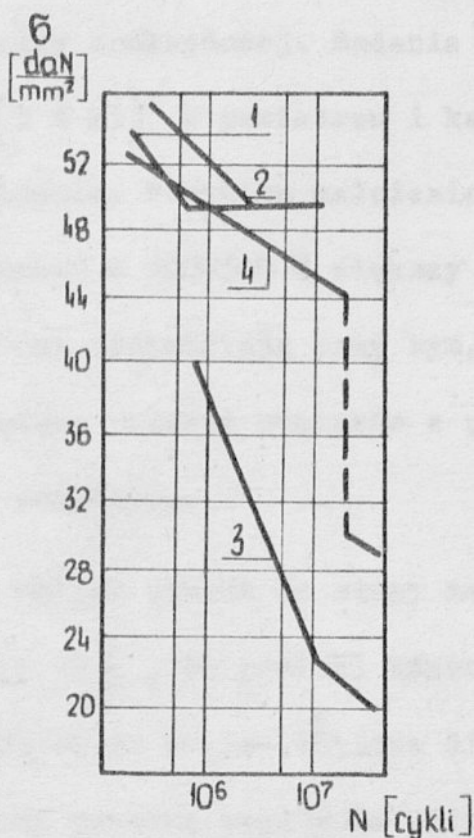
rys. 1
bez napisu



Rys. 2 Krzywe zmęczeniowe dla stali na rury ciśnieniowe [1]
1 - na próbkach nie powlekanych szklivem,
2 - na próbkach oszklwionych.

powinna cechować się nie tylko dobrą odpornością na korozję ale też wysoką elastycznością. Stwierdzenie powyższe oparto na zaobserwowanym gwałtownym spadku wytrzymałości przy przejściu z bazy $N_G = 10^7$ cykli na bazę $N_G = 2 \cdot 10^7$ cykli, w wyniku naruszenia ciągłości powłoki (lakier 302^x) umożliwiającego penetrację ośrodka korozyjnego do powierzchni metalu.

x) Brak dodatkowych danych jaki rodzaj lakieru na powłoki został zastosowany w powyższych badaniach.



Rys. 3 Krzywe zmęczeniowe dla stali H17N2 wyznaczone przy obrotowym zginaniu [31];

- 1 - w powietrzu, bez powłoki,
- 2 - w powietrzu, z powłoką,
- 3 - w solance, bez powłoki,
- 4 - w solance, z powłoką.

Zastosowane powłoki polimerowe B-58 (polimer krzemowo-org. w roztworze toluolu z dodatkami organicznymi) okazały się praktycznie nieprzydatne ze względu na dużą porowatość i małe siły adhezji do metalu.

G.D. Galwin i H. Naylor [8] w uzupełnieniu swoich

badan ośrodków ciekłych na zmęczenie zastosowali ochronne powłoki z żywicy epoksydowej. Badania przeprowadzono dla stali En 33 (3 % Ni) w powietrzu i kąpeli olejowej przy obrotowym zginaniu. W wyniku nałożenia powłoki otrzymali wzrost żywotności o 200-300 % większy niż dla badań w oleju. Autorzy podkreślają przy tym, że powłoka z żywicy znacznie zwiększa rozrzut pomiarów w porównaniu z występującym w powietrzu.

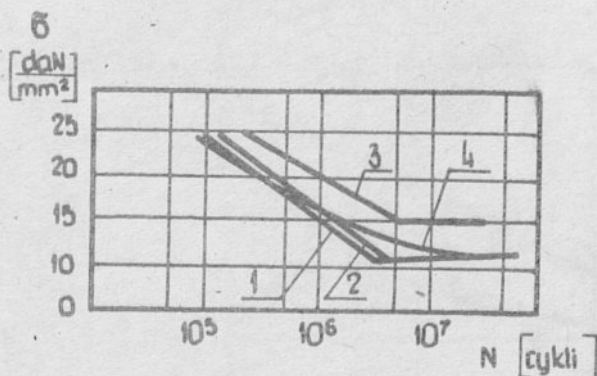
Badania wpływu powłok na stopy magnezu przeprowadził D.J. Brown [za 40]. Na powłoki użyto polistyrenu i roztworu gumy. Uzyskane krzywe Wohlera dla próbek powlekanych wykazywały granicę zmęczenia podobnie jak w przypadku badań w atmosferze suchego azotu. Autor wykonał też serię ciekawych doświadczeń w których powierzchnia próbek była powlekana na pewnym odcinku obwodu na długości pomiarowej. Ilość pęknięć zainicjowanych pod powłoką była mniejsza od rozpoczętych na powierzchni niepokrytej, ale większa od stosunku powierzchni pokrytej do niepokrytej. Krzywa Wohlera zbudowana z wyników w których pęknięcie zostało zainicjowane pod powłoką, odpowiadała takiej samej krzywej dla suchego N₂.

W.S. Iwanowa [15, 17] badała wpływ pokryć z synte-

tycznego kauczuku "Nairyt" oraz z żywicy epoksydowej E-40 na wytrzymałość zmęczeniową stopu aluminium ABT-1^x) przy wahadłowym rozciąganiu. Powłoki o grubościach 0,035-0,079 mm dla żywicy i 0,15-0,25 mm dla kauczuku nakładano na próbki o wymiarach 1 x 10 mm. Badania przeprowadzono w powietrzu dla próbek niepowlekanych i powlekanych oraz w próżni (10^{-4} mm Hg) dla próbek niepowlekanych. Wyniki badań przedstawione na rysunku 4 wskazują, że żywotność próbek powlekanych żywicą jest niższa jeśli baza wynosi $N_G = 10^6$ cykli niż dla próbek niepowlekanych. Dalszy wzrost bazy powoduje zwiększenie żywotności o 20 - 25 % dla próbek powlekanych. Dla powłok z kauczuku uzyskano wzrost wytrzymałości zmęczeniowej w całym zakresie stosowanych obciążeń.

Należy tu nadmienić, że kauczukowi Iwanowa przypisuje lepsze charakterystyki zmęczeniowe (podobnie jak sugerowali Pochmurskij i inni [31]) z powodu jego dużych własności sprężystych. Autorka podkreśla też, że zastosowanie powłok z kauczuku w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej dla stopu ABT-1 jest o wiele korzystniejsze od powszechnie

x/ Stop o składzie 0,37 % Cu; 0,65 % Mg; 1,08 % Si; 0,26 % Mn; 0,22 % Fe; reszta Al i własnościach mechanicznych $R_m = 40,5 \text{ daN/mm}^2$; $R_{0,2} = 31,8 \text{ daN/mm}^2$; $A = 16 \%$. Próbki hartowane w wodzie z 520°C i starzone przy 160°C w czasie 12 godz.



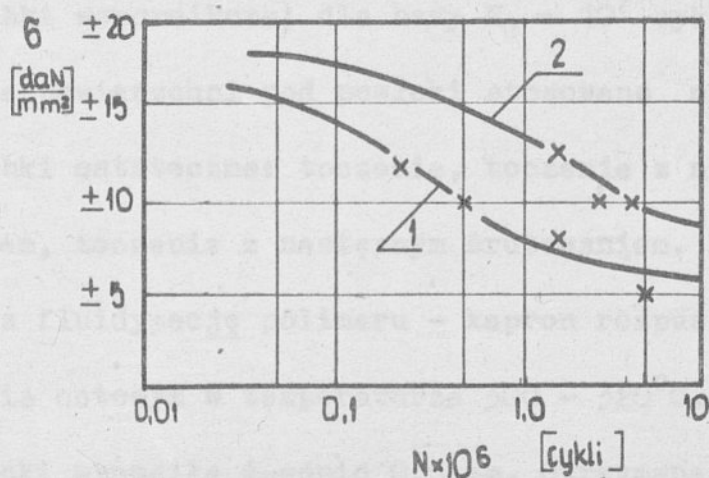
Rys. 4 Krzywe zmęczeniowe dla stopu ABT-1, uzyskane w powietrzu lub w próżni [15, 17]

- 1- w powietrzu, bez powłoki,
- 2- w próżni, bez powłoki,
- 3- w powietrzu, z powłoką kauczukową,
- 4- w powietrzu, z powłoką epoksydową.

stosowanych powłok galwanicznych uzyskanych na drodze platerowania.

Wpływ powłok nałożonych na elementy spawane badali Gilde [10] oraz T.R. Gurney [13]. Wyniki badań dla próbek spawanych otrzymanych przez [10] przedstawiono na rys. 5. W badaniach Gurney'a zastosowano na powłoki kompozycję żywicy na bazie "Shell Epicote 828" oraz "Pollykoll" z zawartością 40 % koaliny (kompozycję tą stosował też Gilde i inni [10]). Badania przeprowadzono przy pulsującym rozciąganiu dla jednego poziomu naprężenia dla bazy

Rys. 5
bez podpisu



Rys. 5 Wytrzymałość zmęczeniowa próbek spawanych z AlMg - 5 [10] :

- 1- dla próbek niepowlekanych,
- 2- dla próbek powlekanych żywicą epoksydową.

$N_G = 0,5 + 3,0 \cdot 10^6$ cykli. Jako dodatkową obróbkę technologiczną autor wprowadził szczotkowanie i śrutowanie powierzchni spoiny przed nałożeniem powłoki. W przeprowadzonej analizie stwierdził on, że wpływ śrutowania i powłoki nie zmienia żywotności, natomiast szczotkowanie i powłoka dały efekt pozytywny - zwiększenie żywotności w stosunku do próbek szczotkowanych niepowlekanych.

Podobnie jak Gurney badał wpływ obróbki powierzchniowej i powłoki (łącznie) W.P. Siemienow [41]. Badania prze-

przewodzone zostały dla stali 45^x) przy obrotowym zginaniu (próbki wspornikowe) dla bazy $N_G = 10^7$ cykli. Jako przygotowanie powierzchni pod powłoki stosowano następujące obróbki ostateczne: toczenie, toczenie z następnym piaskowaniem, toczenie z następnym śrutowaniem. Powłoki wykonano przez fluidyzację polimeru - kapron rozpuszczony w lodowatym kwasie octowym w temperaturze 300 - 320°C. Uzyskana grubość powłoki wynosiła średnio 0,5 mm. Otrzymane wyniki przedstawione na rysunku 6 wskazują nieznaczny wzrost wytrzymałości zmęczeniowej we wszystkich przypadkach stosowanych rodzajów obróbki powierzchniowej i powłoki.

Badania wpływu składników lakieru Orex 107 R (żywica epoksydowo-fenolowa) na wytrzymałość zmęczeniową przeprowadził Z. Nowak [28]. Badania zostały przeprowadzone na stali St 4S przy obrotowym zginaniu, dla próbek wspornikowych. We wnioskach stwierdzono ujemny wpływ rozpuszczalników (rys. 7) na żywotność badanej stali.

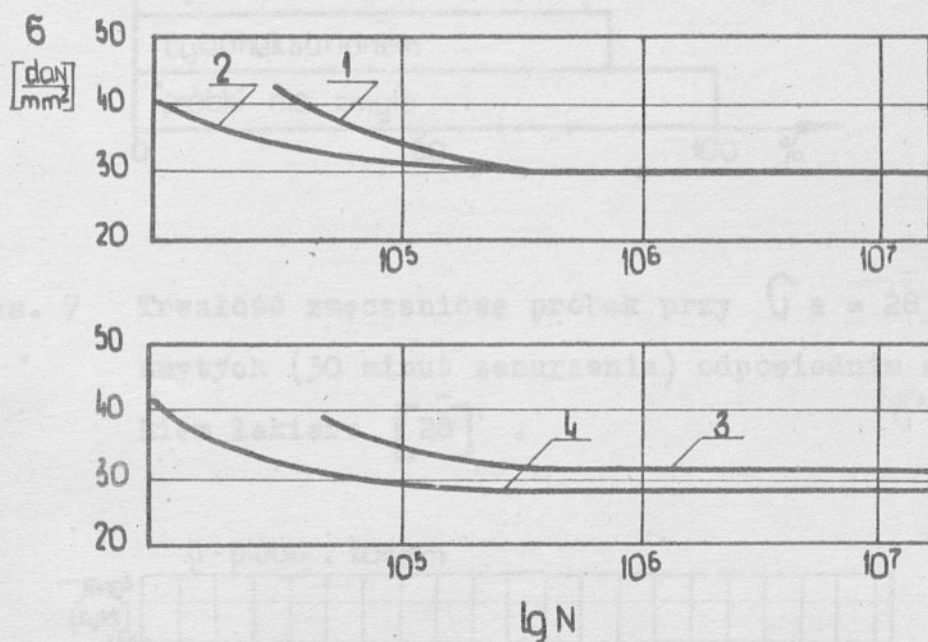
Dodatkowe badania wpływu grubości powłok przeprowadzonych na próbkach gładkich i z karbem ($\alpha_k = 1,43$) wykazały

x/ Stal o składzie 0,43 % C; 0,35 % Si; 0,65 % Mn; 0,022 % S; 0,012 % P; 0,04 % Cr; 0,04 % Ni i reszta Fe
i własnościach mechanicznych: $R_m = 61 \text{ daN/mm}^2$; $R_e = 31 \text{ daN/mm}^2$; $A = 23 \%$; $Z = 47 \%$.

Rys. 4
bez podpisu.

dodatni wpływ grubości powłok w zakresie $0 \div 0,075$ mm.

Dalsze zwiększanie grubości powłoki nie powodowało istotnych zmian żywotności materiału (rys. 8).

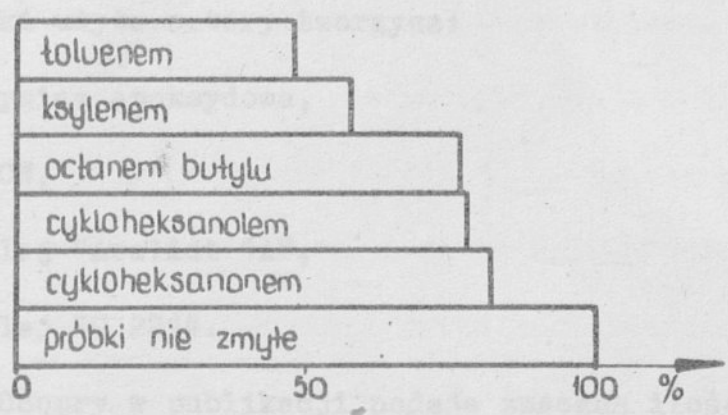


Rys. 6 Krzywe zmęczeniowe dla stali 45 [41]

- 1- próbki szlifowane niepowlekane,
- 2- próbki toczone i piaskowane powlekane,
- 3- próbki toczone niepowlekane,
- 4- próbki toczone i piaskowane niepowlekane.

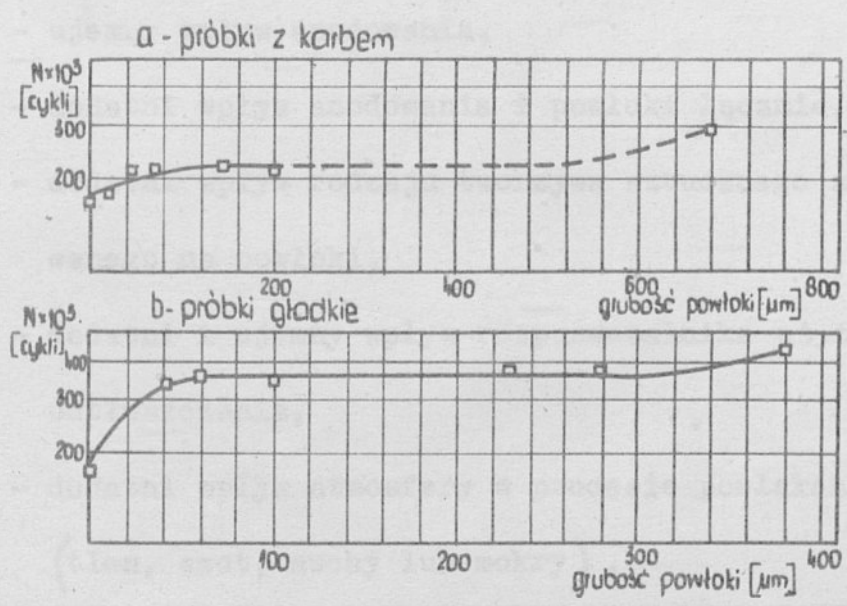
Bardzo szeroko rozwinięte badania nad wpływem różnych czynników na żywotność dwóch stopów aluminium przeprowadził J. Coupry [4]. Badania przeprowadzono przy obrotowym zginaniu ($N_G = 10^8$) gładkich i z karbem próbek

Rys. 6
bez podpisu.



Rys. 7 Trwałość zmęczeniowa próbek przy $\sigma_a = 28 \text{ daN/mm}^2$ zmytych (30 minut zanurzenia) odpowiednim składnikiem lakieru [28].

rys. + bez podpisu



Rys. 8 Wpływ grubości powłoki z tworzywa sztucznego na żywotność stali St4S [28].

wspornikowych, wykonanych ze stopów A-G4MC i A-UG4^x).

Na powłoki użyto cztery tworzywa:

- żywica epoksydowa,
- PCW,
- klej "Araldite 1A",
- klej EC 2214.

J. Coupry w publikacji podaje znaczną ilość wykresów i tabel (w zależności od rodzaju badanego czynnika), których przytoczenie w powyższym przeglądzie ze względu na ich ilość jest trudne. Należy nadmienić, że w wyniku przeprowadzonych badań zaobserwował:

- ujemny wpływ anodowania,
- dodatni wpływ anodowania i powłoki łącznie,
- dodatni wpływ rodzaju tworzywa sztucznego zastosowanego na powłoki,
- dodatni i ujemny wpływ rozpuszczalnika użytego do odtłuszczenia,
- dodatni wpływ atmosfery w procesie powlekania
(tlen, azot, suchy lub mokry),

x/ Stopy o składzie:

A-G4MC - 0,25 % Fe; 0,08 % Si; 0,01 % Cu; 4,4 % Mg; 0,43 % Mn; 0,19 % Cr; 0,03 % Ti; reszta Al
A-UG4 - 0,39 % Fe; 0,60 % Si; 0,42 % Cu; 0,79 % Mg; 0,70 % Mn; 0,06 % Ti; reszta Al

- dodatni wpływ powłoki na próbkach z karbem.

We wnioskach autor podkreśla przewagę stosowanej ochrony w postaci powłok z tworzyw sztucznych dający średni wzrost wytrzymałości w granicach od 5 % do 20 % przy bazie $N_G = 10^8$ cykli. Obserwowany dodatni wpływ powłok autor tłumaczy ochroną powierzchni przed korozyjnym oddziaływaniem powietrza i jego składników.

Na zakończenie powyższego przeglądu chciałbym zaznaczyć, że szereg prac mających na celu zbadanie wpływu powłok wykonano w Instytucie Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej.

Przeprowadzone badania wykazały;

- dodatni wpływ powłoki z żywicy epoksydowej Epidian 5 naniesionej na próbki ze stali 45. Próby przeprowadzono przy wahadłowym rozciąganiu [34] ,
- dodatni wpływ powłoki z żywicy epoksydowej Epidian 5 naniesionej na próbki ze stali 45A. Próby przeprowadzono przy obrotowym zginaniu [33] .
- dodatni wpływ powłoki z Poliamidu M naniesionej na próbki z mosiądzu M63. Próby przeprowadzono przy obrotowym zginaniu [35] .
- dodatni wpływ powłoki z żywicy epoksydowej Epidian 5

naniesionej na próbki z mosiądzu M58 oraz stal 35.

Próby przeprowadzono przy obrotowym zginaniu z uwzględnieniem wpływu powłoki i częstości łącznie [36] ,

- nieistotny wpływ powłok z Poliamidu M oraz żywicy Epidian 1 naniesionej na próbki ze stali 30. Próby przeprowadzono przy uderowym zginaniu [30] .

2. Podsumowanie przeglądu wyników badań oraz związane z nimi uwagi.

Z przedstawionego przeglądu badań wynika, że materiałem metalicznym najczęściej użytym do badań były różne gatunki stali i stopów aluminium. Na powłoki najczęściej używano żywic w postaci różnych lakierów i klejów oraz powłok wykonanych z gumy i innych polimerów.

Przedstawione powyżej wyniki badań szeregu badaczy wskazują, że wpływ powłok na wytrzymałość i żywotność zmęczeniową, może być zależny od stopu z którego wykonano próbki oraz od materiału użytego na powłoki. Może on być dodatni lub ujemny w zależności od wartości stosowanych obciążeń lub też od ośrodka otaczającego próbkę w którym przeprowadzano pomiary. Na ogół wszyscy badacze obserwowane

wpływy dodatnie powłok tłumaczą opierając się na modelu podanym przez Frosta (patrz strona 4) lub też ochroną przed korozją atmosferyczną. Próby wyjaśnienia polegające na tym, że powłoka "odciąża" powierzchnię próbki przenosząc częściowo przyłożone obciążenia, wydają się być mało prawdopodobne, ze względu na to, że wytrzymałość ich jest bardzo mała w porównaniu z wytrzymałością tworzyw metalicznych. Przy grubościach rzędu dziesiątych części milimetra odciążenie takie nie będzie napewno większe niż odciążenie wynikające z oddziaływania swobodnej powierzchni próbki niepowlekanej.

Iwanowa [15, 17] przypuszcza, że powłoka z tworzywa sztucznego na granicy "powłoka - metal" wytwarza jak gdyby "barierę" nie zezwalającą na wyjście dyslokacji na powierzchnię metalu. Model ten podobny jest do oddziaływania warstw tlenkowych w monokryształach dla których cytowany przez nią D. Mak uzyskał podwyższenie własności mechanicznych w stosunku do monokryształów bez warstwy utlenionej.

Jako argument potwierdzający istnienie podobnego mechanizmu, Iwanowa przytacza wyniki badań dla stopu aluminium, dla którego powłoka z kauczuku dała trzy razy większą żywotność niż żywotność uzyskaną w próżni bez powłoki.

T. Porębski, R. Wiernik [36] w badaniach wpływu podwyższonych częstości zmian naprężeń na żywotność mosiądzu M58 i stali 35 podkreślają, że jedną z przyczyn podwyższenia charakterystyk zmęczeniowych metali i stopów w wyniku zastosowania powłok z tworzyw sztucznych jest zmniejszenie spadku energii powierzchniowej materiału, co powinno utrudniać powstawanie i rozwijanie się nowych pęknięć zmęczeniowych. Podwyższenie energii powierzchniowej jest zdaniem autorów wywołane utrudnieniem procesów chemisorpcji w wyniku nałożenia powłoki z tworzywa sztucznego.

W cytowanych pracach, autor nie znalazł ani jednego przypadku lub wzmianki, dotyczących przeprowadzenia jakichkolwiek badań których celem byłoby podjęcie próby wyjaśnienia mechanizmu wzajemnego oddziaływania atmosfery, powłoki i metalu na proces zmęczenia.

Stan ten można tłumaczyć stosunkowo późnym zainteresowaniem się taką metodą podwyższenia wytrzymałości zmęczeniowej materiałów. W przedstawionym przeglądzie badań, prace mają najczęściej charakter rozpoznawczy lub sprawdzający. Należy przy tym podkreślić, iż różni autorzy notują różny charakter wpływu powłoki jednakowego rodzaju na własności podobnych materiałów. Może to być wynikiem oceny badanych zjawisk, przy dużym rozrzucie pomiarów,

za pomocą przybliżonych krzywych Wohlera (brak opracowań statystycznych lub ich wyników).

W przedstawionych poniżej badaniach autor określił wpływ zastosowanych powłok na żywotność mosiądzu, oraz podjął próbę choćby częściowego wyjaśnienia mechanizmu oddziaływania powłok z tworzyw sztucznych w procesie zmęczenia metali.

II. Badania własne wpływu powłoki z Poliamidu M i żywicy epoksydowej Epidian 1 na żywotność mosiądzu M 63

1. Program doświadczeń

Celem przeprowadzonych doświadczeń było stwierdzenie wpływu powłok z tworzyw sztucznych, naniesionych na próbki metaliczne, na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową mosiądzu M63. Program badań uwzględniał przebadanie następujących wpływów:

- rodzaju tworzywa sztucznego użytego na powłokę,
- grubości powłoki,
- stanu warstwy powierzchniowej próbki przed nałożeniem powłoki,
- zwiększonego udziału objętości powłoki w przypadku próbek drążonych.

Tworzywa sztuczne, z których wykonano powłoki zostały dobrane tak, by różniły się w sposób zasadniczy następującymi własnościami:

- wydłużeniem względnym,
- modułem elastyczności,
- odpornością cieplną,
- przyczepnością do materiału próbki,

Na powłoki użyto dwóch tworzyw produkcji krajowej:

- Poliamid M,
- żywica epoksydowa Epidian 1.

Całość przeprowadzonych doświadczeń i pomiarów podzielono na trzy zasadnicze grupy:

- badania własności zastosowanych tworzyw,
- badania zmęczeniowe,
- badania dodatkowe - uzupełniające.

Graficzne przedstawienie założonego programu badań podano na rysunku 9.

1.1. Badania własności zastosowanych tworzyw

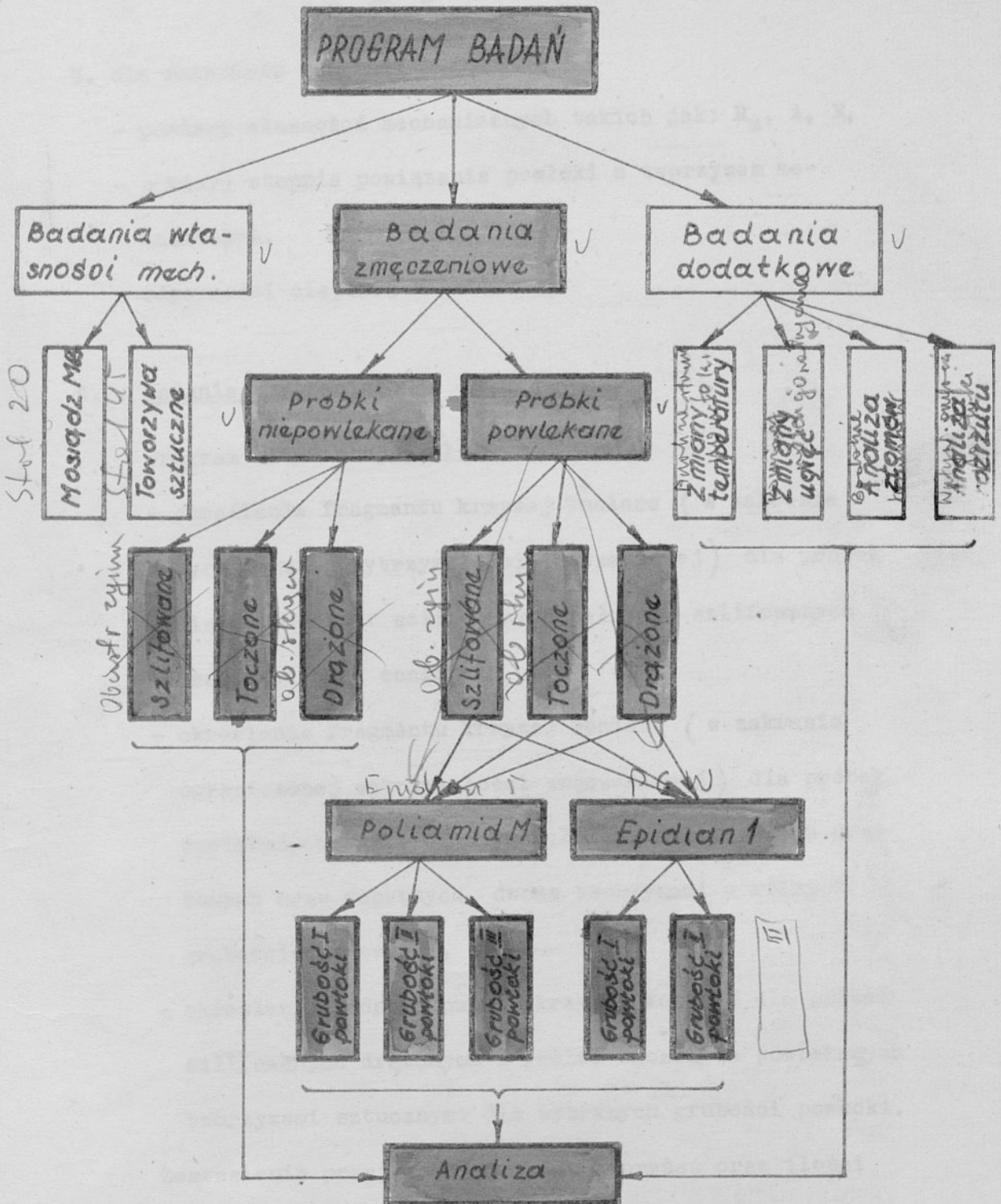
Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie, czy materiał metaliczny (mosiądz M63) pochodzi z jednego wytopu oraz uzyskanie danych do charakterystyk użytych w badaniach tworzyw.

W tym celu przeprowadzono następujące pomiary:

a. dla materiału próbki:

- analizę chemiczną składu mosiądzu,
- obserwację mikroskopową struktur,
- pomiary własności mechanicznych takich jak: R_m

$R_{0,2}$, A_5 , Z , E , HV_{30}



Rys. 9 Schemat programu badań własnych.

b. dla materiału powłoki:

- pomiary własności mechanicznych takich jak: R_m , A , E ,
- pomiary stopnia powiązania powłoki z tworzywem metalicznym,
- odporności cieplnej Vicata.

1.2. Badania zmęczeniowe

Program badań obejmował:

- określenie fragmentu krzywej Wöhlera (w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej) dla próbek niepowlekanych: szlifowanych pełnych, szlifowanych drążonych oraz toczonych,
- określenie fragmentu krzywej Wöhlera (w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej) dla próbek powlekanych: szlifowanych pełnych, szlifowanych drążonych oraz toczonych, dwoma tworzywami o różnych grubościach powłoki,
- określenie jednego punktu krzywej Wöhlera dla próbek szlifowanych drążonych i próbek toczonych powlekanych tworzywami sztucznymi dla wybranych grubości powłoki.

Zestawienie przyjętych poziomów naprężeń oraz ilości przebadanych próbek (na tych poziomach naprężeń) dla różnych wariantów badań zmęczeniowych przedstawiono w tabeli 1.

1.3. Badania dodatkowe - uzupełniające

Celem badań dodatkowych było otrzymanie danych, które pozwoliłyby na pełniejszą analizę zjawisk towarzyszących procesowi zmęczenia mosiądzu M63 w przypadku badań bez powłoki i z naniesionymi powłokami niemetalicznymi. Na badania dodatkowe składają się następujące pomiary:

- pomiar i analiza temperatury samowzbudnej w trwającym procesie zmęczenia,
- pomiar i analiza zmiany strzałki ugięcia w trwającym procesie zmęczenia,
- analiza złomów zmęczeniowych i stanu powłoki w procesie zmęczenia,
- analiza rozrzutu wyników zmęczeniowych próbek powlekanych Poliamidem M.

1.4. Analiza otrzymanych wyników

Stosując silnie rozbudowaną obróbkę statystyczną otrzymanych wyników, przeprowadzono analizę wpływu rozpatrywanych czynników na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową mosiądzu M63.

W przypadku próbek powlekanych Poliamidem M wyprowadzono funkcję żywotności w zależności od stosowanej

grubości powłoki.

Łączna analiza fenomenologiczna pomiarów zmęczeniowych zasadniczych i dodatkowych pozwoliła na opis zjawisk reologicznych, towarzyszących zmęczeniu mosiądzu M63 z naniesioną powłoką niemetaliczną.

2. Charakterystyka badanych materiałów

2.1. Charakterystyka mosiądzu M63

Na wybór materiału metalicznego użytego do badań zmęczeniowych wpłynęły następujące czynniki:

- możliwość uzyskania materiału pochodzącego z jednej partii wytopu i dalszej przeróbki plastycznej,
- dość powszechne zastosowanie w technice,
- duża przewodność cieplna, której uwzględnienie wydawało się wskazane w świetle wcześniejszych badań [34, 36]
- stosunkowo mała odporność mosiądzów na korozyjne oddziaływanie środowiska i najmniej używanych w praktyce. Spodziewano się w takim przypadku uzyskania "najlepszych" charakterystyk zmęczeniowych w wyniku nałożenia niemetalicznej powłoki,
- mała stosunkowo ilość badań zmęczeniowych (według

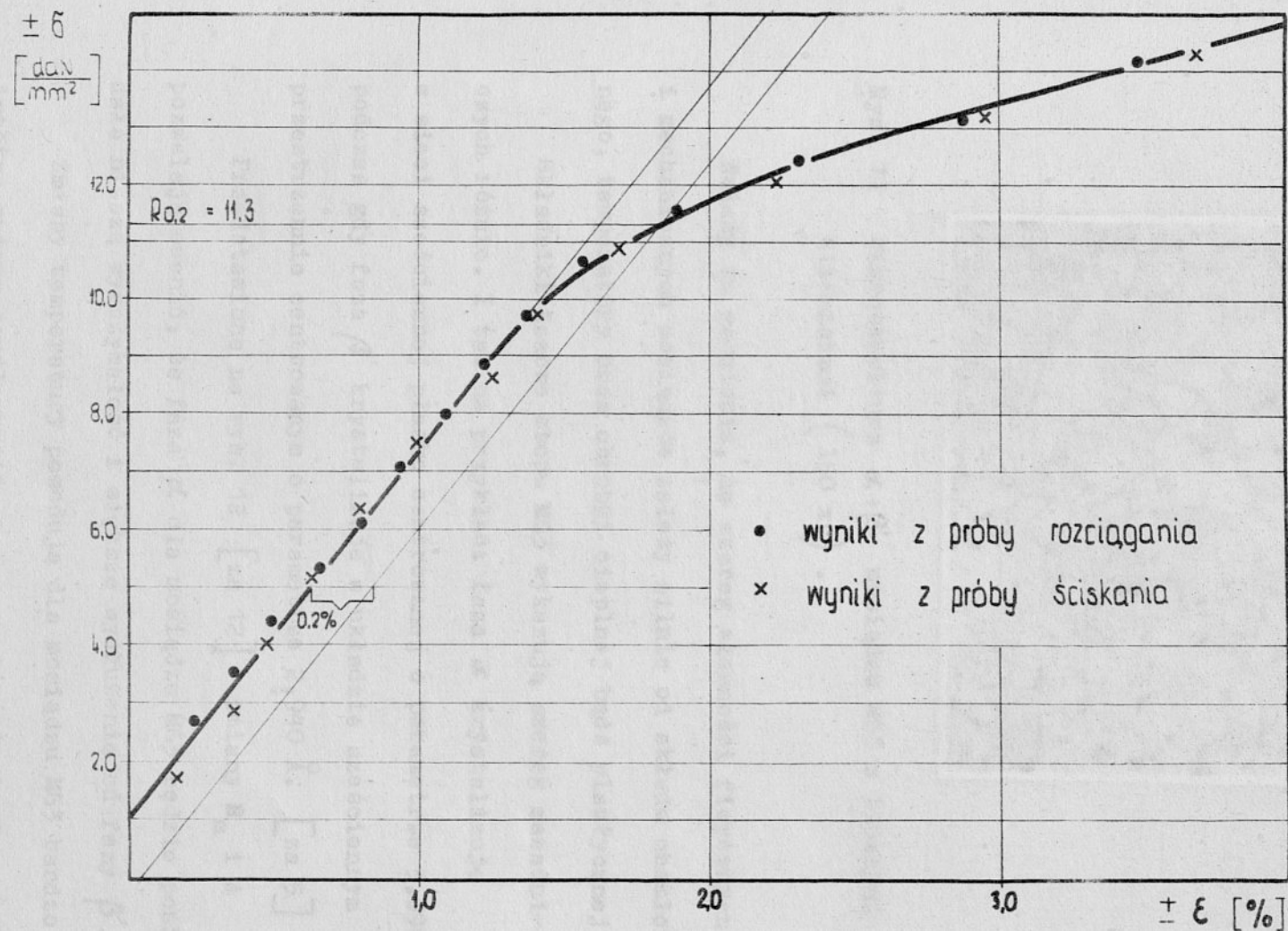
rozeznania autora) nad wpływem powłok dla tego tworzywa konstrukcyjnego.

Zastosowany mosiądz M63 jest stopem miedzi z cynkiem o zawartości 63 % Cu i 37 % Zn. Skład chemiczny określono w Laboratorium Chemicznym Instytutu Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej i podano w tabeli 2

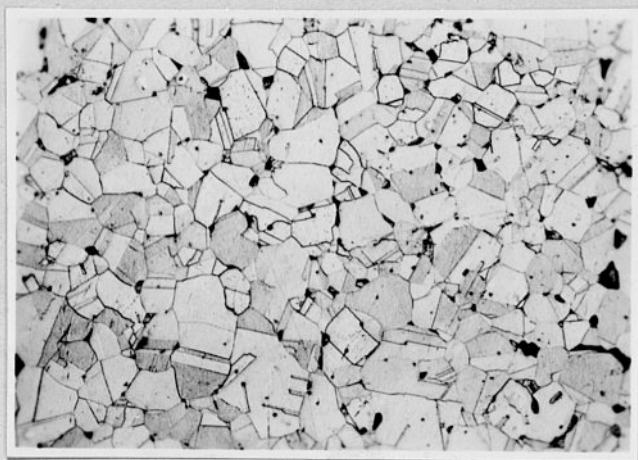
Własności mechaniczne wyznaczono w próbach rozciągania według normy PN-62/H-04310. Próby te przeprowadzono w Pracowni Pomiarów Podstawowych Własności Mechanicznych Instytutu Materiałoznawstwa Politechniki Wrocławskiej. Ich wyniki podano w tabeli 3. W celu sprawdzenia zachowania się mosiądzu w zakresie naprężeń rozciągających i ściskających przeprowadzono dodatkowe próby z dokładnym pomiarem odkształceń, a wyniki tych prób przedstawiono na rys. 10.

Badania mikroskopowe wykonane na poprzecznych zglądach, po wytrawieniu w chlorku żelaza, wykazały strukturę $\alpha + \beta'$ z licznymi bliźniakami, co przedstawia rys. 11.

Przeprowadzenie wyżej wymienionych badań pozwoliło na wstępne stwierdzenie, że użyty materiał będzie jednorodny pod względem składu chemicznego, struktury oraz własności mechanicznych.



Rys. 10 Wyniki ścisłej próby ściskania i rozciągania mosiądzu M63.



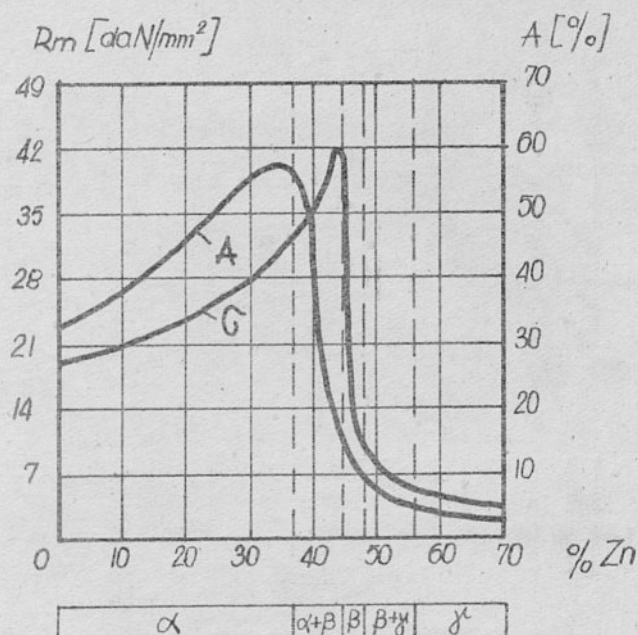
Rys. 11 Mikrostruktura $\alpha + \beta'$ mosiądzu M63 z licznymi bliźniakami (150 x) .

Należy tu nadmienić, że szereg własności fizycznych i mechanicznych mosiądzów zależy silnie od składu chemicznego, temperatury oraz obróbki cieplnej bądź plastycznej.

Składniki fazowe stopu M63 wykazują szereg zasadniczych różnic. I tak na przykład: faza α krystalizuje w sieci sześciennej płasko centrowanej o parametrze 3,690 Å, podczas gdy faza β' krystalizuje w układzie sześciennym przestrzennie centrowanym o parametrze 2,940 Å. [za 5]

Przedstawione na rys. 12 [za 12] zmiany R_m i A pozwalają ocenić, że faza α dla mosiądzu M63 będzie posiadała niższą wytrzymałość i większe wydłużenie od fazy β' .

Zmiany temperatury powodują dla mosiądzu M63 bardzo istotne zmiany współczynnika rozszerzalności cieplnej,

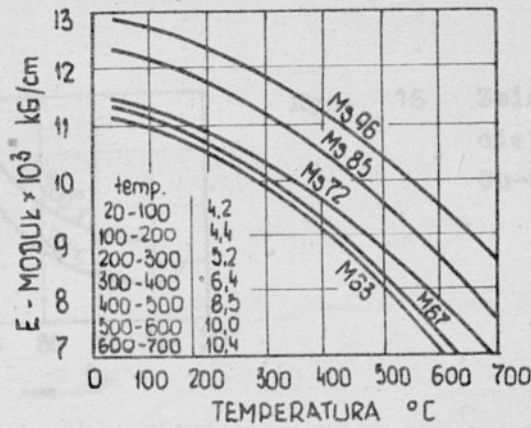


Rys. 12 Zmiany własności mechanicznych mosiądzów w zależności od składu procentowego [12].

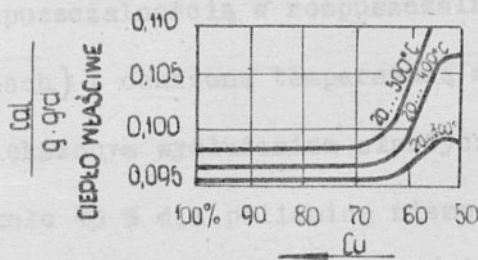
ciepła właściwego, przewodności, modułu Younga, granicy plastyczności oraz szeregu innych wielkości. Wpływ temperatury na wyżej wymienione czynniki przedstawiono [za 5] na rysunkach 13, 14, 15, 16.

2.2. Charakterystyka Poliamidu M

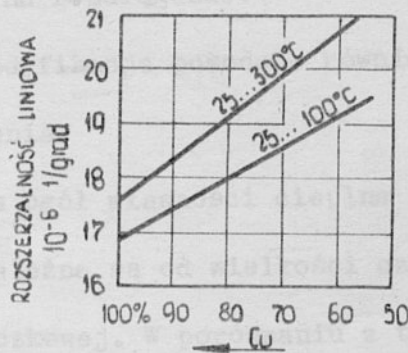
Do powlekania próbek użyto Poliamidu M (N - metoksymetylopolikaproamidu), wyprodukowanego przez Spółdzielnię Pracy Chemików w Nowej Soli.



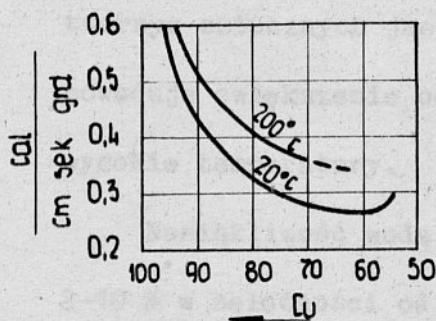
Rys. 13 Zmiany modułu E mosiądźków w zależności od temperatury [5].



Rys. 14 Ciepło właściwe stopu Cu-Zn w różnym zakresie temperatur [5].



Rys. 15 Zmiany współczynnika rozszerzalności liniowej stopu Cu-Zn [5].



Rys. 16 Zmiany przewodności cieplnej stopu Cu-Zn [5].

Poliamid M zawiera około 7,7 % grup metoksymetylowych ($\text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_3$), to znaczy stopień podstawienia wynosi około 30 %. Produkt handlowy zawiera około 50 % wody.

Poliamidy modyfikowane charakteryzują się podwyższoną rozpuszczalnością w rozpuszczalnikach polarnych (np. alkoholach) i obniżoną temperaturą mięknięcia (do około 150°C), zwiększonym wydłużeniem elastycznym przy rozciąganiu (około 45 % dla poliamidu niemodyfikowanego do 400-500 % przy stopniu podstawienia 30 %) oraz zmniejszoną wytrzymałością na rozciąganie.

Modyfikacja powoduje również obniżenie temperatury zeszklenia.

Na ogół własności cieplne wszystkich tworzyw sztucznych zależne są od wielkości cząsteczek substancji wielocząsteczkowej. W porównaniu z tworzywami metalicznymi ich ciepło właściwe jest większe, podobnie jak rozszerzalność

cieplna. W przeciwieństwie do metali przewodność cieplna tworzyw sztucznych jest bardzo niska (dobre izolatory), co powoduje zwiększenie odporności cieplnej na krótkotrwałe, wysokie temperatury.

Nasiąkliwość wodą poliamidów waha się w granicach od 2-10 % w zależności od rodzaju poliamidu.

Własności mechaniczne zastosowanych tworzyw konstrukcyjnych oraz własności cieplne podano w tabeli 4.

Wartości podane w nawiasach zaczerpnięto z ogólnie dostępnej literatury [2, 26, 44, 46] dla tworzyw, których podstawowym składnikiem jest poliamid lub żywica epoksydowa.

Wartości wielkości mechanicznych dla tworzyw sztucznych Poliamid M i Epidian 1 uzyskano z prób rozciągania według normy PN-53/C-89034. Pomiary przeprowadzono na powłokach o grubości zastosowanej w badaniach zmęczenia, przy wilgotności względnej powietrza wynoszącej 80 % i temperaturze 20°C. Próby te przeprowadzono w Pracowni Pomiarów Podstawowych Własności Mechanicznych Instytutu Materiałoznawstwa Politechniki Wrocławskiej.

2.3. Charakterystyka żywicy epoksydowej Epidian 1

Epidian 1 jest żywicą epoksydową otrzymaną przez kondensację "dianu" z epichlorohydryną. Żywica ta jest

ciałem stałym o dużym ciężarze cząsteczkowym.

W handlu produkcja Zakładów Chemicznych "Sarżyna" występuje w postaci brył o zabarwieniu żółtobrazowym nie zawierającym rozpuszczalnika.

Rozpuszczalność żywicy w alkoholach (etanol), węglowodorach alifatycznych (benzyna lakowa) jest bardzo mała w przeciwieństwie do rozpuszczalności w estrach (octan etylu) lub ketonach (aceton).

Jako utwardzacze stosuje się najczęściej bezwodniki kwasów dwukarboksylowych w temperaturach podwyższonych, lub w temperaturach pokojowych. Utwardzona (w zależności od modyfikacji) żywica stanowi twarde i elastyczne tworzywo odporne na działanie wody, czynniki atmosferyczne oraz słabe sole i kwasy.

Specyficzną cechą żywic epoksydowych jest duża adhezja do wielu materiałów, a między innymi do metali i szkła.

Żywica Epidian 1 znalazła szerokie zastosowanie jako składnik lakierów chroniących przed korozją atmosferyczną konstrukcje stalowe.

3. Urządzenie i próbki do badań zmęczeniowych

Badania zmęczeniowe przeprowadzono na maszynie typu MUI-6000 (prod. radzieckiej) do badania wytrzymałości zmę-

czeniowej przy obrotowym zginaniu. Jako bazę przyjęto $N_G = 10^8$ cykli.

Półfabrykaty próbek wykonano z prętów mosiężnych na automacie tokarskim, po czym poddano je wyżarzeniu odprężającemu w temperaturze 250°C w oporowym piecu elektrycznym z automatyczną regulacją temperatury.

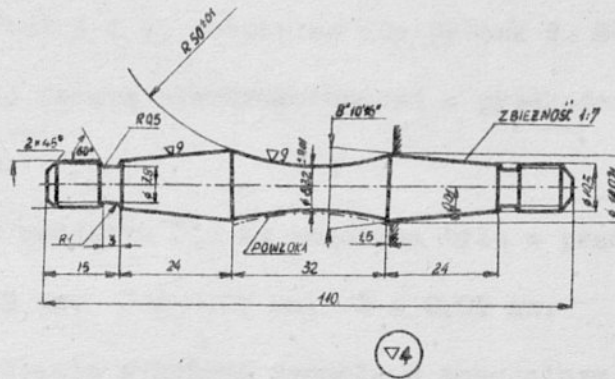
Po trzech godzinach wyżarzenia studzono próbki wraz z piecem do temperatury pokojowej. Z tak przygotowanej serii 250-ciu półfabrykatów pobierano losowo odpowiednią ilość próbek, którym nadawano ostateczny kształt i wymiary jak na rysunku 17. Próbki wykonano w trzech wersjach: A - szlifowane pełne, B - toczone pełne i C - szlifowane drażone.

Próbki wykonywano małymi seriami i natychmiast zużywano w badaniach zmęczeniowych jako niepowlekane lub powlekane odpowiednio Poliamidem M lub Epidianem 1.

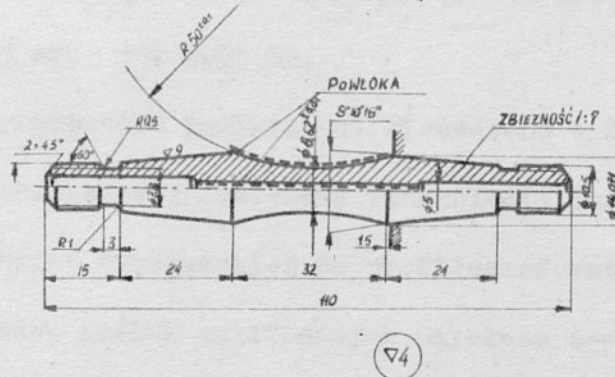
Zarówno próbki niepowlekane jak i powlekane przechowywano w eksykatorach z żelazem krzemionkowym, w celu zabezpieczenia ich przed wpływem zawartej w powietrzu wilgoci.

W celu uzyskania różnego stanu warstwy powierzchniowej, a w szczególności różnej chropowatości w przypadku próbek A-C i B, przyjęto jako ostatni zabieg obróbkę szlifowaniem

Próbka: „A; B”



Próbka „C”



Rys. 17 Kształt i wymiary próbek stosowanych w badaniach zmęczeniowych

A - szlifowane pełne

B - toczone pełne

C - szlifowane drażnione.

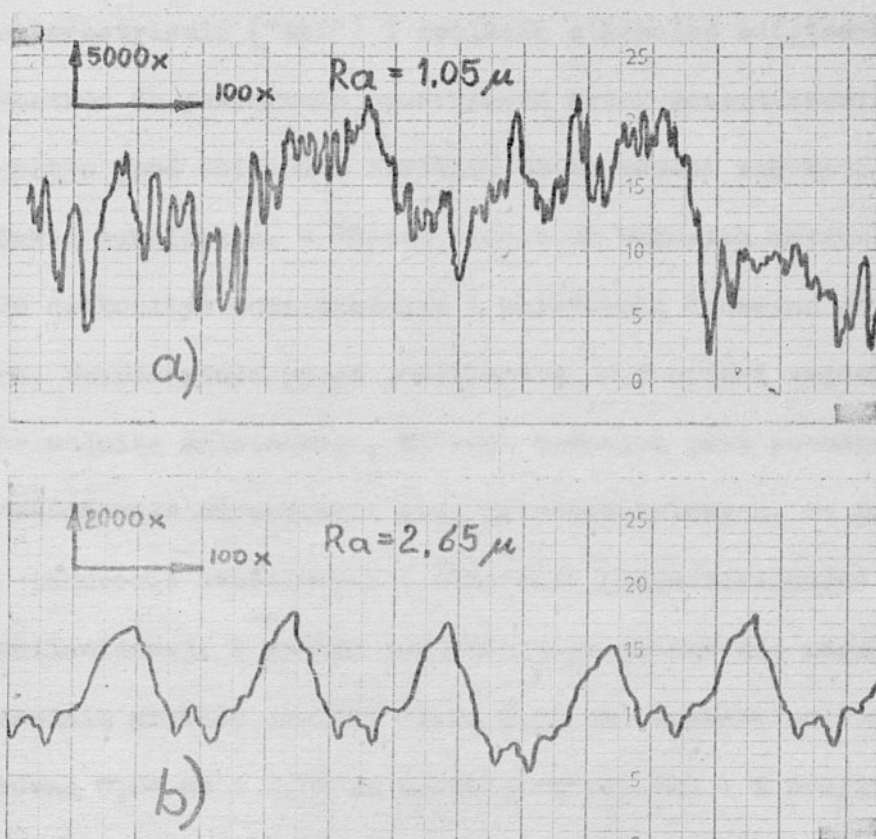
dla próbek A i C, toczeniem dla próbek B. Szlifowanie wykonano tarczą elektrokorundową o prędkości obwodowej 3 m/min.

Grubość naddatku 0,6 mm zbierana była w przejściach 3 x 0,15 mm, 2 x 0,05 mm, 2 x 0,02 mm.

Toczenie wykonano ręcznie w specjalnym imaku nożowym, w którym użyto noża o promieniu wierzchołka ostrza 0,2 mm. Grubość naddatku 0,6 mm zbierana była w przejściach 3 x 0,15 mm, 3 x 0,05 mm.

Chropowatość powierzchni sprawdzono w Zakładzie Metrologii Warsztatowej Instytutu Technologii Budowy Maszyn Politechniki Wrocławskiej na profilografometrze "Talysurf-3". W przypadku próbek szlifowanych uzyskano średnie odchylenie od średniej wysokości chropowatości $R_a = 1,05\mu$, a dla próbek toczonych $R_a = 2,65\mu$, co odpowiada odpowiednio siódmej i piątej klasie gładkości. Rysunek 18 przedstawia zdjęte profilogramy dla próbek szlifowanych i toczonych.

Z serii próbek przeznaczonej do badań wyeliminowano te, które odbiegały twardością ($HV_{30} = 75 \pm 2,3 \text{ daN/mm}^2$), kształtem części pomiarowej ($R = 50 \pm 0,1 \text{ mm}$), wymiarem części pomiarowej ($d_0 = 8,32 \pm 0,05 \text{ mm}$), biciem na części pomiarowej równym 0,03 mm, od średniej wartości dla zbioru.



Rys. 18 Profilogramy mikronierówności powierzchni
dla próbek:

a - szlifowanych

b - toczonych.

Uzyskane w wyniku takiej selekcji zbiory próbek uznawano za jednorodne.

Powłoki z Poliamidu M wykonywano przez zanurzenie (jedno lub wielokrotne) próbek w alkoholowym roztworze poliamidu. Przed powlekaniem, próbki odtłuszczono w trój-

chloroetylenie ("tri") i zwilżano alkoholem metylowym.

Roztwór do powlekania sporządzono przez rozpuszczenie na gorąco (pod chłodnicą zwrotną) 30-tu części wagowych produktu handlowego, w 70-ciu częściach wagowych metanolu.

Po całkowitym rozpuszczeniu i oziębieniu dodawano do roztworu, bezpośrednio przed powlekaniem, 0,3 części wagowych bezwodnika maleinowego, którego zadaniem jest powodowanie częściowego odczepienia grup metoksymetylowych, co powoduje zwiększenie stabilności i obniżenie rozpuszczalności powłoki poliamidowej. W wyniku jednokrotnego zanurzenia uzyskano średnią grubość powłoki równą 0,01 mm. Grubość powłoki równą 0,04 mm i 0,08 mm uzyskano przez dwu - i trzykrotne zanurzenie próbki w roztworze alkoholowym poliamidu M, stosując między kolejnymi zanurzeniami przerwy trwające około 30 minut. Naniesione powłoki utwardzono w temperaturze pokojowej, w czasie równym co najmniej 72 godziny. Operację powlekania wykonano bezpośrednio po obróbce wykańczającej. Czas, między zakończeniem toczenia lub szlifowania a nałożeniem powłoki, nie przekraczał dwóch godzin.

Powłoki z żywicy epoksydowej Epidian 1 wykonywano przez zanurzenie próbek odtłuszczonych w rozpuszczonym na gorąco roztworze 100 części wagowych żywicy i 10 części

wagowych bezwodnika maleinowego.

Utwardzanie powłok przeprowadzono w suszarce, wygrzewając je odpowiednio dla grubości powłoki 0,08 mm, w temperaturze $t = 150^{\circ}\text{C}$ i w czasie $\tau = 5$ godzin, dla grubości powłoki 0,18 mm w temperaturze $t = 100^{\circ}\text{C}$ i w czasie $\tau = 24$ godziny. Czas, między zakończeniem obróbki skrawaniem a początkiem nakładania powłok, nie przekraczał dwóch godzin.

4. Wyniki badań zmęzeniowych oraz ich statystyczne opracowanie.

Na opracowanie wyników pomiarów zmęzeniowych składa się:

- a. sprawdzenie normalności rozkładu wyników pomiarów,
- b. wyznaczenie równań prostych regresji,
- c. sprawdzenie słuszności przyjęcia regresji prostopadłej,
- d. wyznaczenie przedziałów ufności i prostych regresji dla pojedynczych spostrzeżeń i wartości oczekiwanej.

Wobec dużej ilości badań objętych programem, opracowanie wyników pomiarów połączono w charakterystyczne grupy, które dla łatwiejszego rozróżnienia nazwano:

- a. grupą "próbek niepowlekanych", w skład której wchodzi opracowanie wyników badań próbek szlifowanych, drążonych i toczonych (tabela 5),

- b. grupą "próbek szlifowanych powlekanych" w skład której wchodzi opracowanie wyników badań próbek szlifowanych powlekanych tworzywami o różnej grubości, (tabela 6,7),
- c. grupą "próbek toczonych powlekanych" i "grupą próbek drążonych powlekanych" w skład której wchodzi opracowanie wyników badań dla próbek toczonych i drążonych powlekanych tworzywami o różnej grubości (tabela 8 ÷ 11).

Podany poniżej tok obliczeń zawarto w specjalnych tabelach w ten sposób, że zachowana jest kolejność odpowiednich rachunków, przy czym każda tabela zawiera wszystkie wyniki częściowe, potrzebne do wyliczenia żądanych wielkości. W miarę możliwości w tabelach umieszczono odpowiednie wnioski, wynikające z przeprowadzonej analizy.

4.1. Sprawdzenie normalności rozkładu wyników pomiaru w próbce^{x)}

Zastosowane metody statystyczne wymagają, by rozkład wyników z próby był rozkładem normalnym lub bardzo do niego

x) Statystycznie przez "próbkę" należy rozumieć ilość elementów wylosowanych z populacji, na których wykonano przewidziane programem pomiary.

zbliżonym $[11, 29, 45]$.

Zamiana zmiennej z żywotności N na logarytm żywotności $\log N$ pozwala sprowadzić rozkład wyników z prób do rozkładu normalnego $[9]$. Słuszność tego założenia sprawdzono, nanosząc (dla każdego poziomu naprężenia oddzielnie) logarytmy trwałości $[za\ 6]$ na normalną siatkę prawdopodobieństwa $(P_m, \lg N)$.

Otrzymane wyniki z pomiarów powinny układać się wzdłuż linii prostej. Dla kilku przypadków niejednoznacznych (mała ilość wyników i duży rozrzut) sprawdzono słuszność przyjęcia rozkładu logarytmo-normalnego przez wyznaczenie równania prostej regresji, po uprzednim przyporządkowaniu określonym prawdopodobieństwom P_m wartości podziałki liniowej y .

Porównując współczynnik korelacji r z wielkością $r_{\alpha; k-2}$ (tab. 16 $[39]$), określono istotność korelacji, a tym samym słuszność założenia o logarytmo-normalnym rozkładzie wyników pomiaru, jeżeli spełniony był warunek:

$$r > r_{\alpha; k_i - 2} \quad H_0 : \zeta = 0$$

w którym:

α - prawdopodobieństwo popełnienia błędu gdy nie ma korelacji,

$(k_1 - 2)$ - stopnie swobody (k_1 - ilość próbek na
badanym poziomie naprężenia) .

Wykresy na normalnej siatce prawdopodobieństwa poda-
no na rys. 19 ÷ 25 a weryfikację przeprowadzono w tabe-
lach 12 ÷ 13.

4.2. Wyznaczenie równań prostych regresji

W analizie zastosowano metodę najmniejszych kwadra-
tów [6, 45] przy założeniu liniowej funkcji $\sigma = f(\lg N)$
w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej
o równaniu:

$$\sigma = \alpha \lg N + \beta$$

Z metodyki przeprowadzonych badań wynika, że naprężenie σ
jest zmienną niezależną, a żywotność N zmienną zależną.

Przyjęto więc oznaczać przez y logarytm żywotności,
a przez x wartość naprężenia. Otrzymano w ten sposób
równanie prostej regresji w postaci:

$$\hat{y} = a + b \hat{x} \longrightarrow \lg N = \alpha + b \sigma$$

Parametry a , b i r^2 wyznaczono w zależności:

$$b = \frac{\sum' xy}{\sum' x^2} ; \quad a = \bar{y} - b\bar{x} ; \quad r^2 = \frac{(\sum' xy)^2}{\sum' x^2 \cdot \sum' y^2}$$

w których sumy kwadratów odchyłań $\sum'$ wynoszą:

$$\sum' x^2 = \sum (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} \right)^2$$

$$\sum' xy = \sum (x_{ij} y_{ij} - \bar{x} \bar{y}) = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} y_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$$

$$\sum' y^2 = \sum (y_{ij} - \bar{y})^2 = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij} \right)^2$$

natomiast wartości średnie:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} \quad ; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$$

a całkowita ilość próbek:

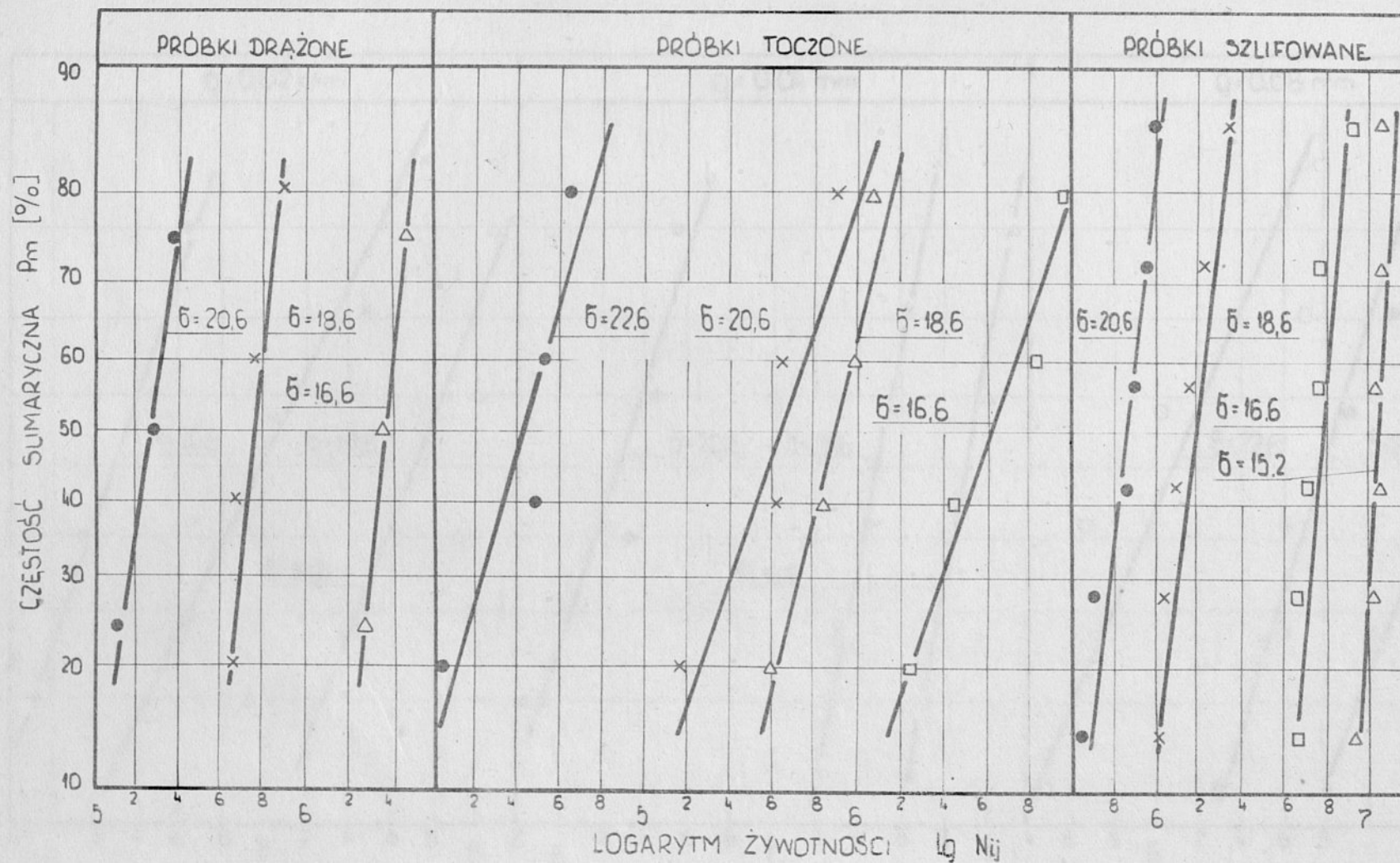
$$n = \sum_{j=1}^p k_j$$

i - oznaczenie próbki na poziomie
naprężenia j

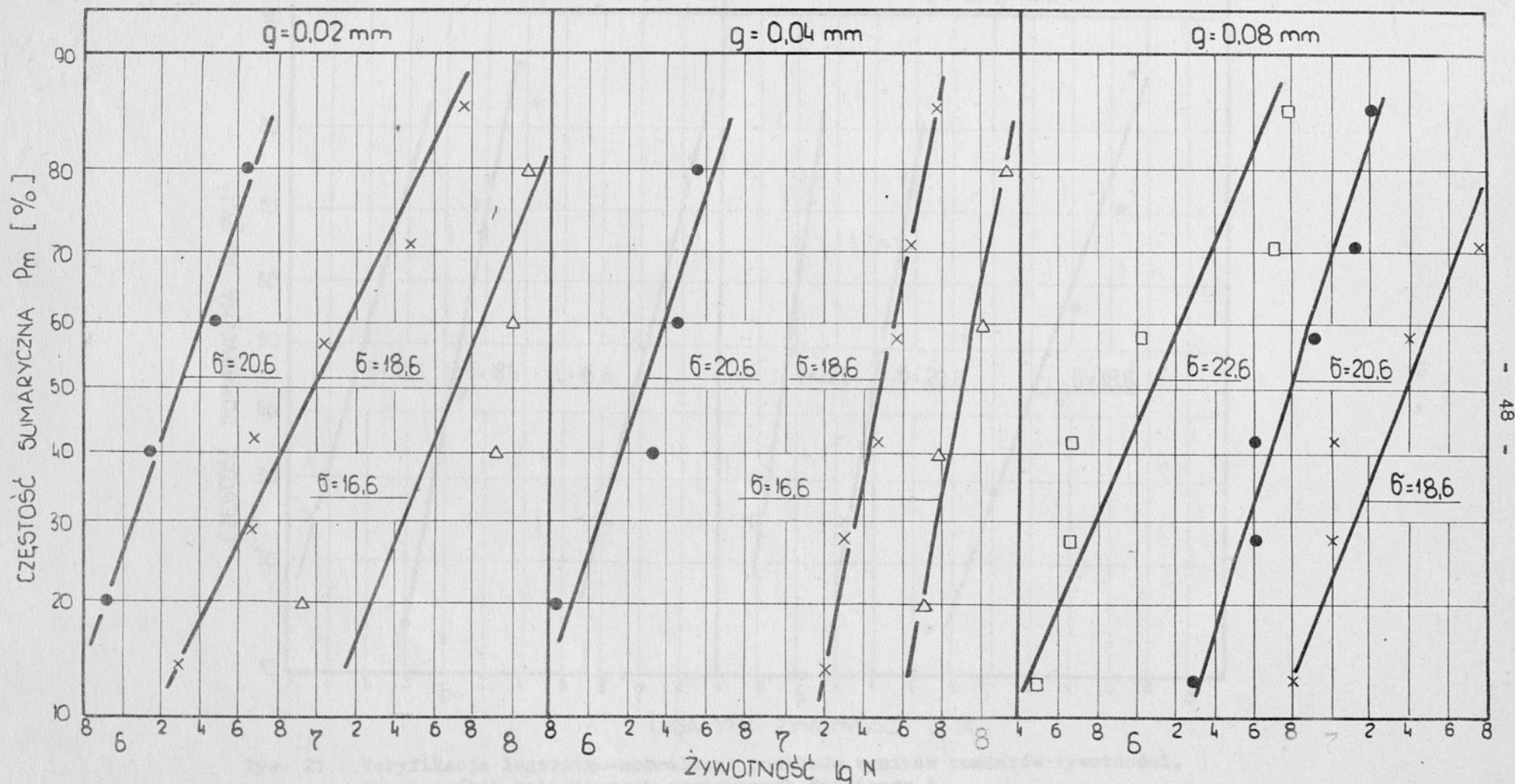
k_j - ilość próbek na poziomie
naprężenia j

p - ilość poziomów naprężenia

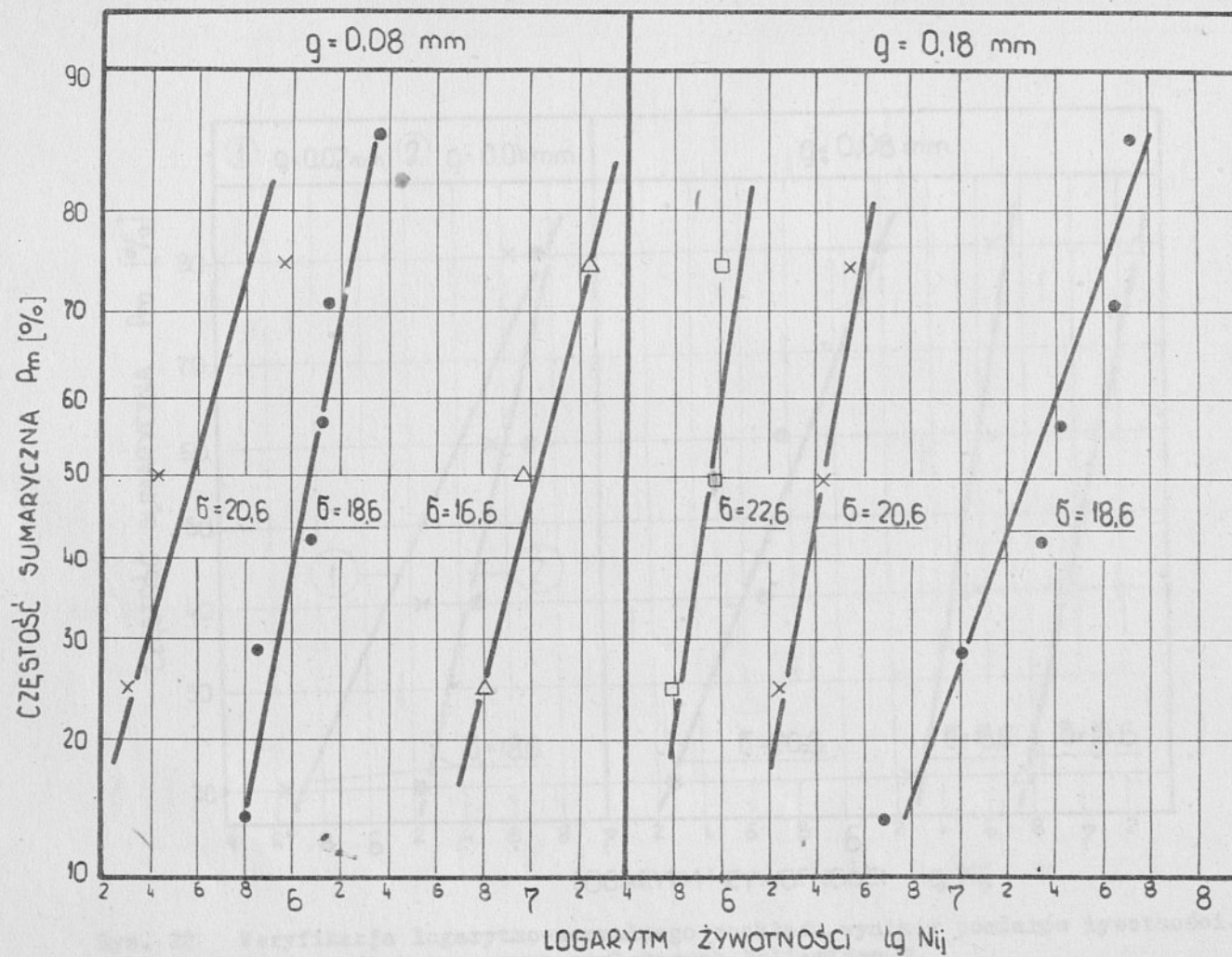
Obliczenia częściowe oraz obliczenia równań prostych
regresji podano w tabelach 14 ÷ 20. Uzyskane wykresy
Wohlera umieszczono na rysunkach 26 ÷ 32.



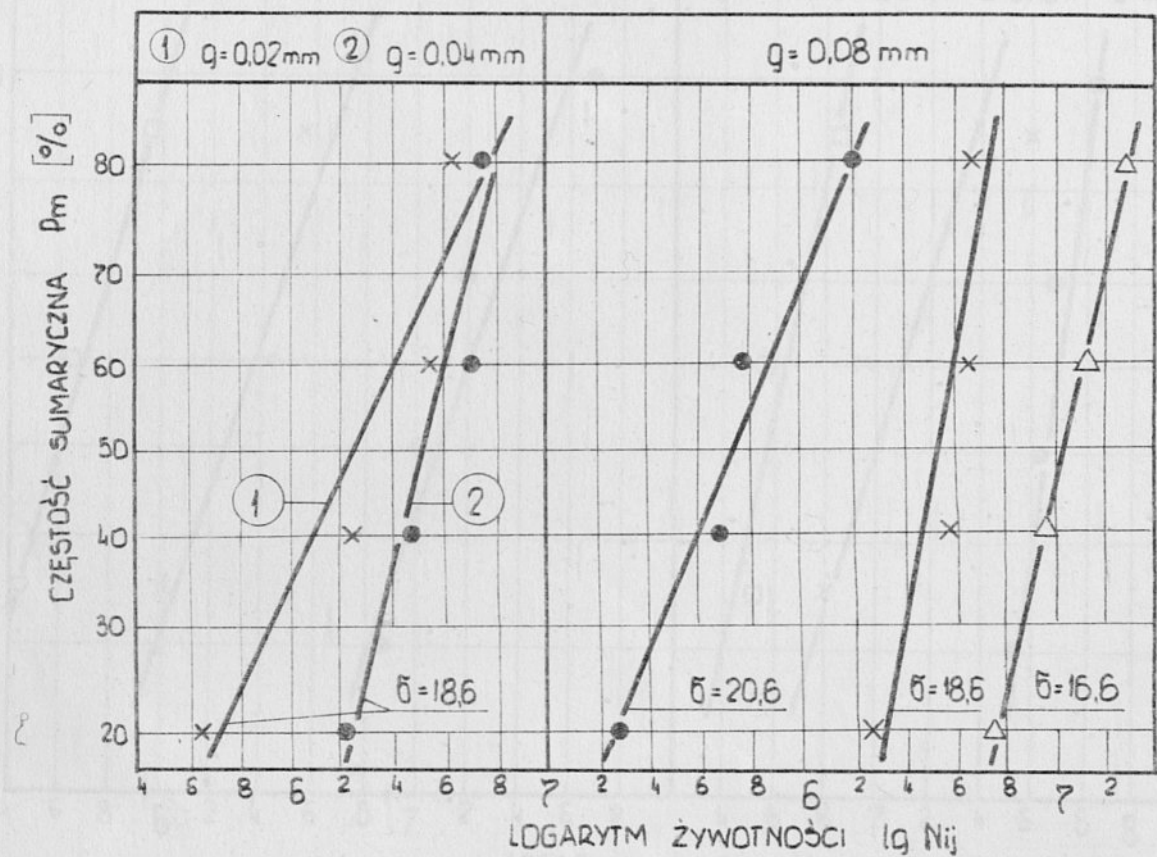
Rys. 19 Weryfikacja logarytmno-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek niepowlekanych.



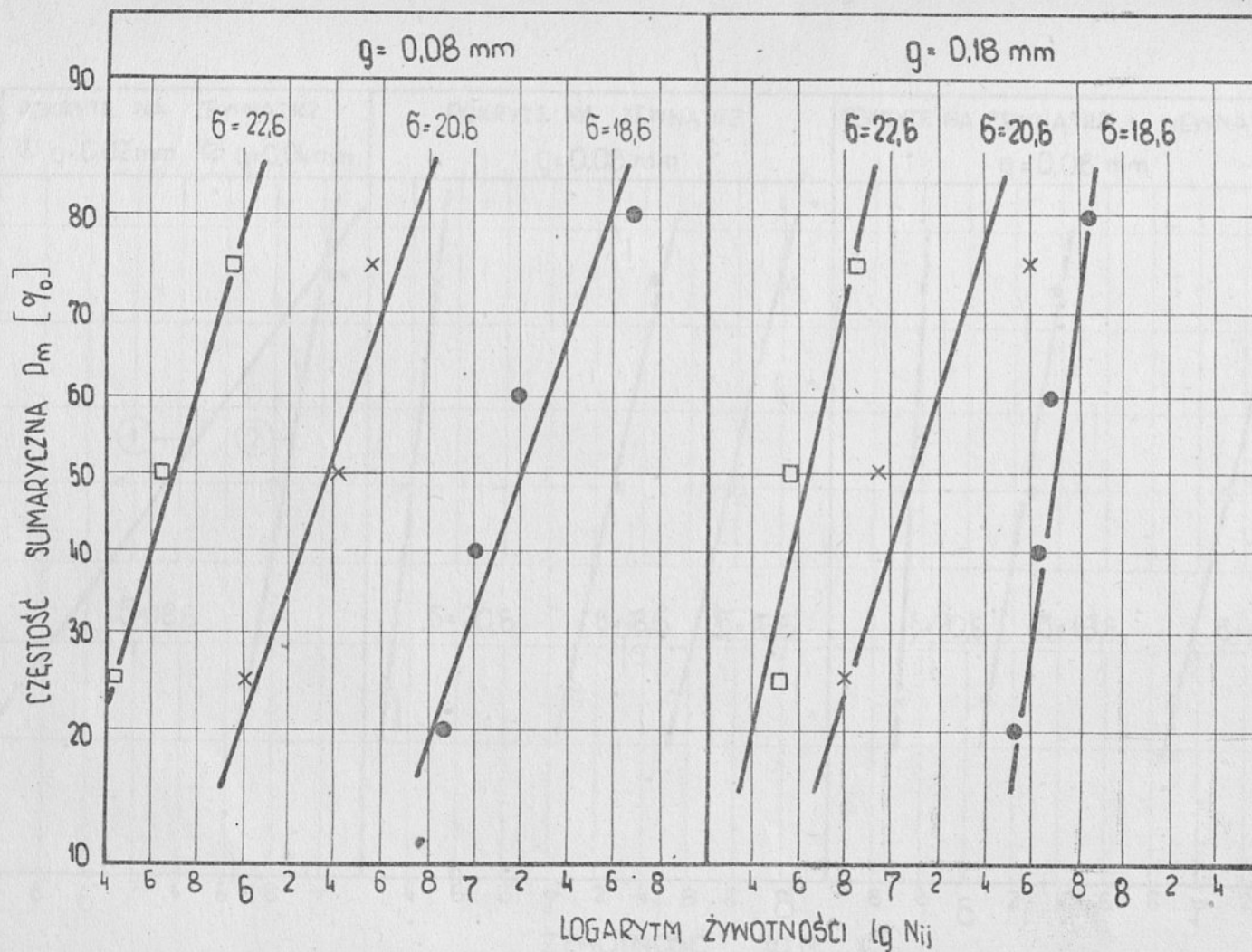
Rys. 20 Weryfikacja logarytmno-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.



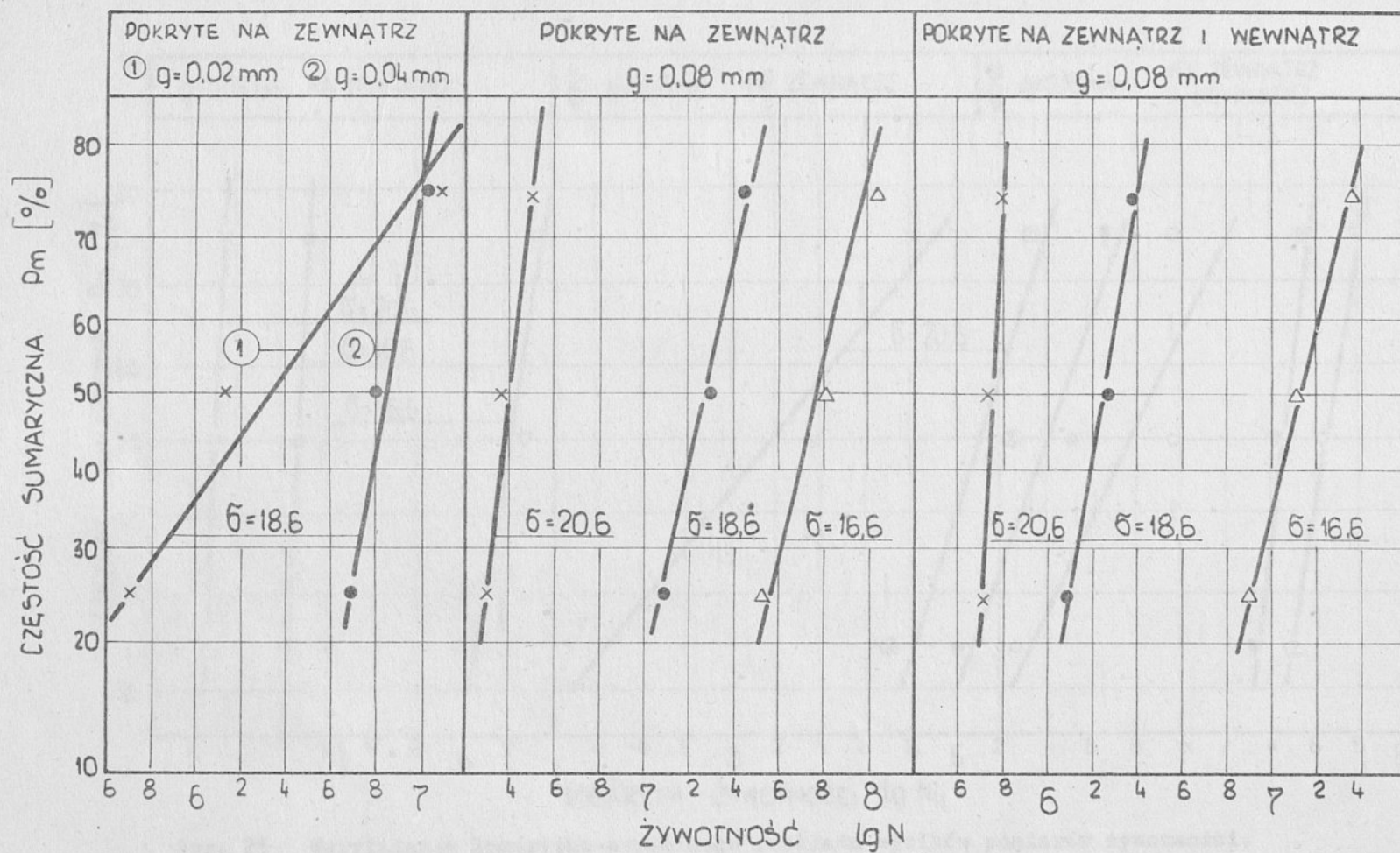
Rys. 21 Weryfikacja logarytmo-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1.



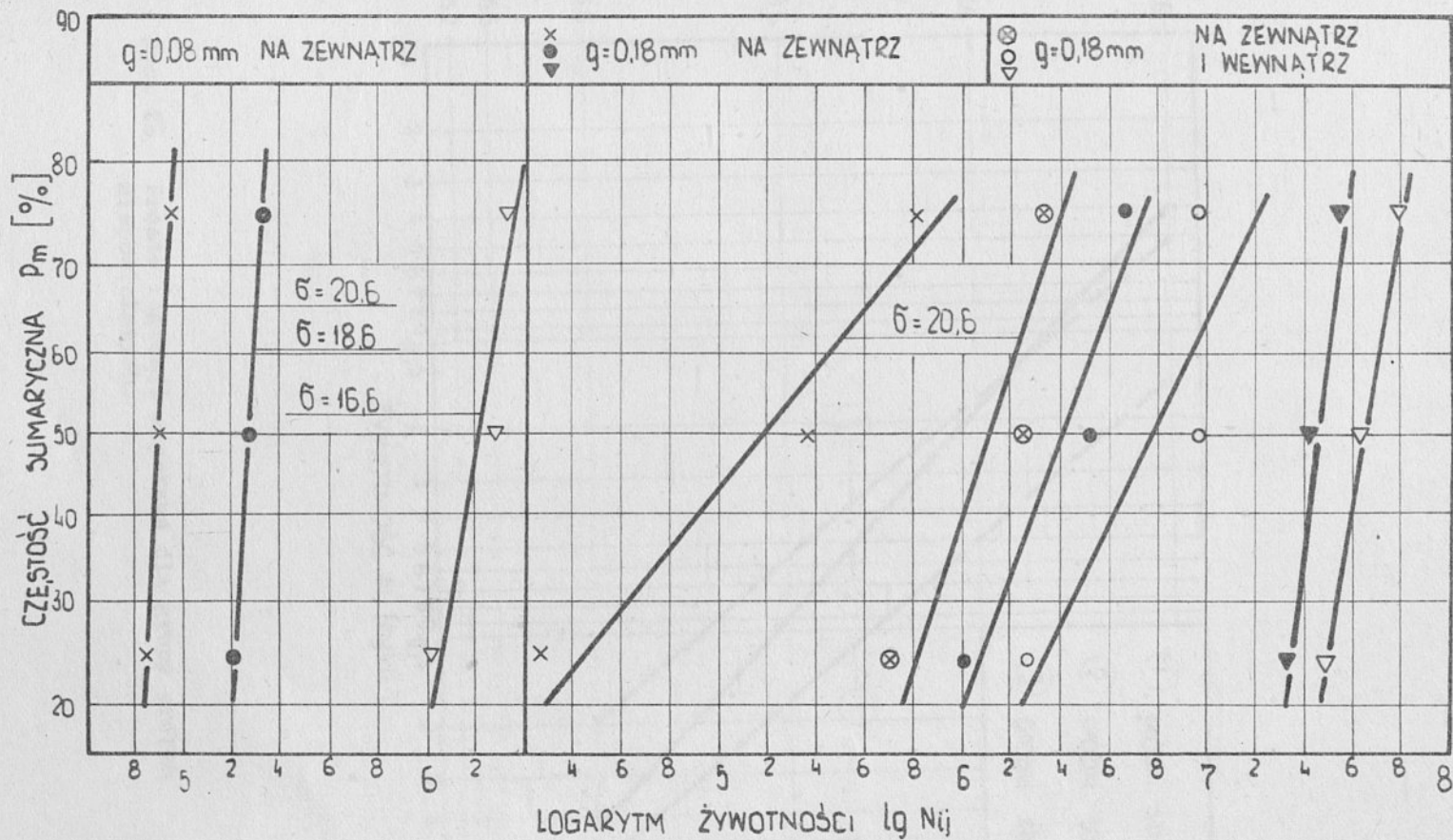
Rys. 22 Weryfikacja logarytm-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek toczonych powlekanych Poliamidem M.



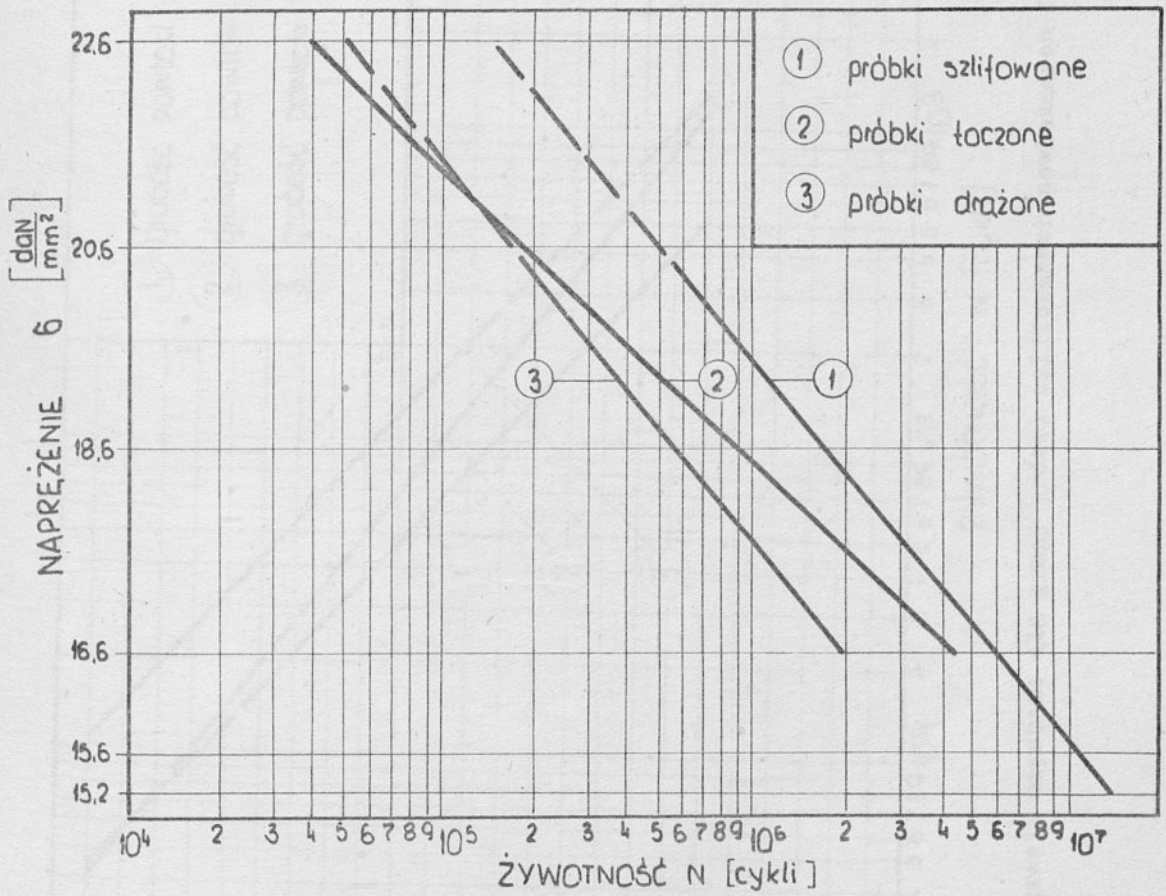
Rys. 23 Weryfikacja logarytmno-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek toczonych powlekanych Epidianem 1.



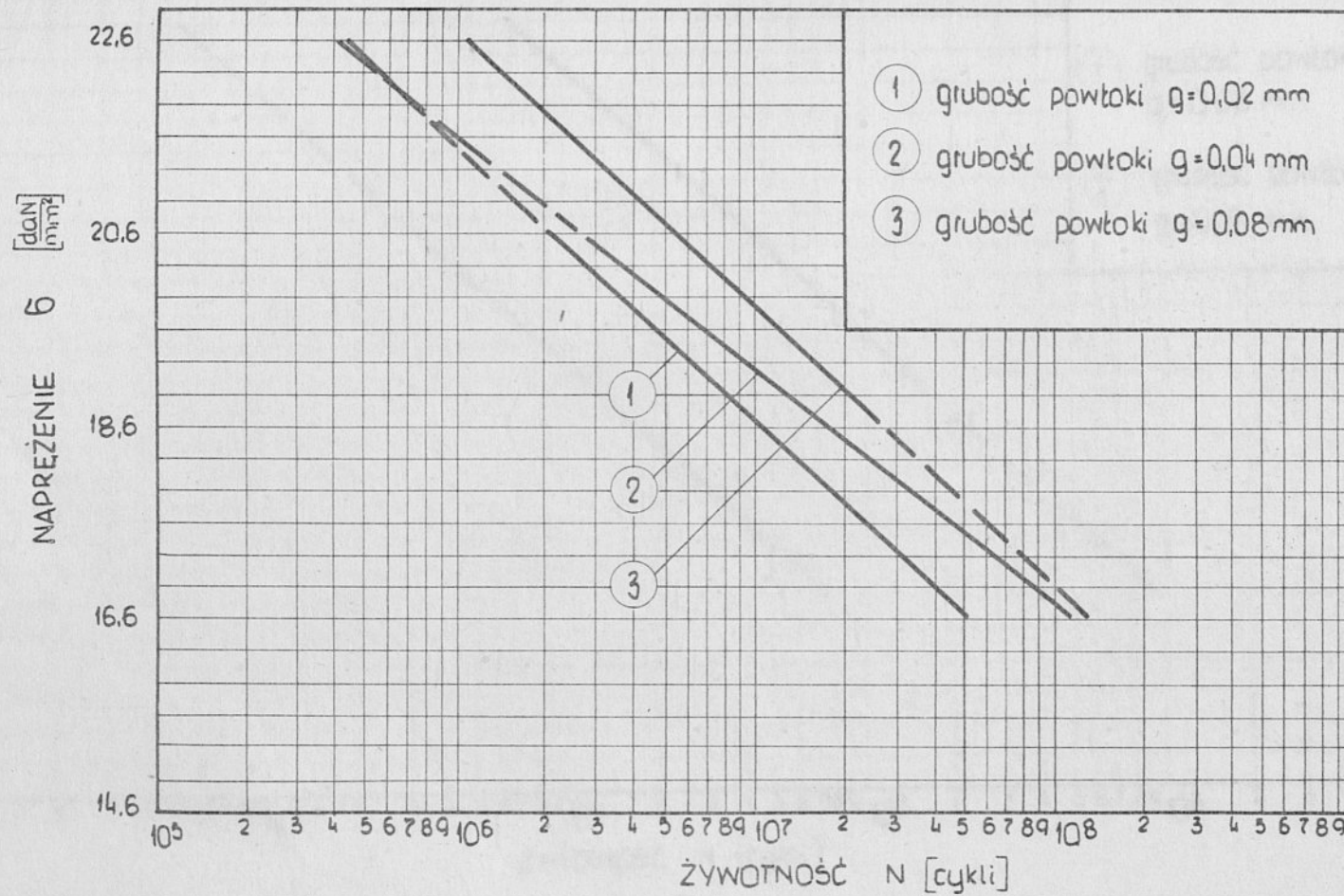
Rys. 24 Weryfikacja logarytmu-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek drążonych powlekanych Poliamidem M.



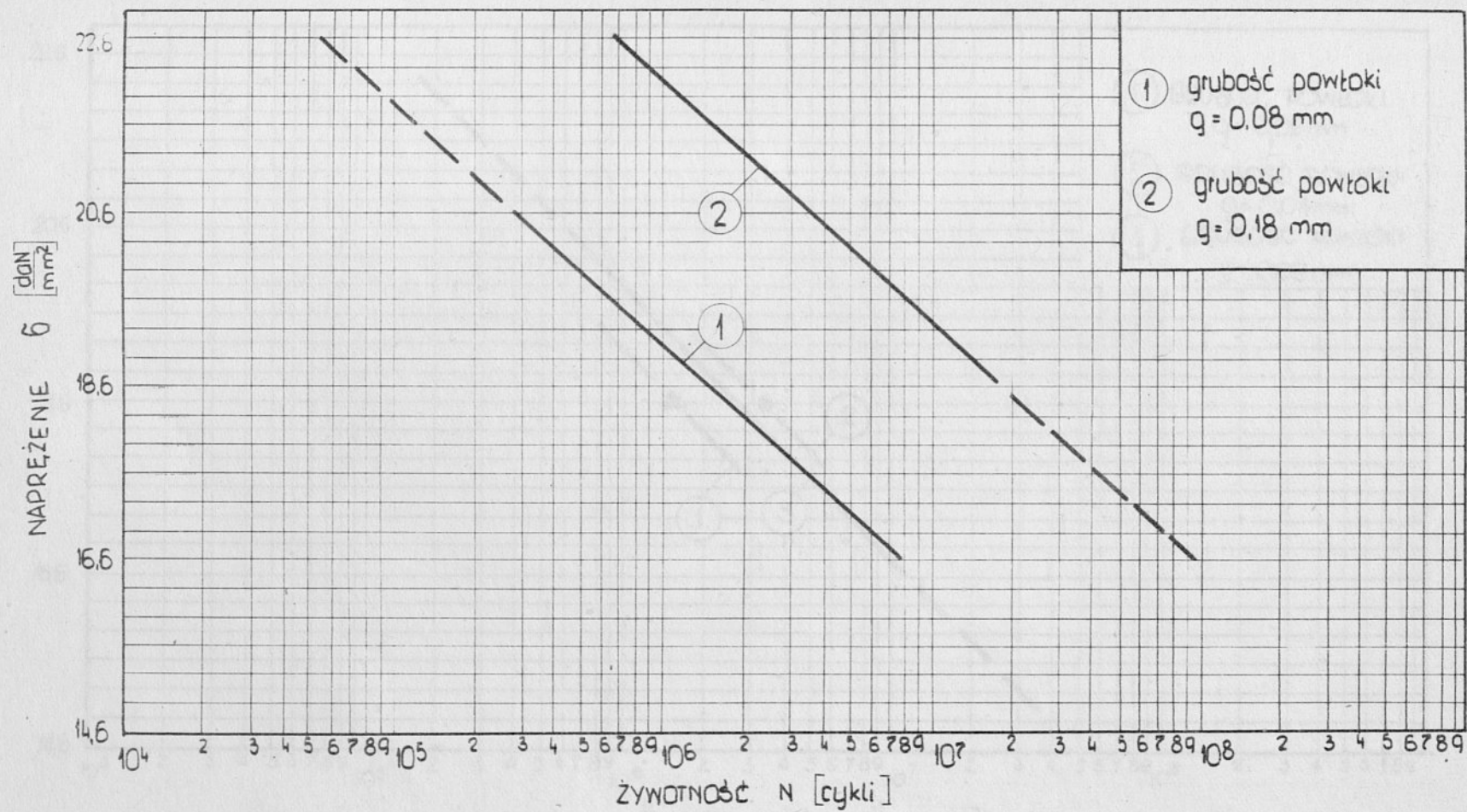
Rys. 25 Weryfikacja logarytmo-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek drążonych powlekanych Epidianem 1.



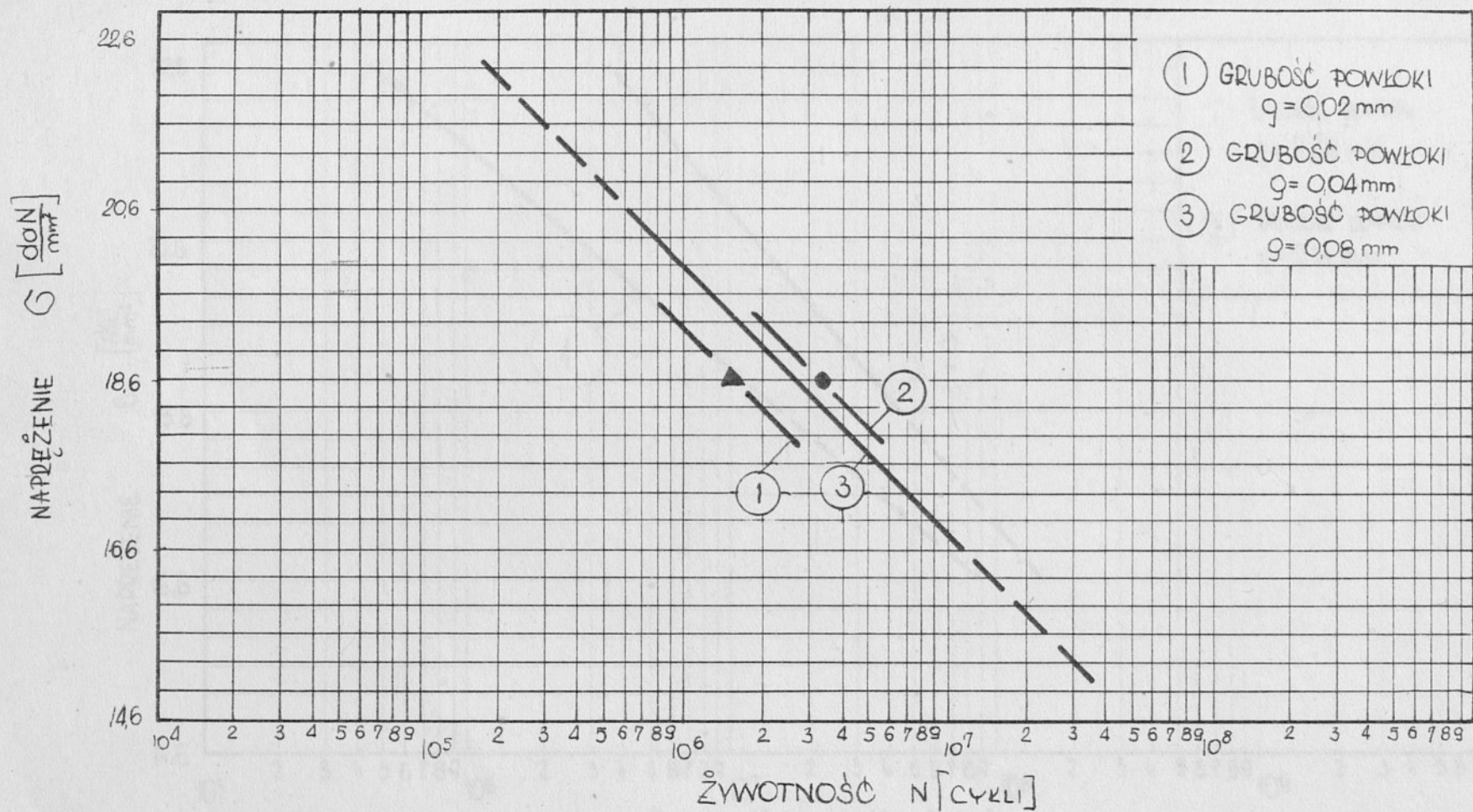
Rys. 26 Proste regresji uzywane dla grupy próbek niepowlekanych.



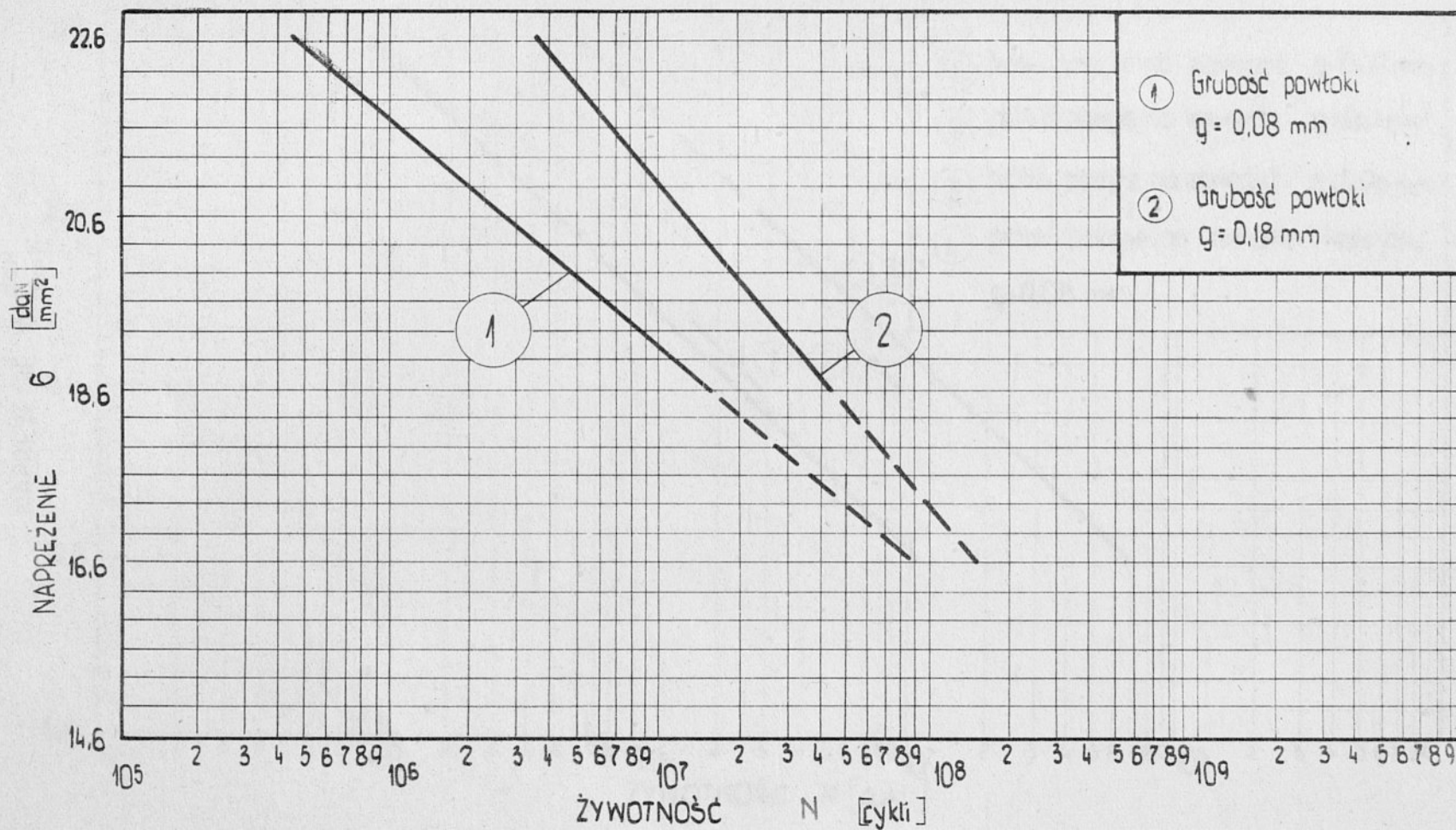
Rys. 27 Proste regresji uzyskane dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.



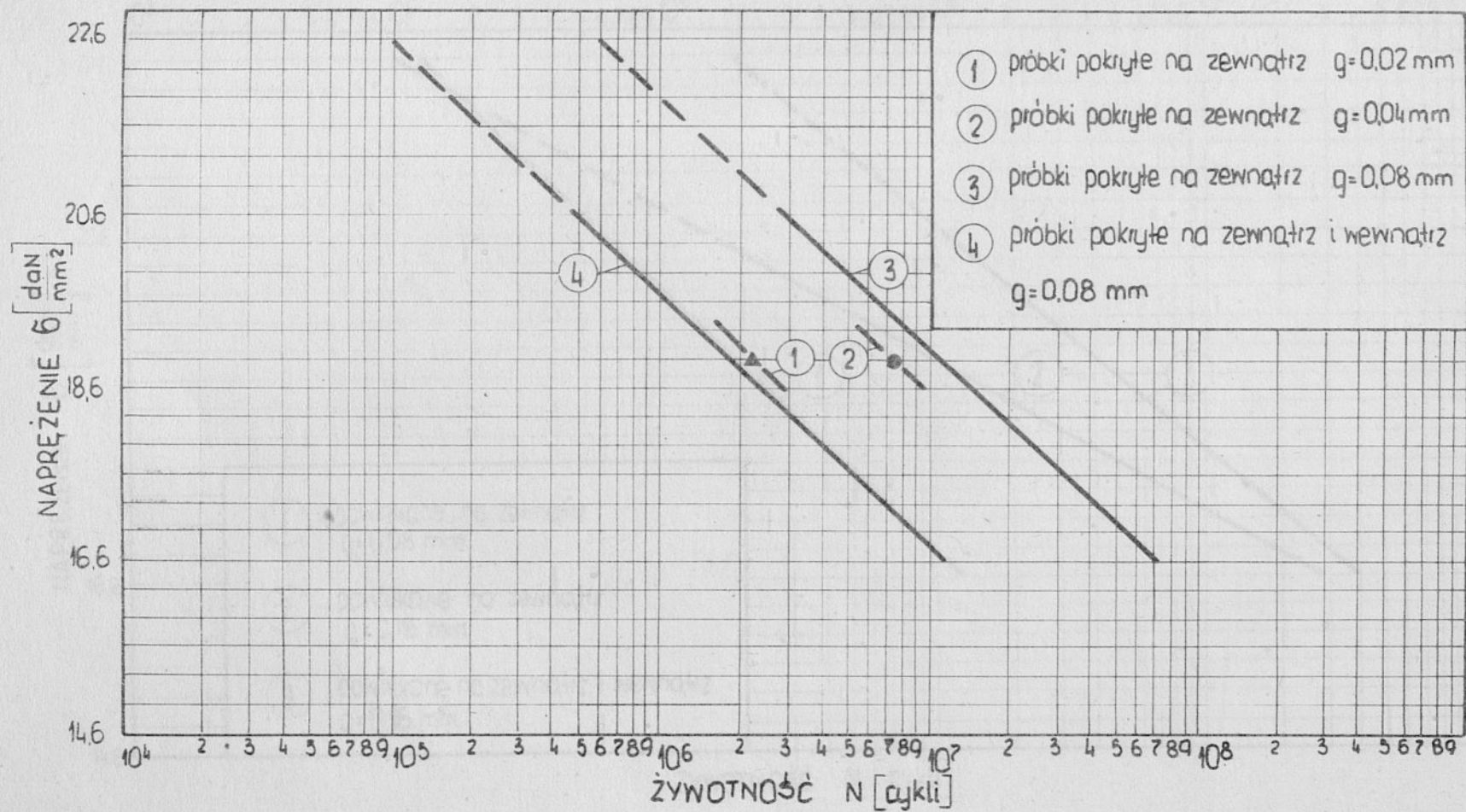
Rys. 28 Proste regresji uzyskane dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1.



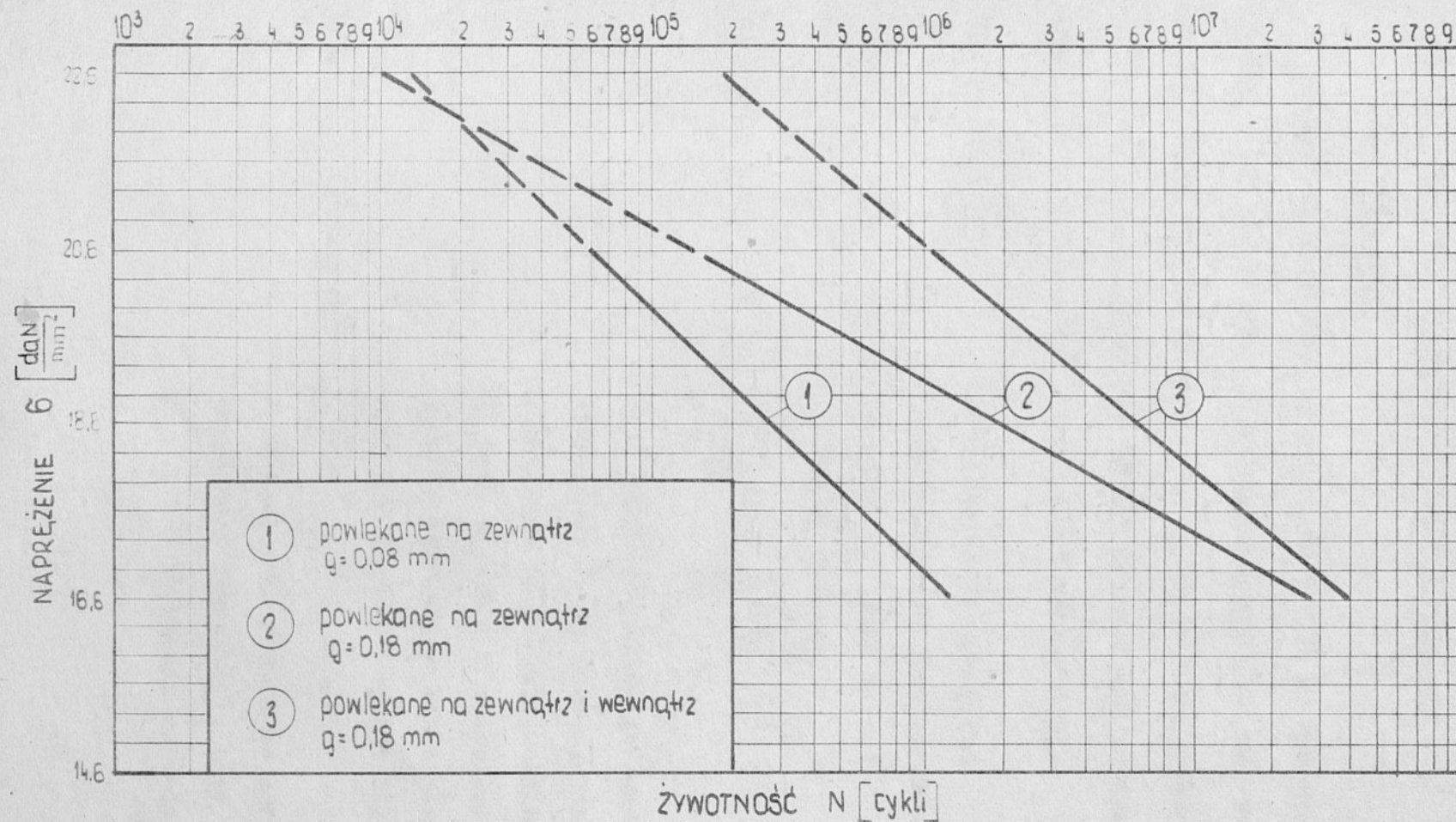
Rys. 29 Proste regresji uzyskane dla grupy próbek toczonych powlekanych Poliamidem M.



Rys. 30 Proste regresji uzyskane dla grupy próbek toczonych powlekanych Epidianem 1.



Rys. 31 Proste regresji uzyskane dla grupy próbek drażonych powlekanych Poliamidem M.



Rys. 32 Proste regresji uzyskane dla grupy próbek drążonych powlekanych Epidianem 1.

4.3. Sprawdzenie słuszności przyjęcia regresji prostoliniowej

Przeprowadzone pomiary dla wyznaczenia każdej prostej regresji stanowią model losowania z powtórzeniami, wobec czego porównanie powtórzeń można wziąć jako oszacowanie błędu [45]. Całkowitą sumę kwadratów odchyleń od średniej $\sum' y^2 = \sum (y_{ij} - \bar{y})^2$ rozdzielano następująco:

$$\sum' c^2 = \frac{(\sum' xy)^2}{\sum' x^2}$$

- suma kwadratów zniesiona przez korelację liniową określoną przez r^2 , przy $j_c = 1$ stopniach swobody.

$$\sum \sum' y^2 = \sum (\bar{y}_j - \bar{y})^2 = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2 - \sum_{j=1}^p \frac{(\sum_{i=1}^k y_{ij})^2}{k_i}$$

- suma kwadratów odchyleń średnich żywotności $\bar{y}_j$ na j-tym poziomie naprężenia od średniej ogólnej $\bar{y}$, przy $j_b = n - p$ stopniach swobody (wariancję tej wielkości przyjęto jako oszacowanie błędu).

$$\sum' \hat{y}^2 = \sum' y^2 - \sum' c^2 - \sum \sum' y^2$$

- resztkowa suma kwadratów odchyleń od prostej regresji $\hat{y}$, przy $j_R = p - 2$ stopniach swobody.

Celem sprawdzenia słuszności przyjęcia regresji prostoliniowej, sprawdzono jednorodność wariancji (zniesionej przez korelację liniową s_c^2 i wariancję błędu s_b^2) przy pomocy testu F Snedecora [11, 29, 45]. Wartość funkcji testowej F_1^0 obliczono według wzoru:

$$F_1^0 = s_c^2 : s_b^2 \quad H_0 : s_c^2 = s_b^2$$

w którym oszacowania wariancji, wynoszą:

$$s_c^2 = \frac{\sum c^2}{j_c} \quad ; \quad s_b^2 = \frac{\sum \sum y^2}{j_b}$$

Jeżeli spełniony został warunek:

$$F_{j_1 ; j_2 ; \alpha} < F_1^0 < \frac{1}{F_{j_2 ; j_1 ; \alpha}}$$

to z maksymalnym prawdopodobieństwem 2α popełnienia błędu, wnioskowano o istotności przyjęcia korelacji prostoliniowej.

$F_{j_1, j_2, \alpha}$ - wartość odczytana z tablic F Snedecora (tabl. 15 [39]) dla prawdopodobieństwa α oraz $j_1 = j_c$ i $j_2 = j_b$ stopniach swobody.

Na podstawie porównania wariancji resztkowej s_R^2 i wariancji błędu s_b^2 , przy pomocy funkcji testowej

$$F_2^0 = s_R^2 : s_b^2 \quad \text{lub} \quad F_2^0 = s_b^2 : s_R^2, \text{ wnioskowano (w sposób}$$

jak wyżej) o tym, czy dodatkowa nie wyjaśniona zmienność nie wpływa na żywotność próbek $\lg N = f(G)$.

Wyniki zastosowanego testu wraz z odpowiednimi wnioskami podano w tabelach: 21 ÷ 27.

4.4. Wyznaczenie przedziałów ufności prostych regresji - dla pojedynczych spostrzeżeń i wartości oczekiwanej.

Przedziały ufności definiuje się jako wyrażenie: wielkość badana $\pm 1/2 \text{ PU}$ [11, 29, 42, 45]. Jedną drugą przedziału ufności ($1/2 \text{ PU}$) jest iloczynem oszacowania odpowiedniego odchylenia standardowego i parametru t (tabl. t - Studenta), określonego dla odpowiedniego prawdopodobieństwa α i liczby stopni swobody j :

$$1/2 \text{ PU} = t_{\alpha; j} \cdot s$$

Wariancja oszacowywania $s^2(\hat{y})$ jest miarą przeciętnego odchylenia danych od ich oszacowania zgodnie z prostą regresji [45]. Faktycznie jest to suma kwadratów odchyleń podzielona przez ilość stopni swobody w obliczeniu korelacji:

$$s^2(\hat{y}) = \frac{\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2}{n-2}$$

Oszacowanie wariancji współczynnika nachylenia $s^2(b)$,
dowolnego oszacowania przeciętnej wartości $s^2(\hat{y}_j)$ oraz
dowolnego oszacowania pojedynczej wartości $s^2(\hat{Y}_j)$ podano
w poniższych wzorach:

$$s^2(b) = \frac{s^2(\hat{y})}{\sum x^2}$$

$$s^2(\hat{y}_j) = s^2(\hat{\bar{y}}) + s^2(b) \cdot (\bar{x} - x_j)^2$$

$$s^2(\hat{Y}_j) = s^2(\hat{y}) + s^2(\hat{y}_j)$$

w których:

$$s^2\left(\hat{\bar{y}}\right) = \frac{s^2(\hat{y})}{n} \quad - \text{wariancja średniej } \bar{y}$$

n - liczebność próby,

$\bar{x}$ - średnia ogólna,

x_j - dowolny poziom naprężenia,

$\sum x^2$ - suma kwadratów odchyleń x_{1j} od $\bar{x}$.

Jedne drugie przedziału ufności 1/2 PU dla prawdopodobieństwa 95 % wyniosą odpowiednio

$$1/2 \text{ PU}(b) = t_{0,05; n-2} \cdot s(b)$$

$$1/2 \text{ PU}(\hat{y}_j) = t_{0,05; n-2} \cdot s(\hat{y}_j)$$

$$1/2 \text{ PU}(\hat{Y}_j) = t_{0,05; n-2} \cdot s(\hat{Y}_j)$$

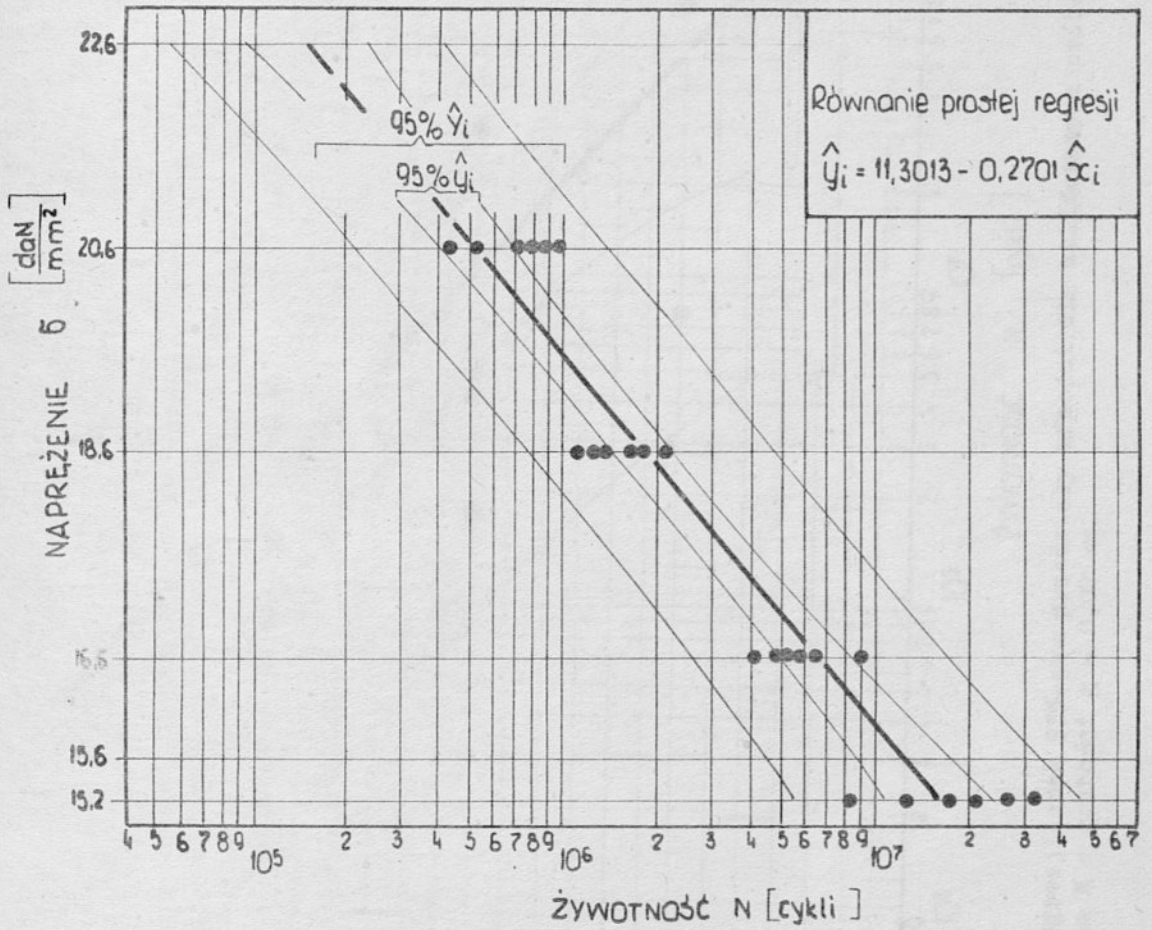
Obliczenia wariancji oraz $1/2 \text{ PU}$ podano w tabelach 28 - 34 a 95 % przedziały ufności w tabelach 35 - 41 oraz na rysunkach 33 - 48.

W przypadku opracowywania wyników pomiarów wykonanych tylko na jednym poziomie naprężenia, granice ufności obliczono w sposób podobny, przyjmując za oszacowanie wariancji wartości przeciętnej $s^2(\bar{y}_j)$ oraz pojedynczego zdarzenia $s^2(Y_j)$ wyrażenia:

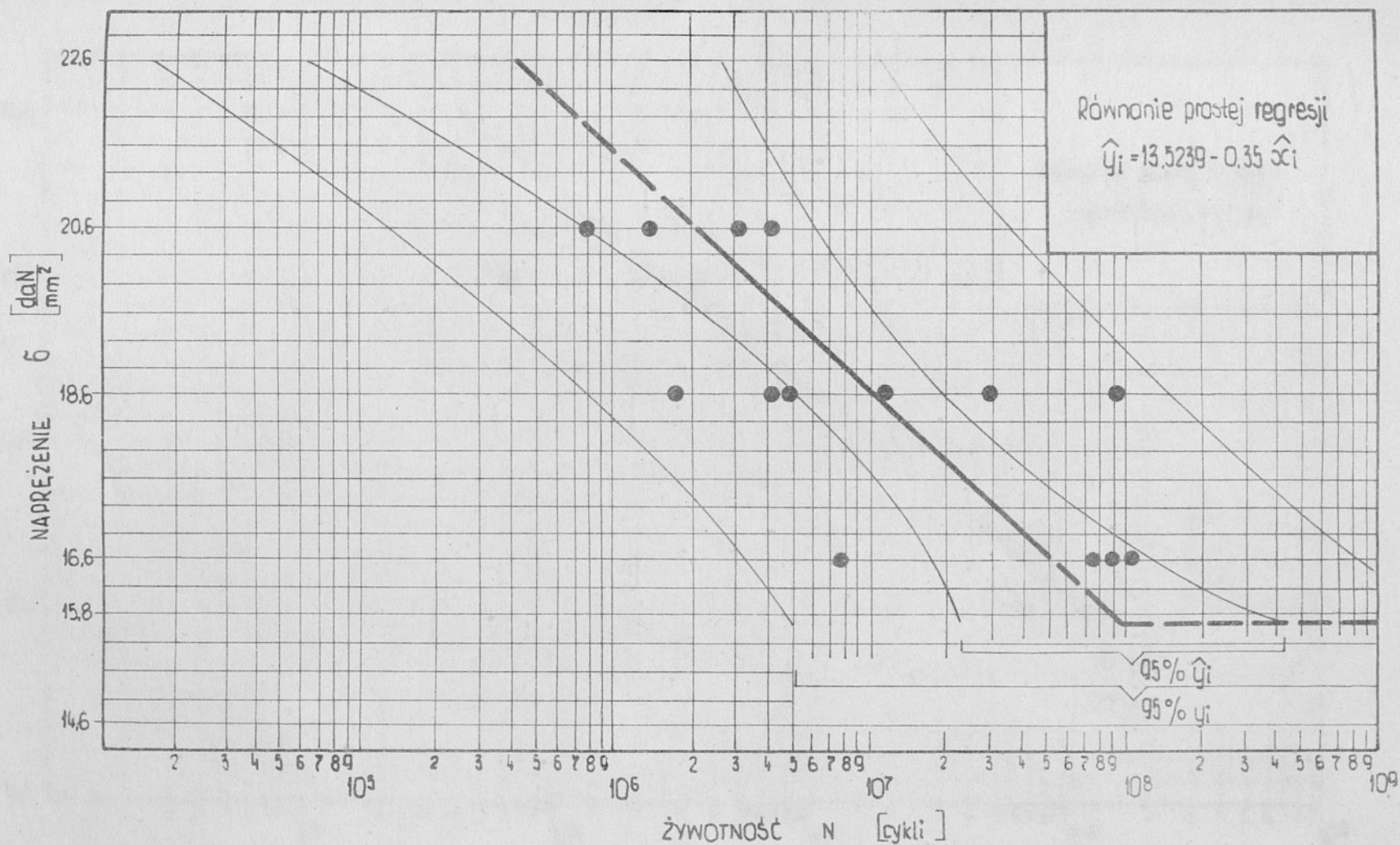
$$s^2(\bar{y}_j) = \frac{s^2(Y_j)}{k_i}$$

$$s^2(Y_j) = \frac{\sum y^2}{k_i - 1}$$

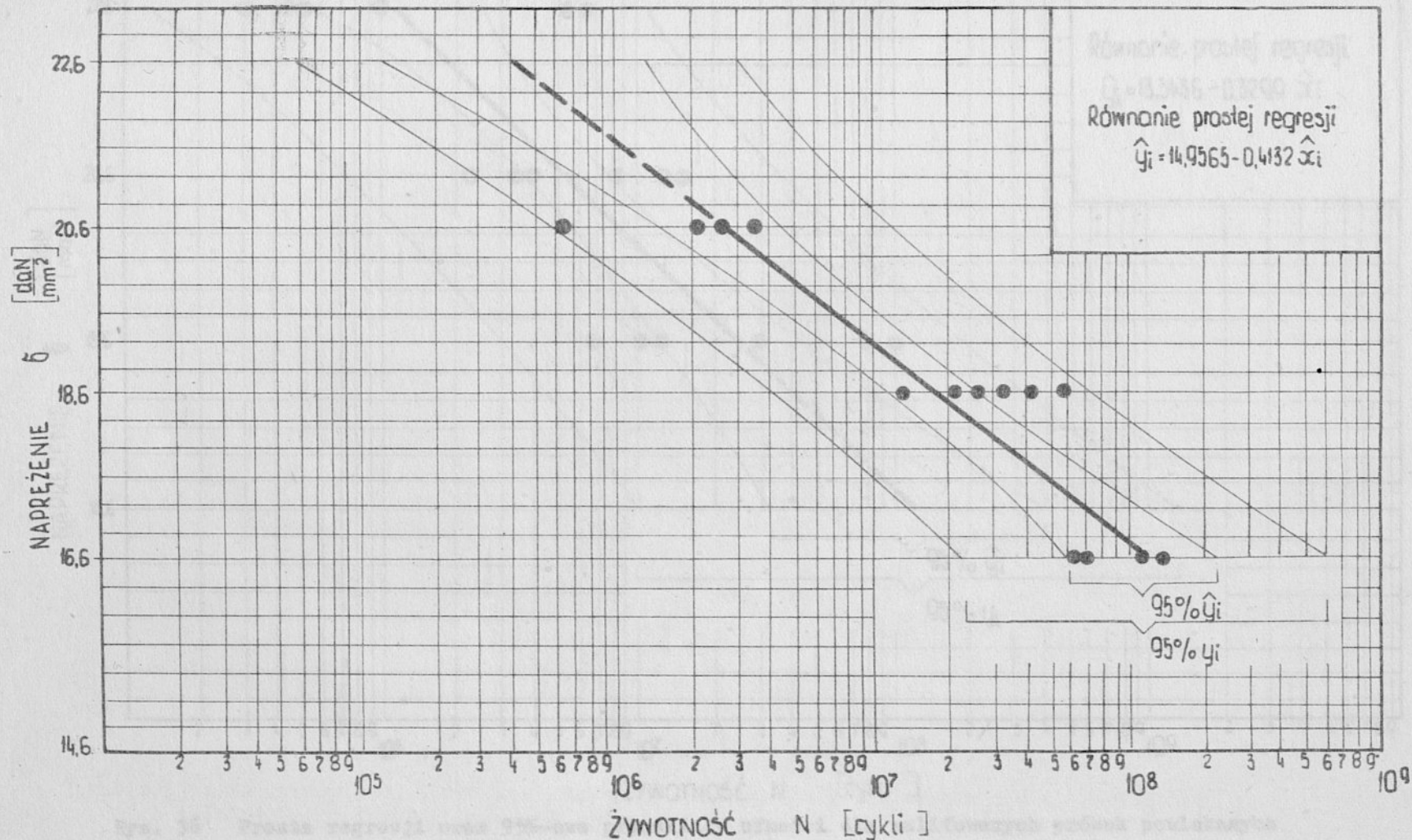
Wartość funkcji testowej $t_{\alpha,j}$ odczytywano dla $\alpha = 0,05$ oraz $j = k_i - 1$.



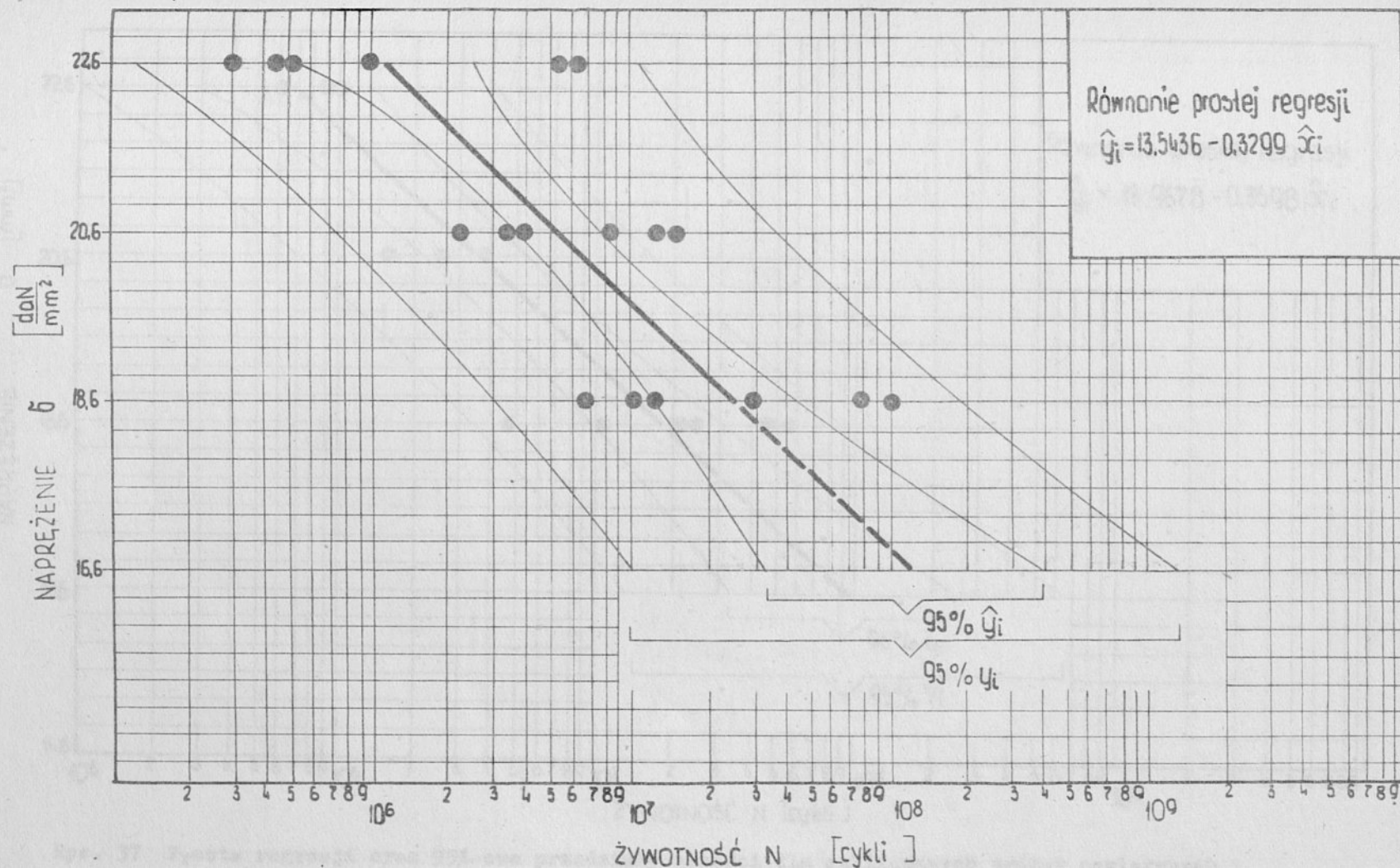
Rys. 33 Prosta regresji oraz 95 %-owe przedziały ufności dla niepowlekanych próbek szlifowanych.



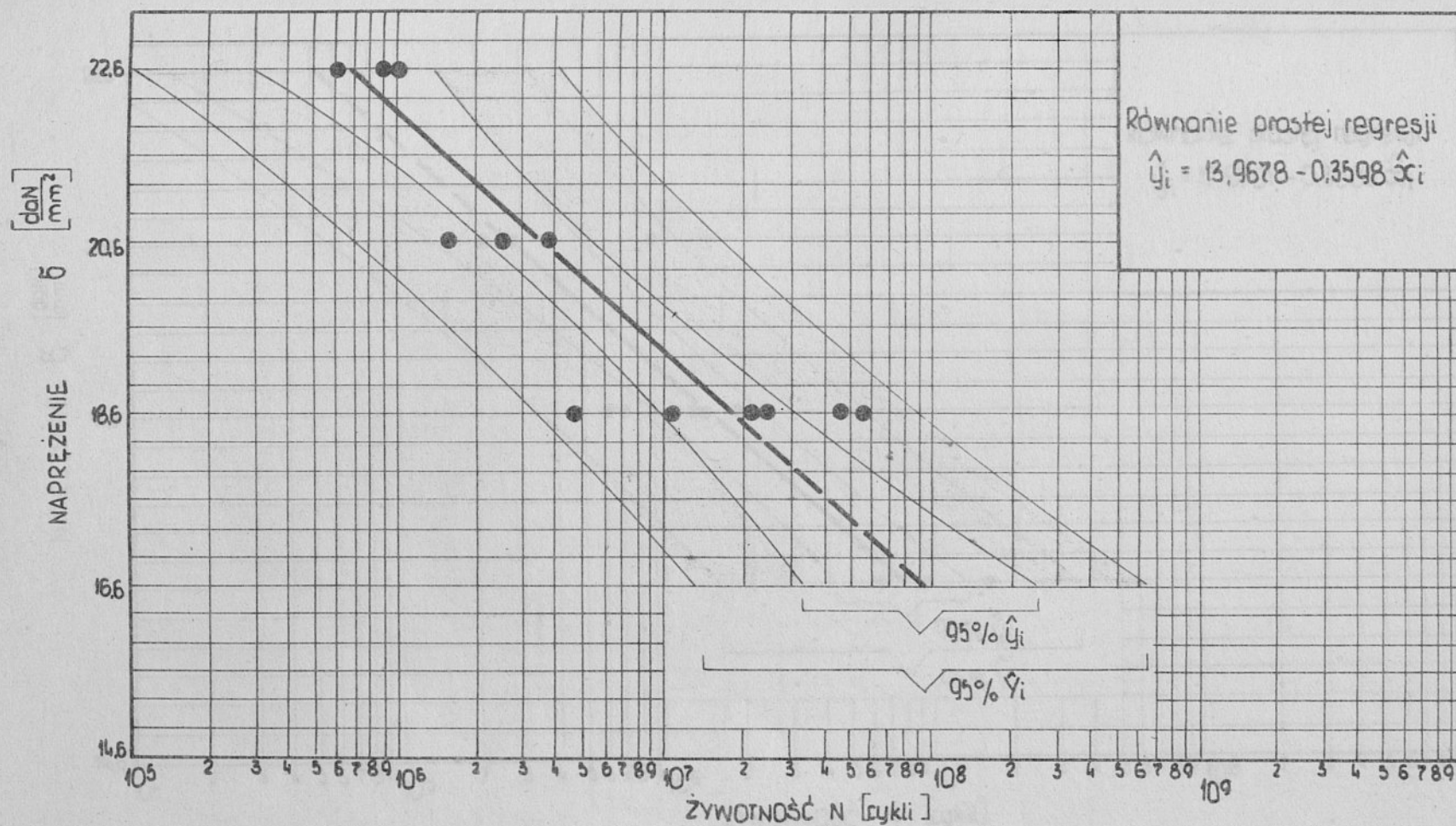
Rys. 34 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla szlifowanych próbek powlekanych Poliamidem M o grubości $g = 0,02$ mm.



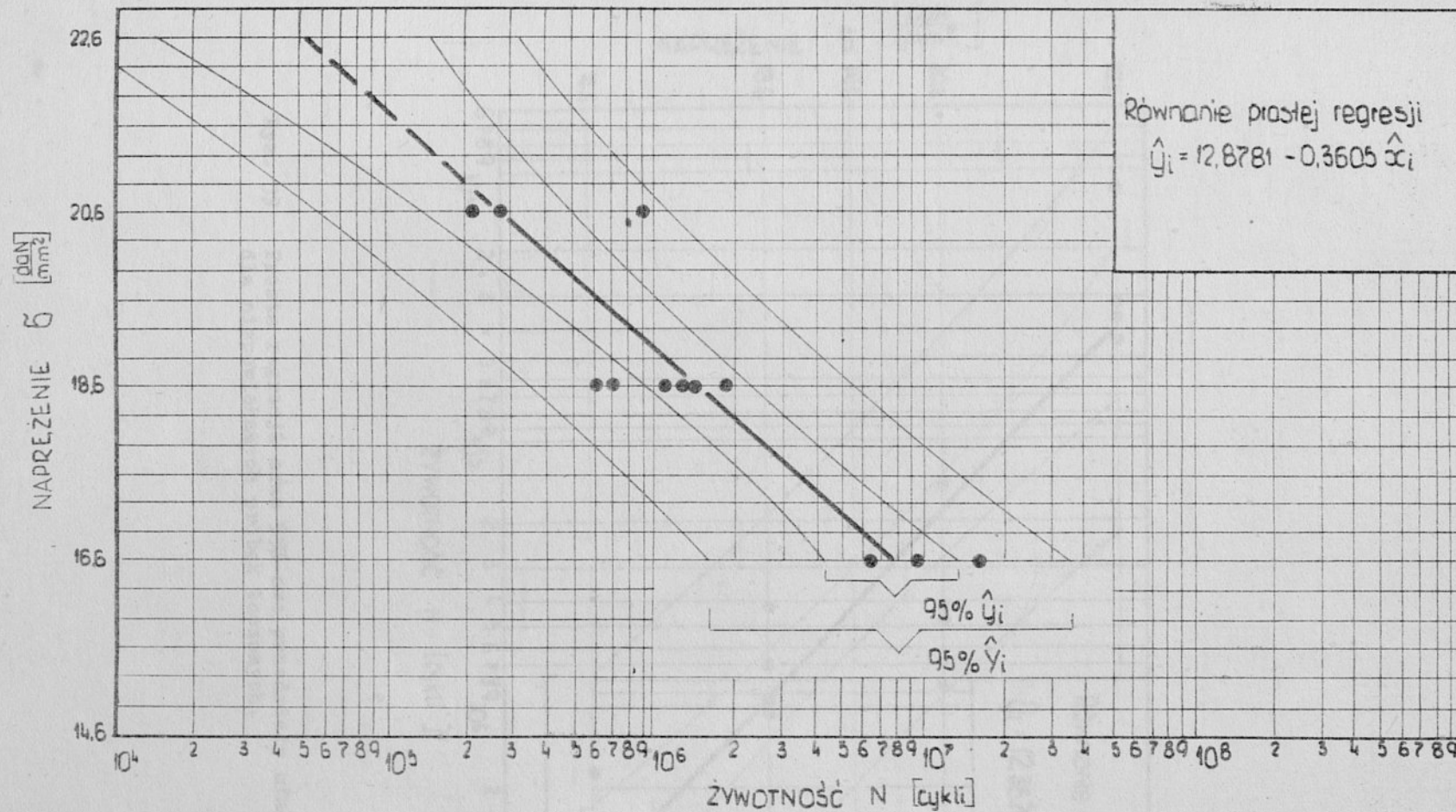
Rys. 35 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla szlifowanych próbek powlekanych Poliamidem M o grubości $g = 0,04$ mm.



Rys. 36 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla szlifowanych próbek powlekanych Poliamidem M o grubości $g = 0,08$ mm.

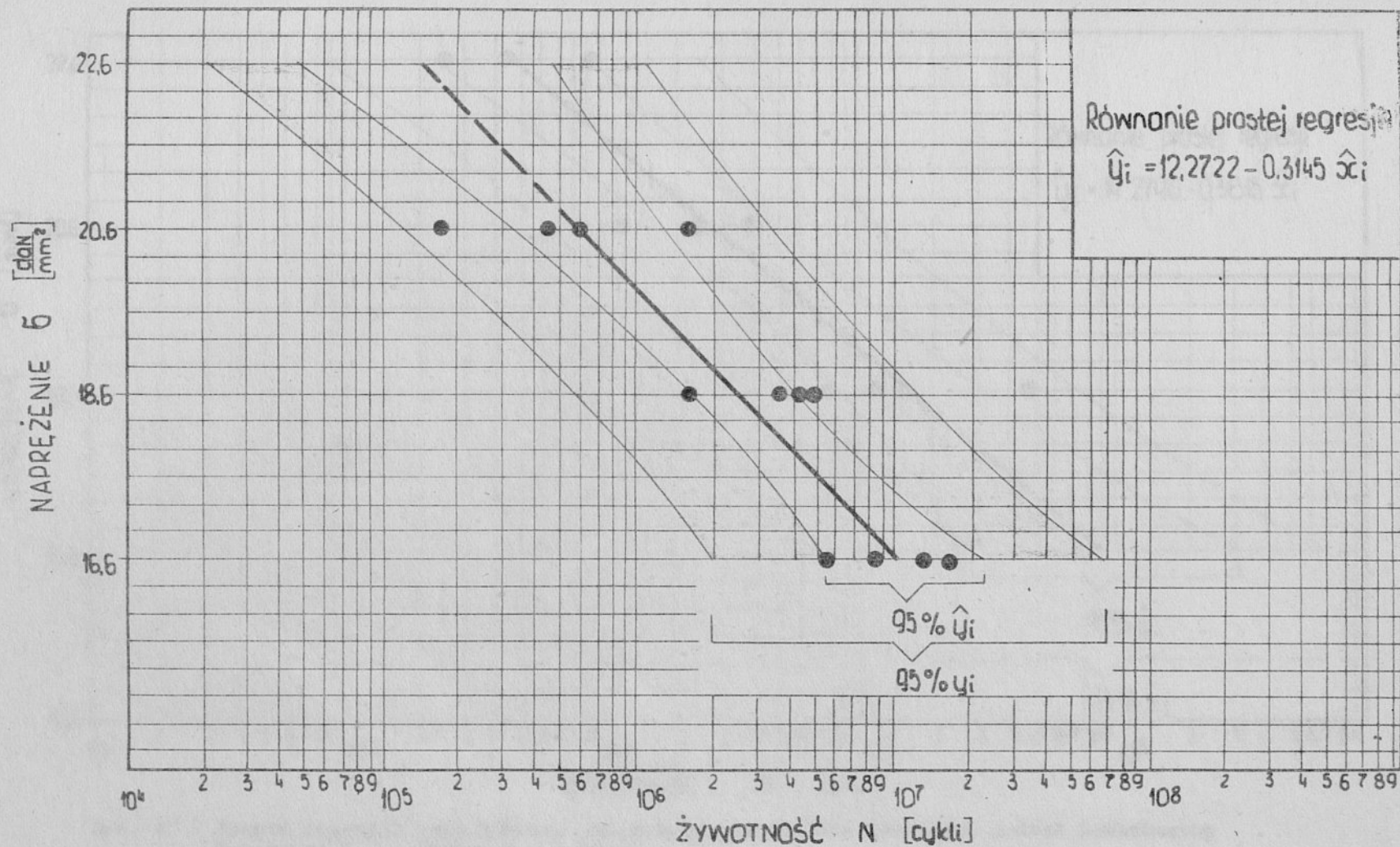


Rys. 37 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla szlifowanych próbek powlekanych Epidianem 1 o grubości $g = 0,08$ mm.

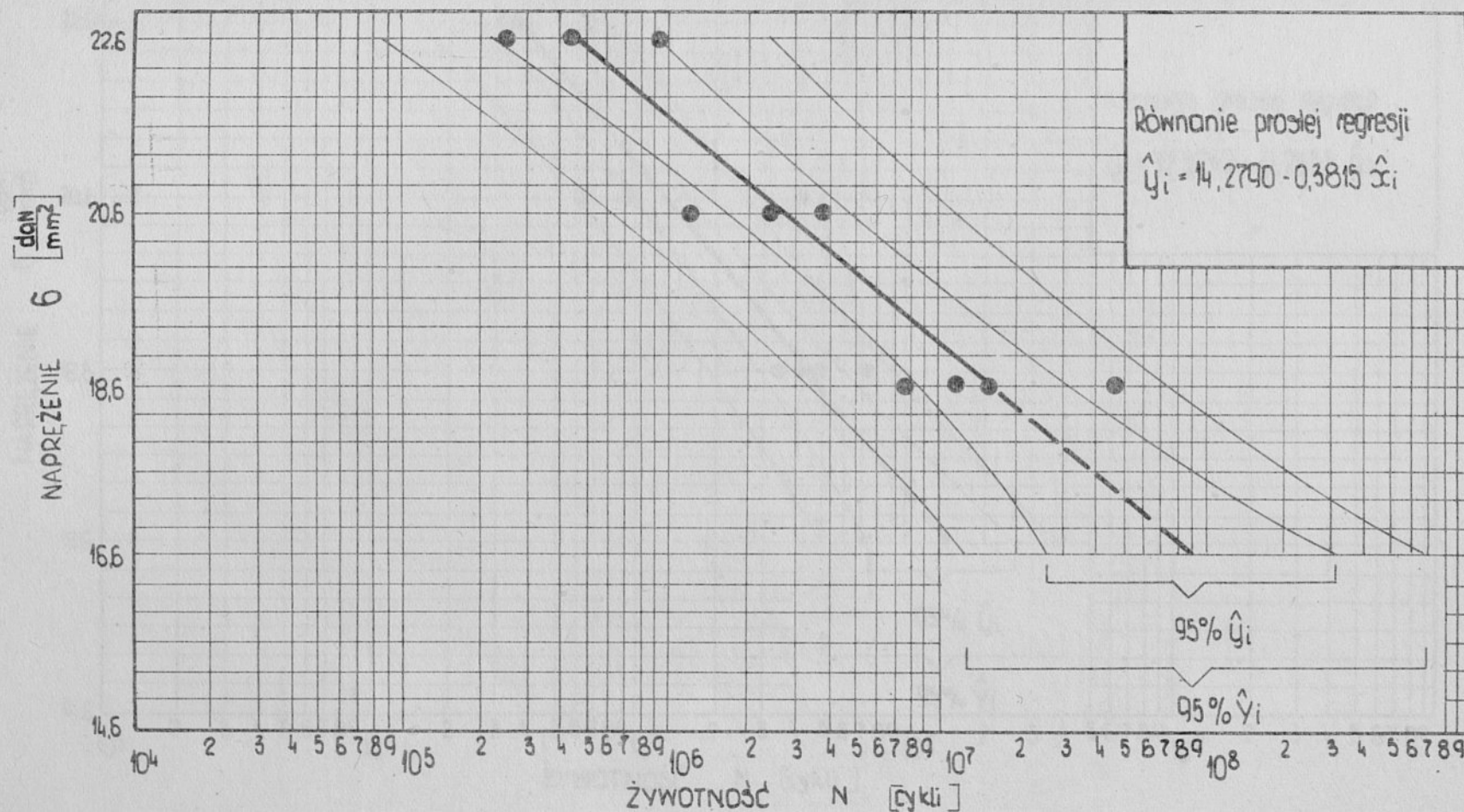


Rys. 38 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla szlifowanych próbek powlekanych Epidianem 1 o grubości $g = 0,18$ mm.

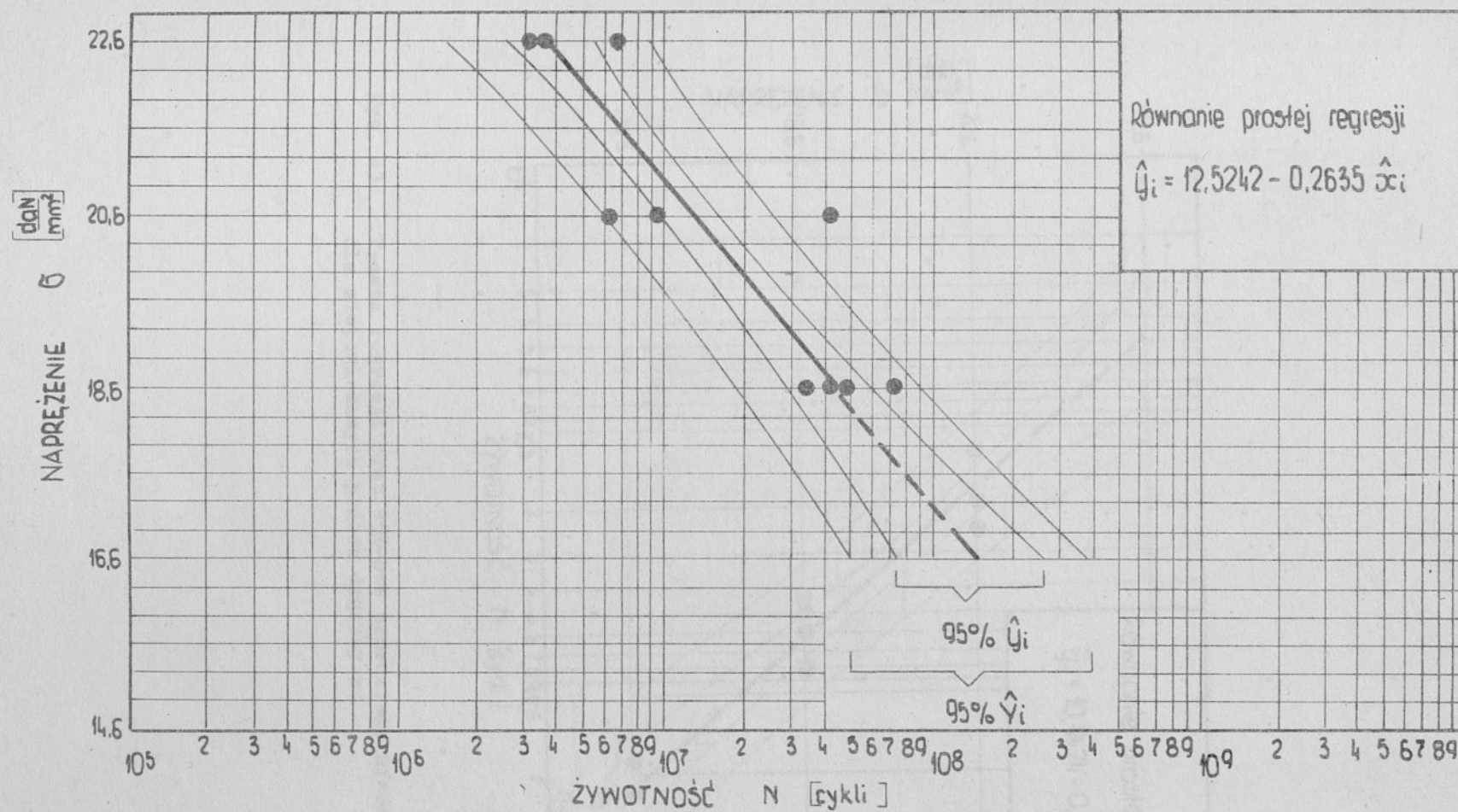
Rys. 39 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla niepowlekanych próbek toczonych.



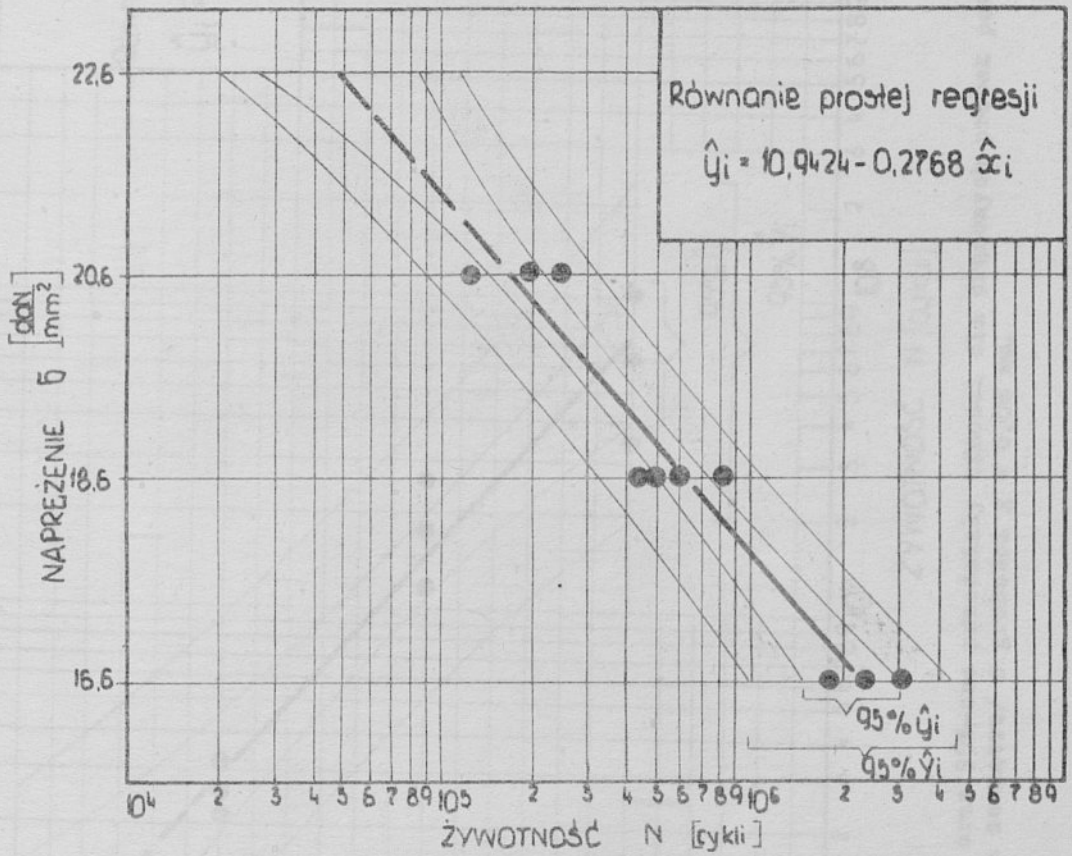
Rys. 40 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla toczonych próbek powlekanych Poliamidem N o grubości $g = 0,08$ mm.



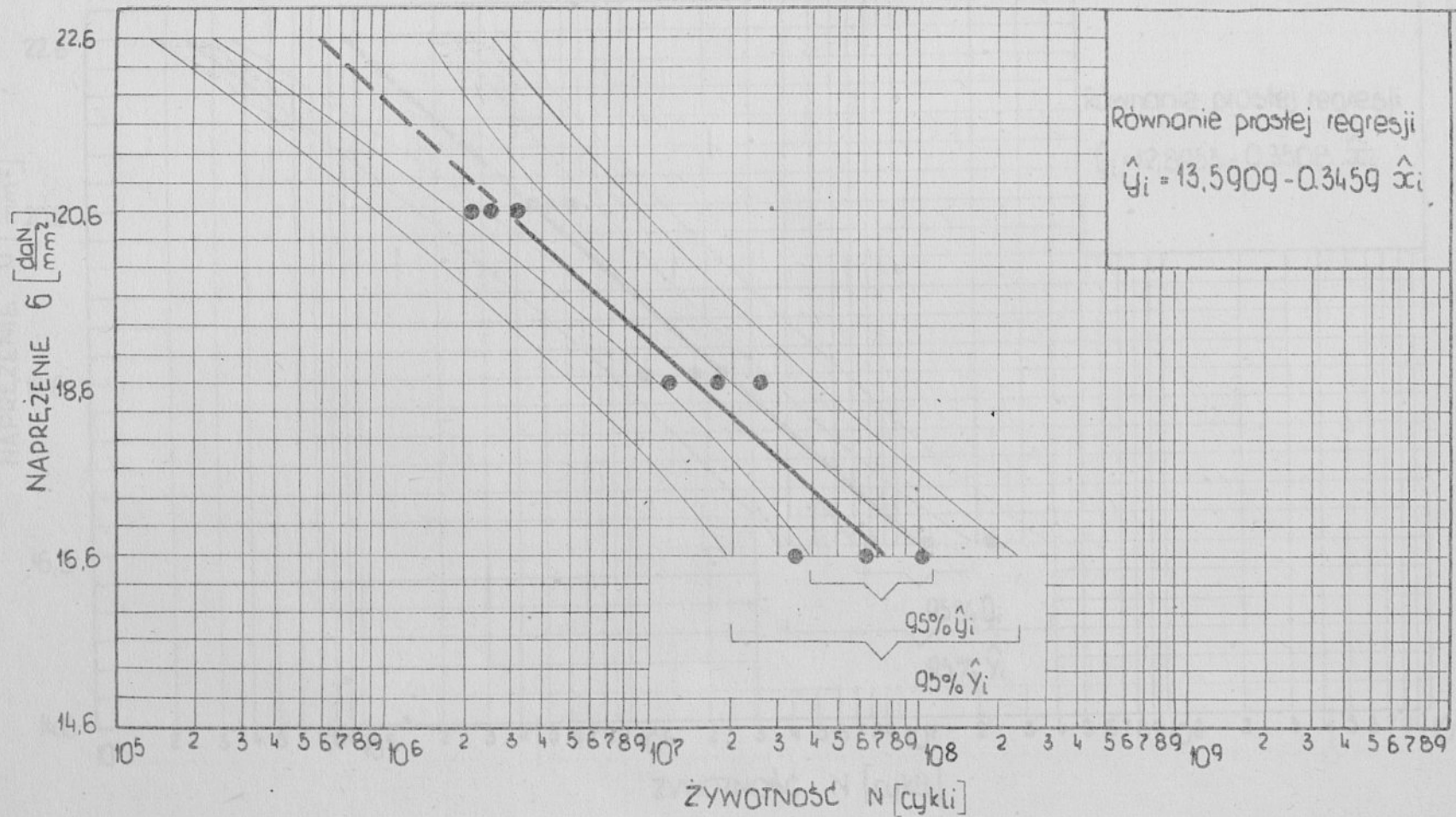
Rys. 41 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla toczonych próbek powlekanych Epidianem 1 o grubości $g = 0,08$ mm.



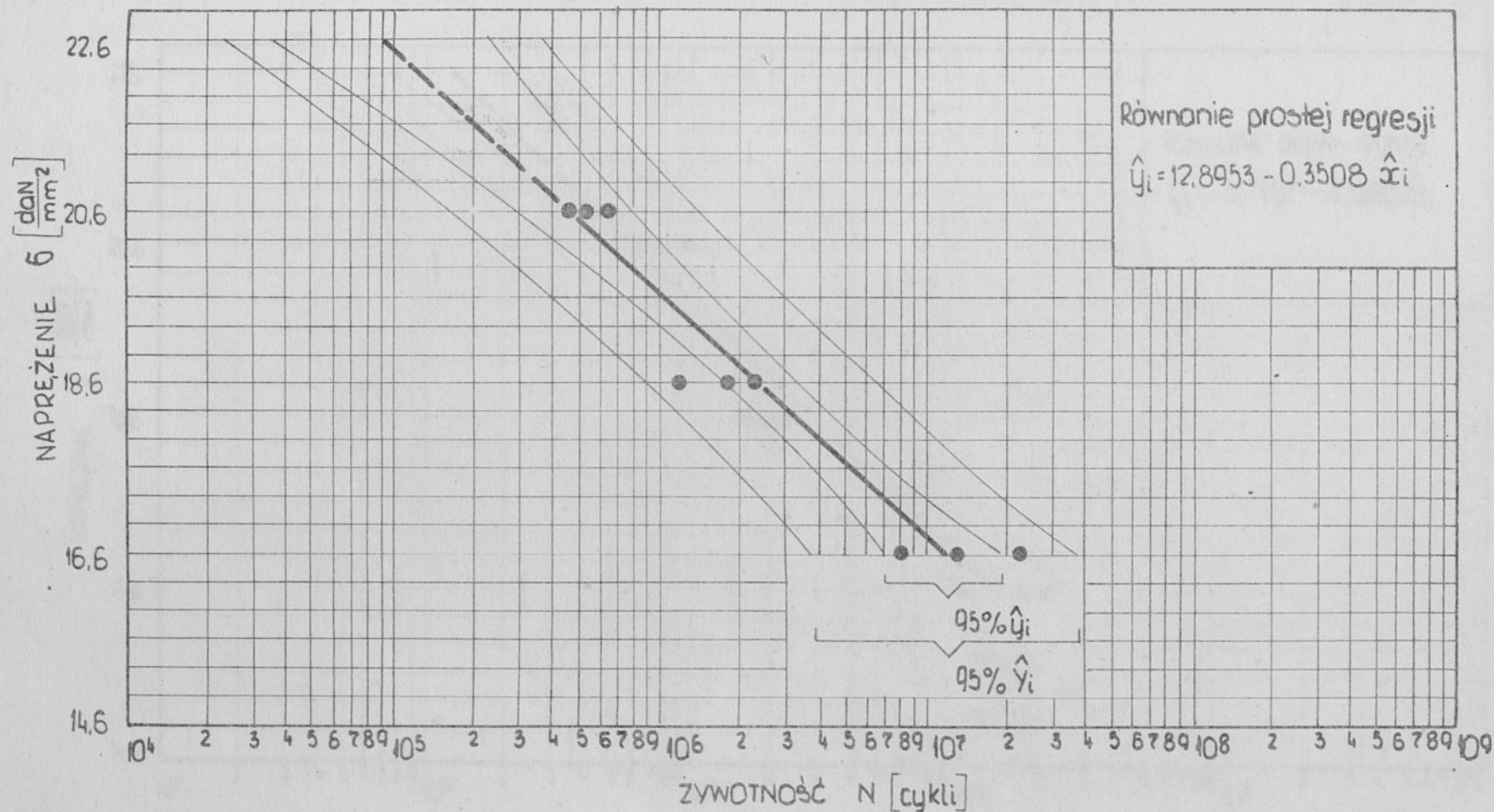
Rys. 42 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla toczonych próbek powlekanych Epidianem I o grubości $g = 0,18$ mm.



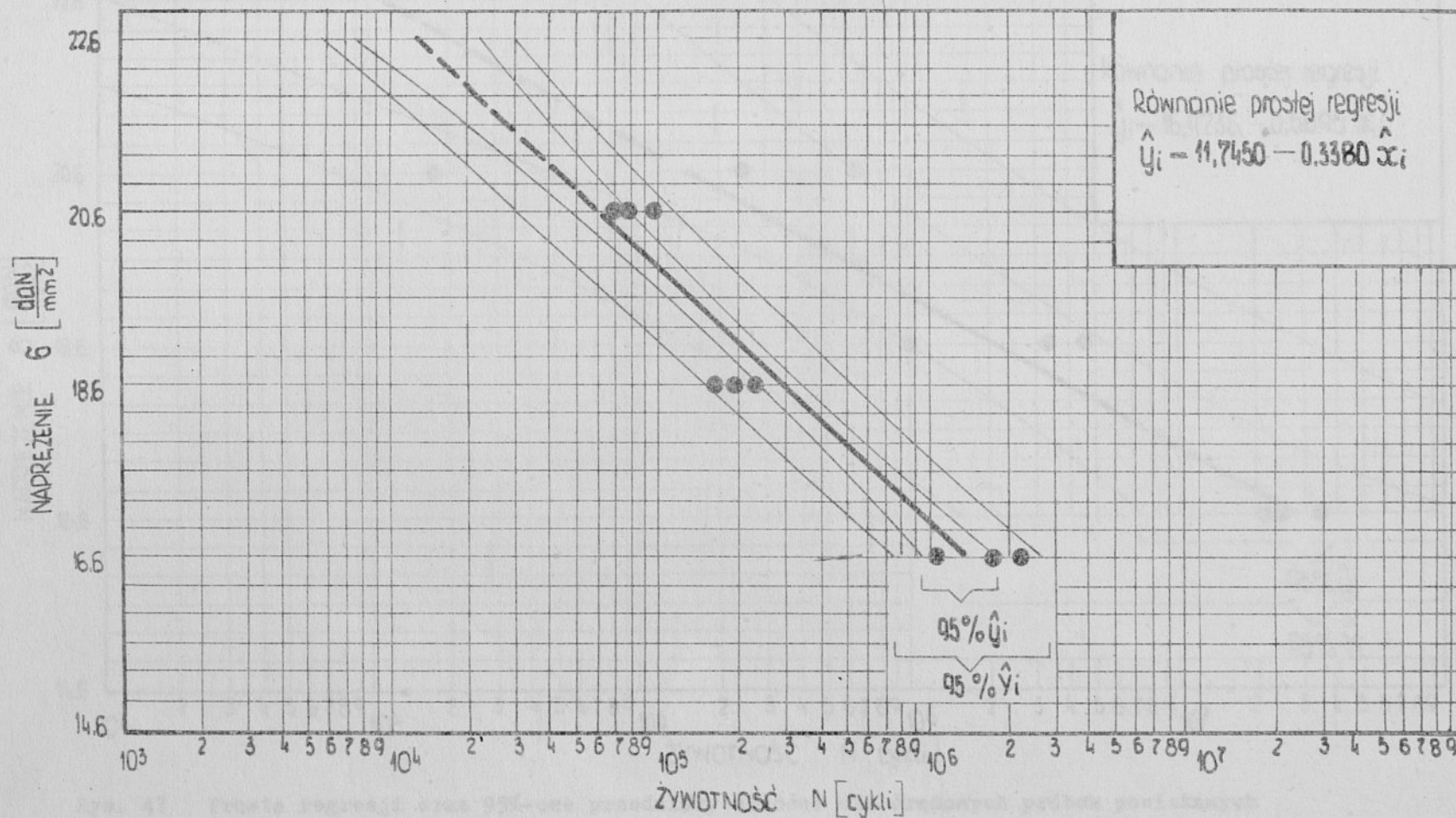
Rys. 43 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla niepowlekanych próbek drażonych.



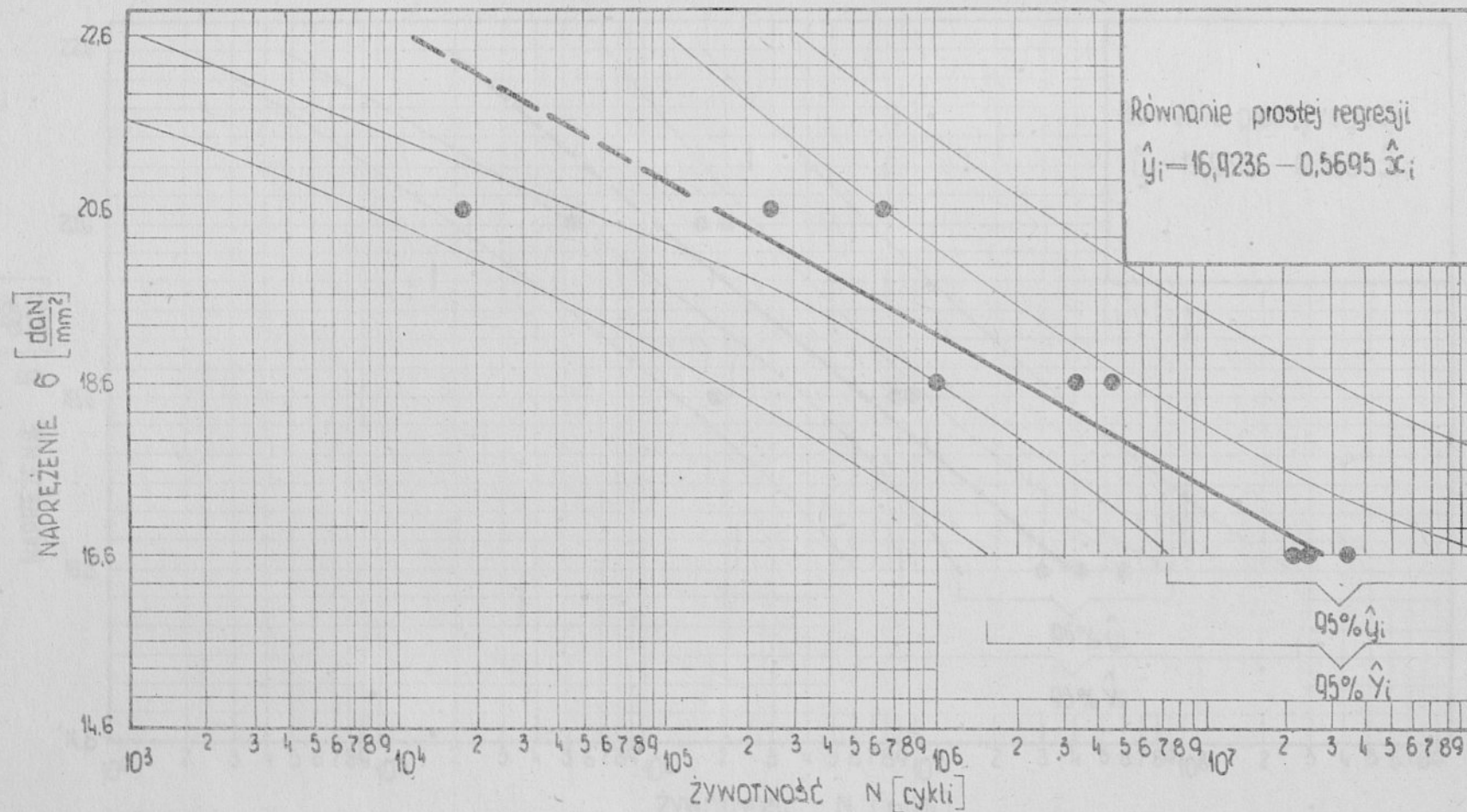
Rys. 44 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla drążonych próbek powlekanych Poliamidem M /na zewnątrz/ o grubości $g = 0,08$ mm.



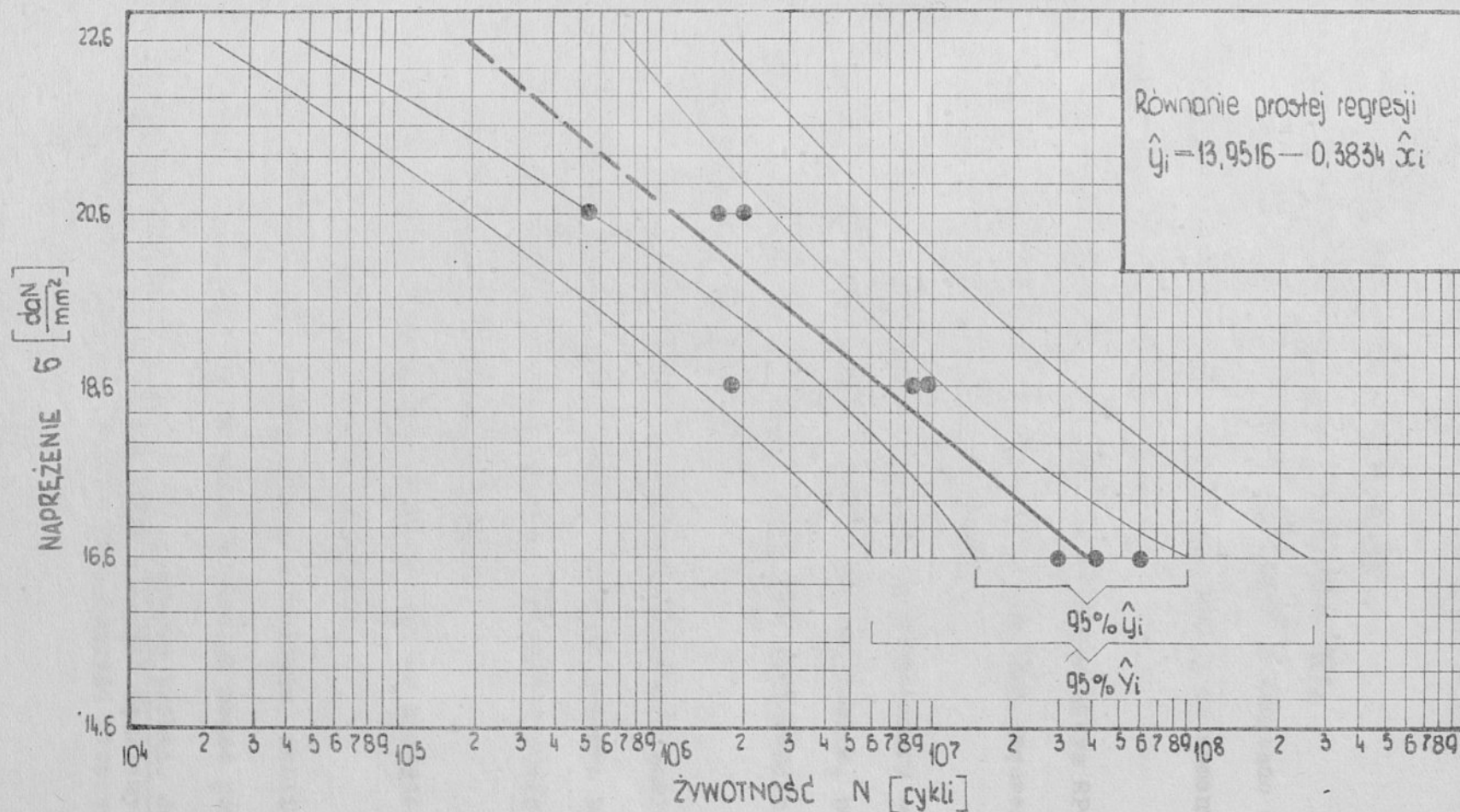
Rys. 45 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla drażonych próbek powlekanych Poliamidem M /na zewnątrz i wewnątrz/ o grubości $g = 0,08$ mm.



Rys. 46 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla drążonych próbek powlekanych Epidianem 1 /na zewnątrz/ o grubości $g = 0,08 \text{ mm}$.



Rys. 47 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla drążonych próbek powlekanych Epidianem 1 /na zewnątrz/ o grubości $g = 0,18$ mm.



Rys. 48 Prosta regresji oraz 95%-owe przedziały ufności dla drążonych próbek powlekanych Epidianem 1 /na zewnątrz i wewnątrz/ o grubości $g = 0,18$ mm.

5. Badania dodatkowe - aparatura, próbki oraz wyniki pomiarów.

5.1. Pomiar temperatury samowzbudnej.

a. Program badań oraz użyta aparatura.

Pomiaru temperatury samowzbudnej^{x)} dokonywano w sposób ciągły, od chwili uruchomienia urządzenia do momentu uzyskania złomu zmęczeniowego.

Pomiary wykonano na pulsatorze rezonansowym RPu-6 (prod. NRD) służącym do badań wytrzymałości zmęczeniowej w przypadku rozciągania - ściskania.

Program badań przewidywał pomiar temperatury samowzbudnej dla szlifowanych próbek niepowlekanych, powlekanych Poliamidem M ($g = 0,08 \text{ mm}$) oraz powlekanych Epidianem 1 ($g = 0,18 \text{ mm}$).

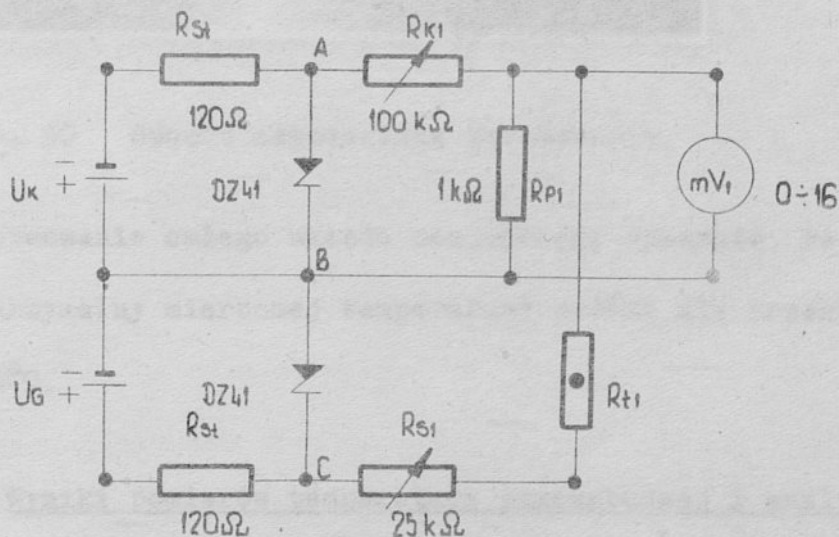
W przypadku próbek powlekanych dokonywano pomiarów temperatury próbki pod powłoką (usunięta powłoka na obszarze $3,2 \text{ mm}^2$) i przez powłokę. Odległość pomiędzy czujnikami nie przekraczała 3 mm.

Badania przeprowadzono dla jednego poziomu naprężenia $\sigma = 18,6 \text{ daN/mm}^2$ przy cyklu wahadłowym.

Pomiaru temperatury dokonywano w najbliższej okolicy złomu zmęczeniowego na próbkach w których część pomiarowa posiadała łagodną zbieżność do środka próbki. Jeżeli x/ Przez temperaturę samowzbudną rozumiemy zmiany temperatury próbki w wyniku zachodzącego procesu zmęczeniowego.

pęknięcie nastąpiło w odległości większej niż 2 mm od miejsca przewidywanego złomu, to wyniki pomiarów temperatury odrzucano.

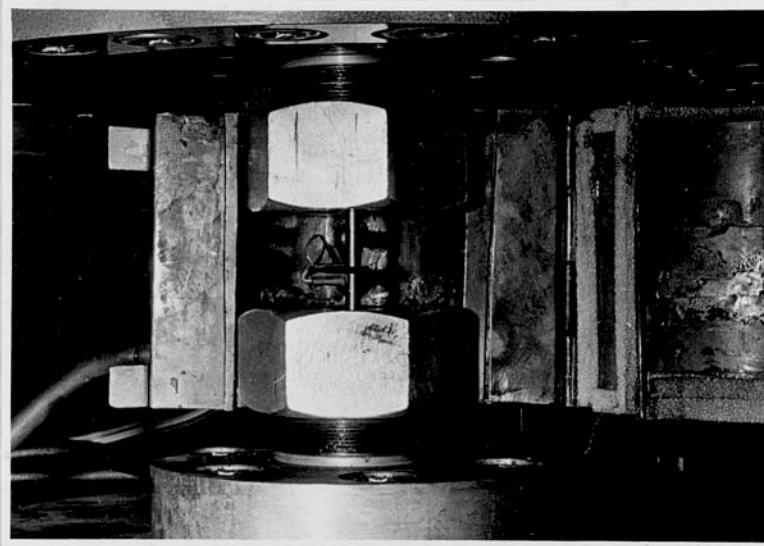
Pomiarów temperatury dokonano dwoma czujnikami termistorowymi (ZE-3) w specjalnie zbudowanym układzie pomiarowym [za 37]. Do rejestracji zmian temperatur użyto sześć kanałowego autokompensatora, który pracował jako miliwoltomierz równolegle podłączony do opornika pomiarowego R_p (rys. 49).



Rys. 49 Układ adaptacyjny do pomiarów temperatur.

W celu zapewnienia stałej temperatury otoczenia wokół próbki zbudowano komorę termoizolacyjną w postaci jednostronnie izolowanego płaszcza wodnego, w którym stałą temperaturę utrzymywano ciągłym przepływem wody podgrzewanej w ultratermostacie. Sposób zamocowania termistorów

oraz schemat komory termoizolacyjnej przedstawiono na rys. 50.



Rys. 50 Sposób zamocowania termistorów.

Wzorcowanie całego układu pomiarowego wykazało, że błąd maksymalny mierzonej temperatury próbki nie przekracza $0,5^{\circ}\text{C}$.

b. Wyniki pomiarów temperatury samowzbudnej i analiza.

Celem przeprowadzonych badań było zaobserwowanie zmian temperatury samowzbudnej w trwającym procesie zmęczenia oraz wpływu tworzywa sztucznego na jej wielkość i rozkład w czasie.

Wyniki badań zmęczeniowych przedstawiono wykreślnie w układzie osi $\Delta t = t_p - t_o$ (t_p - temperatura próbki

niepowlekanej lub powlekanej zmierzonej pod powłoką,
 t_o - temperatura otoczenia) i $\frac{n}{N} \cdot 100 \%$ (żywność
względna).

Przeprowadzone badania obrazują rysunki 51 ÷ 53, natomiast
na rysunku 54 zestawiono wartości średnie przyrostów
temperatur.

Dodatkowo na rysunku 55 przedstawiono zaobserwowany
spadek temperatury Δt_1 na grubości powłoki.

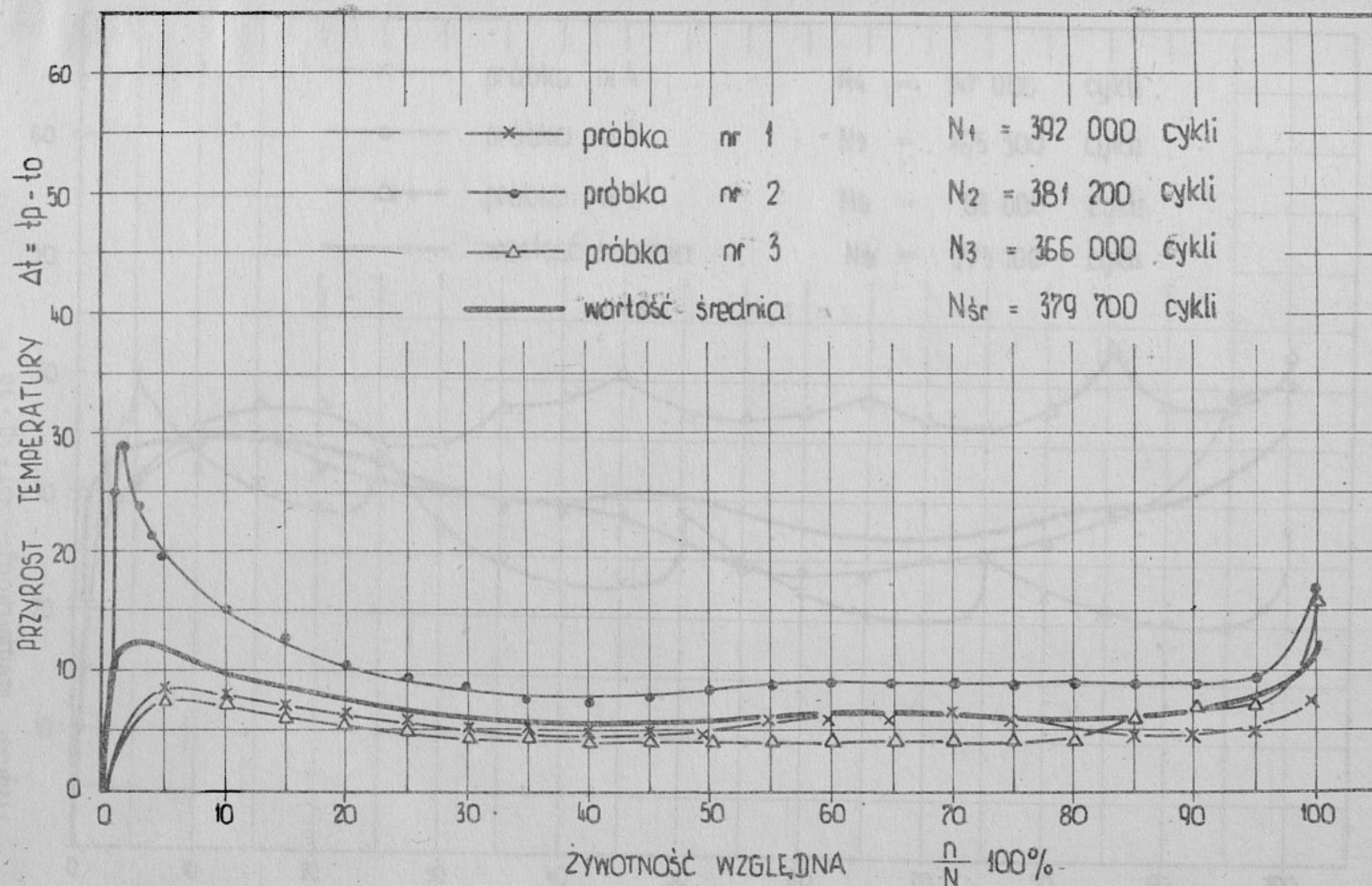
$$\Delta t_1 = t_p - t_{p1}$$

w którym:

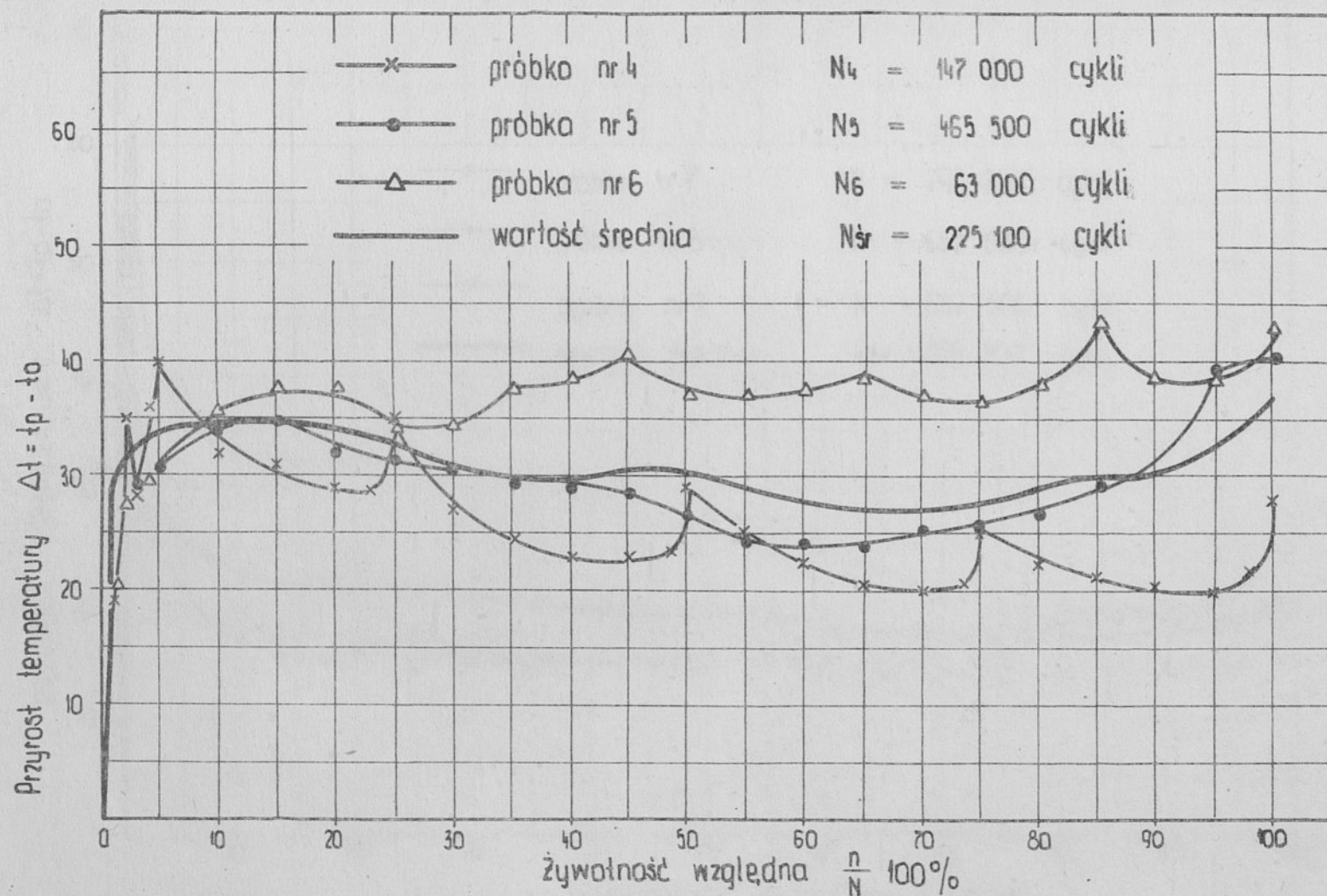
t_p - temperatura próbki pod powłoką

t_{p1} - temperatura próbki na powłoce

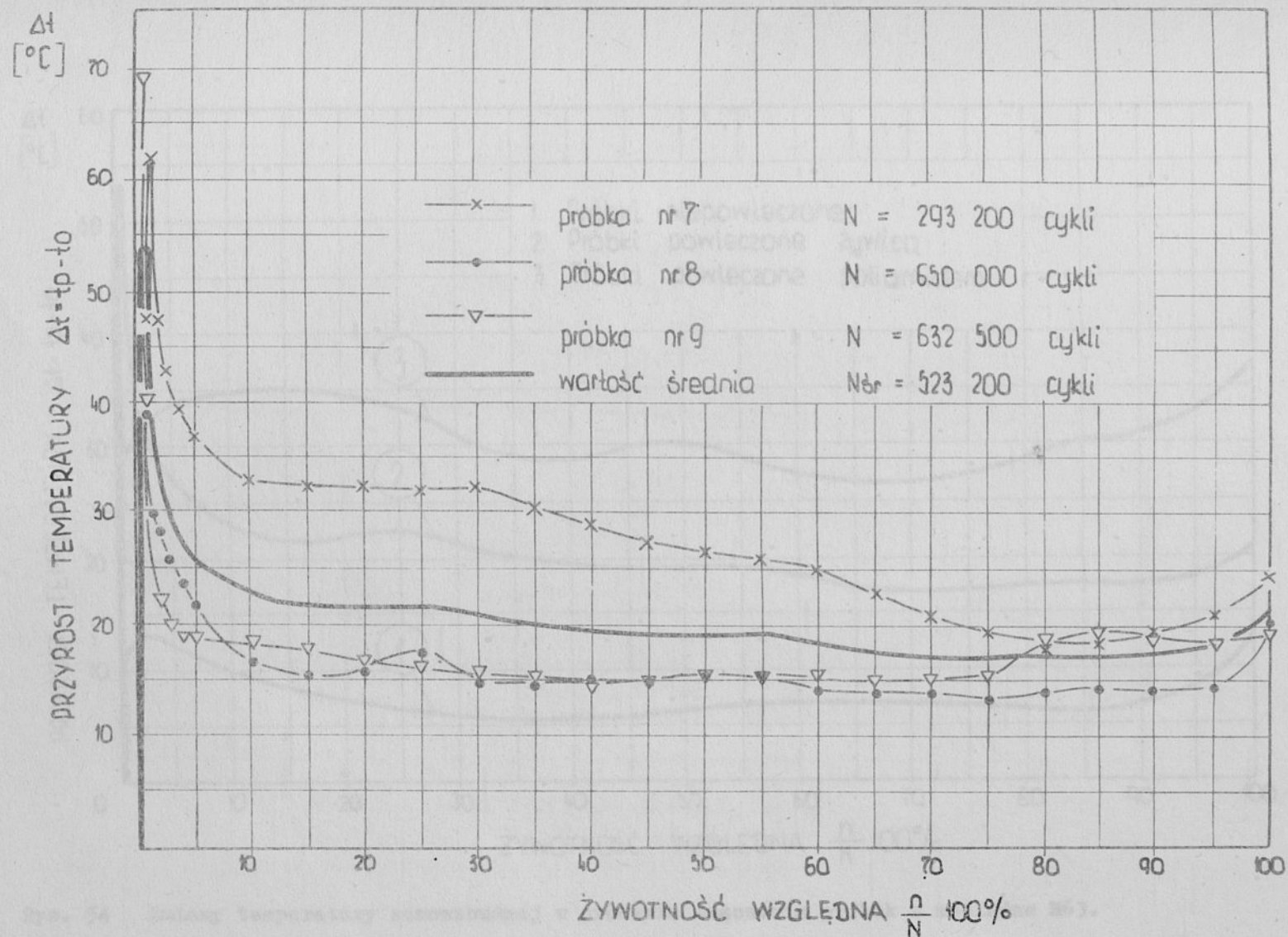
Na podstawie otrzymanych wyników (rys. 54) proces
zmęczenia można podzielić na trzy zasadnicze okresy.
W okresie pierwszym trwającym 1 ÷ 5 % żywotności próbki
obserwuje się gwałtowny wzrost temperatury. W okresie
drugim trwającym od 5 % do 90 % żywotności następuje
spadek temperatury. Okres trzeci rozpoczynający się po
uzyskaniu przez próbkę około 90 % żywotności charaktery-
zuje się ponownym wzrostem temperatury trwającym aż do
złomu.



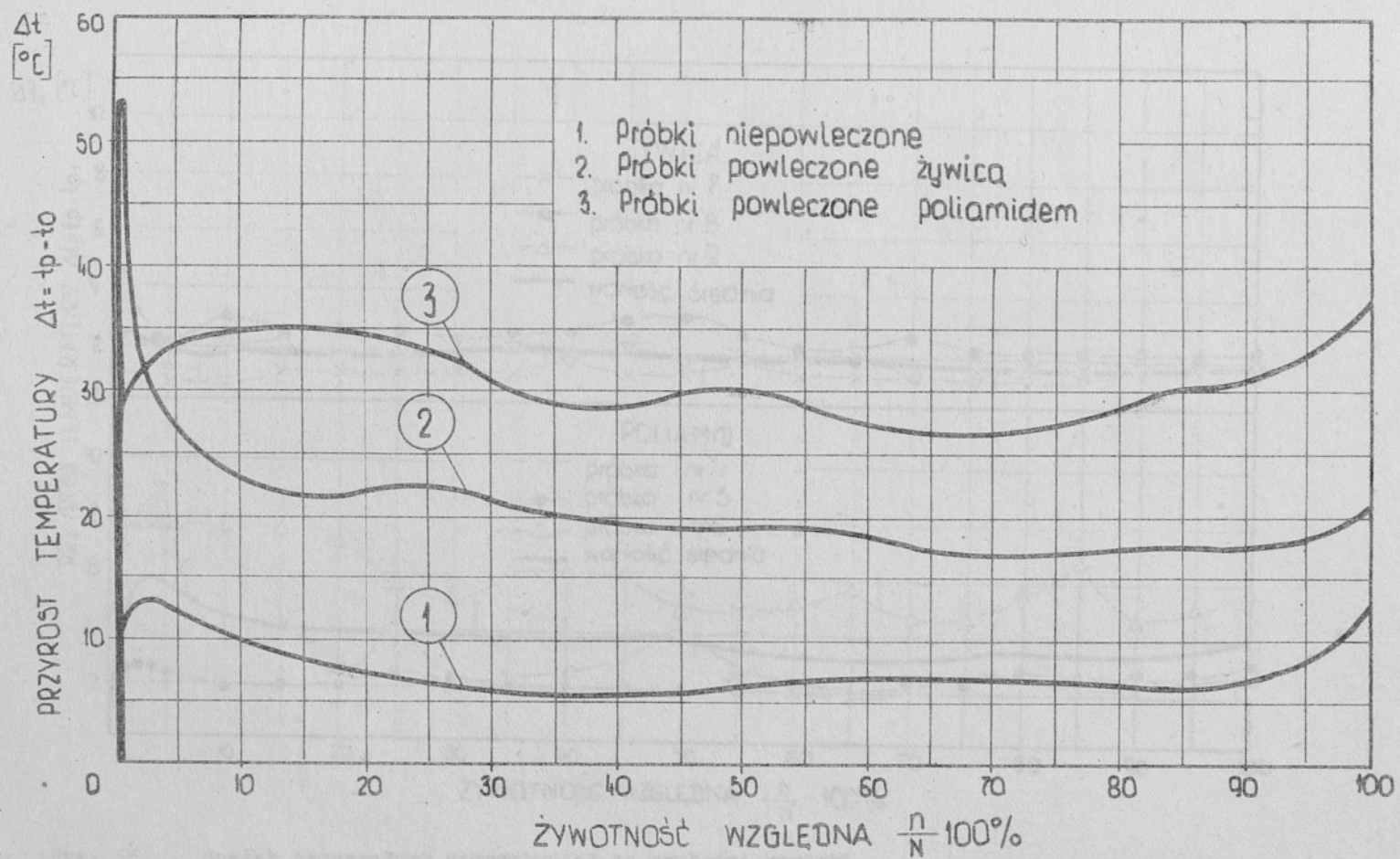
Rys. 51 Zmiany temperatury samowzbudnej w procesie zmęczenia niepowlekanych próbek szlifowanych.



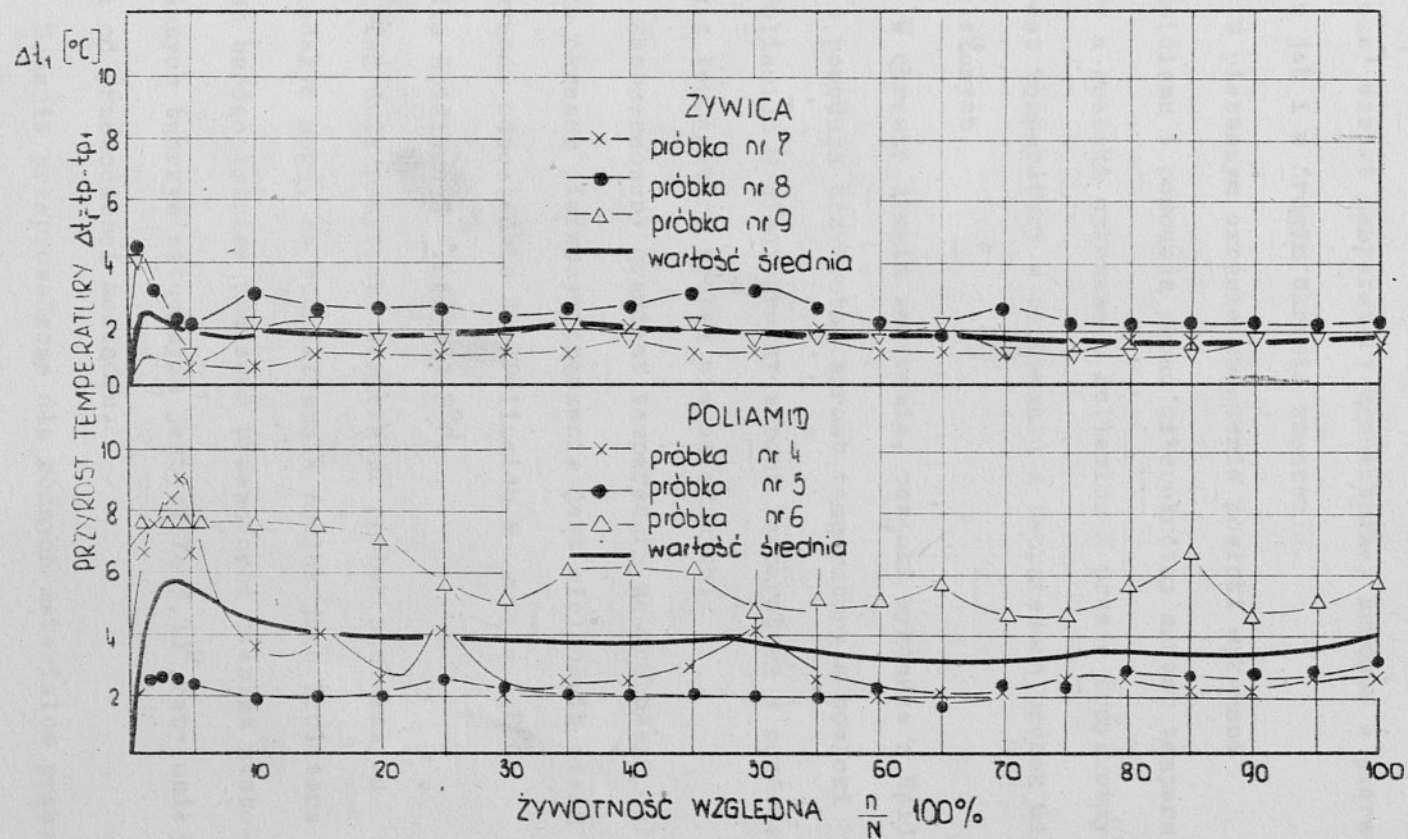
Rys. 52 Zmiany temperatury samowzbudnej w procesie śmęczenia próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.



rys. 53 Zmiany temperatury samowzbudnej w procesie zmęczenia próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1.



Rys. 54 Zmiany temperatury samowzbudnej w procesie zmęczenia próbek z mosiądzu M63.



Rys. 55 Spadek temperatury samowzbudnej na grubości powłoki.

Zastosowane powłoki mimo swojej bardzo nieznacznej grubości ($g = 0,08 \text{ mm}$ i $g = 0,18 \text{ mm}$) spowodowały bardzo znaczny wzrost temperatury samowzbudnej zarówno w pierwszym jak i w drugim okresie zmęczenia.

W pierwszym okresie zmęczenia powłoki wykonane z Epidianu 1 powodują ponad czterokrotny wzrost temperatury a powłoki wykonane z Poliamidu M prawie trzykrotny wzrost temperatury w porównaniu z temperaturą próbek niepowlekanych.

W okresie drugim zmęczenia, powłoki wykonane z Epidianu 1 powodują trzykrotny wzrost temperatury a powłoki z Poliamidu M pięciokrotny wzrost temperatury w porównaniu z temperaturą próbek niepowlekanych.

Zaobserwowany gradient temperatury na grubości powłoki poza okresem pierwszym zmęczenia jest wielkością stałą i wynosi odpowiednio dla Poliamidu M $\Delta t_1 = 3,8^\circ\text{C}$ a dla Epidianu 1 $\Delta t_1 = 1,8^\circ\text{C}$.

Tak duże przyrosty temperatur próbek powlekanych świadczyć mogą, że oddziaływanie powłok jako izolatora jest bardzo istotne ponieważ przewodność cieplna zastosowanych tworzyw sztucznych jest około $3 \cdot 10^2$ razy mniejsza od przewodności miedzi.

Badania przeprowadzone dla różnych materiałów przez

E. Lehra, P. Ludwika, R. Gazda, S. Kecańde dla próbek niepowlekanych [3, 21] wykazały podobny charakter zmian temperatury w funkcji ilości cykli i wielkości naprężenia, do zmian temperatury otrzymanych w przypadku próbek niepowlekanych i powlekanych tworzywami sztucznymi. Webeczego narzuca się pytanie: czy obserwowany wzrost temperatury samowzbudnej wywołany izolacyjnym oddziaływaniem powłoki może w jakikolwiek sposób sterować procesem zmęczenia i czy wzrost temperatury samowzbudnej w pewnych granicach może być czynnikiem korzystnym czy niekorzystnym?

Wiemy, że:

- temperatura zmierzona na zewnątrz próbki będzie mniejsza niż wewnątrz ze względu na odprowadzenie ciepła przez konwekcję i promieniowanie,
- rozkład temperatur w przekroju poprzecznym próbki powinien być równomierny w przypadku rozciągania a nierównomierny w przypadku zginania (temperatura proporcjonalna do naprężenia σ),
- próbki obciążano znacznie powyżej $R_{0,2}$ a więc obserwowane wzrosty temperatur powinny być znaczne,
- rozkład temperatur w sensie "mikro" będzie bardzo nierównomierny ze względu na różne własności faz α i β

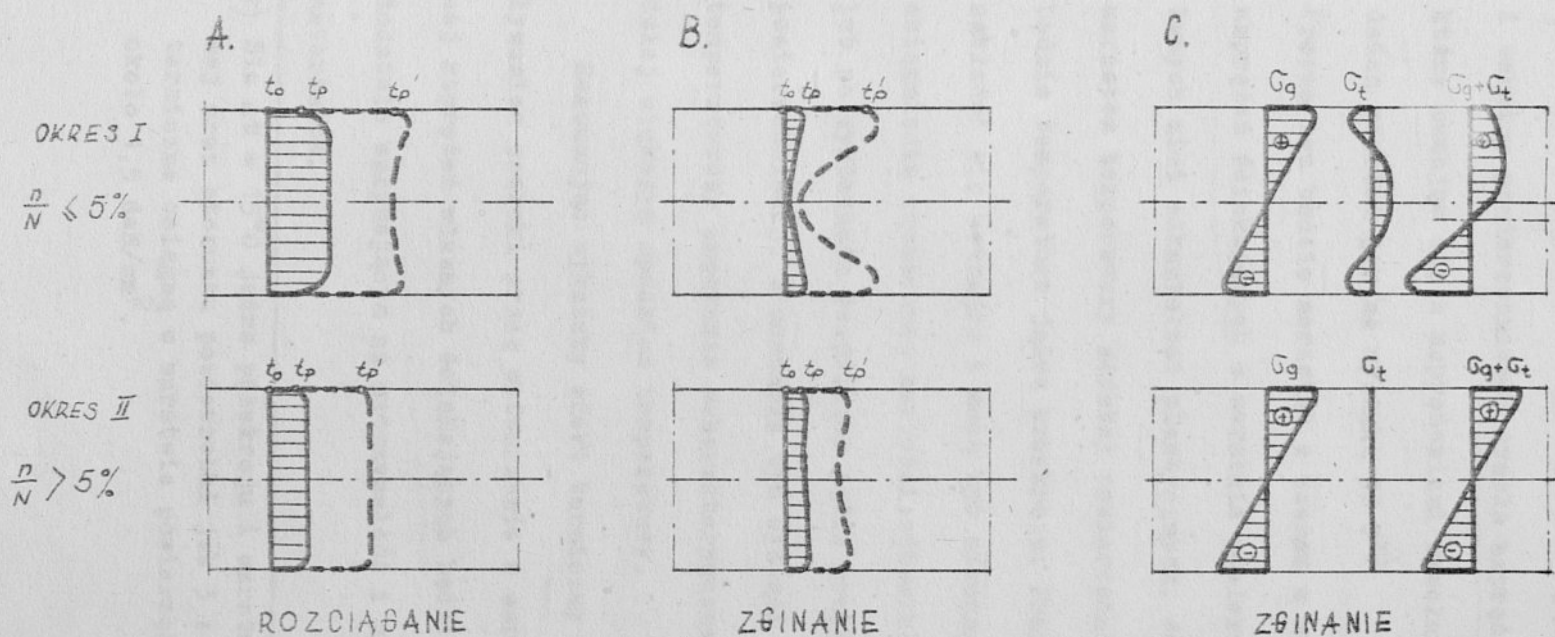
oraz różną orientację odkształcanych ziarn w stosunku do działających naprężeń,

- ilość wypromieniowanego ciepła z powierzchni zewnętrznej zależna jest od mikro chropowatości tej powierzchni,

- badania zmęczeniowe przeprowadzone w podwyższonych temperaturach wykazują zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej materiałów. W badaniach tego rodzaju temperatura otoczenia jest na ogół znacznie wyższa od temperatury samowzbudnej,

- badania zmęczeniowe dla próbek z naniesionymi sztucznymi powłokami niemetalicznymi podnoszą żywotność materiałów. Powłoka z tworzywa sztucznego wyraźnie "degrzuwa" warstwę podpowierzchniową próbki.

Jeżeli założymy, że w wyniku oddziaływania powłoki już po kilkudziesięciu cyklach następuje szybki i wystarczająco duży wzrost temperatury w warstwie powierzchniowej próbki w pierwszym okresie zmęczenia, to mikro rozkłady temperatur w warstwie tej ulegną wyrównaniu. Jednakże w całym przekroju wystąpi silne zróżnicowanie temperatur a szczególnie w przypadku zginania. Na rys. 56 A, B pokazano przypuszczalny rozkład temperatur w przypadku istnienia powłoki (linia przerywana) lub jej braku



Rys. 56 Rozkład temperatury samowzbudnej i naprężeń w przekroju poprzecznym próbki w procesie zmęczenia
 A - rozkład temperatury samowzbudnej w przypadku rozciągania,
 B - rozkład temperatury samowzbudnej w przypadku zginania,
 C - rozkład naprężeń zewnętrznych i termicznych w przypadku zginania.

(linia ciągła) . Różnica temperatur jądra przekroju i warstwy powierzchniowej wywoła naprężenia termiczne, które sumując się z naprężeniami wywołanymi obciążeniem dadzą rozkład jak na rysunku 56 0^x)

Proces ten będzie narastał z czasem w wyniku wzrostu naprężeń ściskających w warstwie powierzchniowej i wywołanych nimi odkształceń plastycznych. Jednocześnie ze wzrostem temperatury warstwy powierzchniowej wzrastać też będzie temperatura jądra przekroju. Procesy te będą nakładać się nawzajem i mogą być zakończone bądź to po osiągnięciu granicznej wartości odkształceń plastycznych lub po wyrównaniu temperatur jądra przekroju i warstwy powierzchniowej. W momencie tym wystąpi drugi okres temperaturowy zmęczenia scharakteryzowany mniej lub bardziej większym spadkiem temperatury.

Reasumując wykazany efekt termiczny wywołany oddziaływaniem powłoki przez wytworzenie w warstwie zewnętrznej naprężeń własnych ściskających będzie czynnikiem dodatnio wpływającym na wytrzymałość i żywotność badanych materiałów.

x) Dla $\Delta t = 15^{\circ}\text{C}$ jądra przekroju i warstwy powierzchniowej oraz stosunku powierzchni jak 3 : 1, naprężenia termiczne osiągną w warstwie powierzchniowej wartość około $1,5 \text{ daN/mm}^2$.

5.2. Pomiar dynamicznej strzałki ugięcia.

a. Program badań oraz użyta aparatura.

Program badań przewidywał pomiar zmiany dynamicznej strzałki ugięcia przy obrotowym zginaniu w trwającym procesie zmęczenia.

Pomiary przeprowadzono na szlifowanych próbkach niepowlekanych, powlekanych Poliamidem M oraz powlekanych Epidianem 1, na poziomie naprężenia $\bar{\sigma} = 18,6 \text{ daN/mm}^2$.

W przypadku próbek powlekanych przeprowadzone oznaczenia dynamicznej strzałki ugięcia dla wszystkich grubości powłok stosowanych w zasadniczych badaniach zmęczeniowych.

Próbki obciążano czystym momentem gnącym realizowanym na maszynie zmęczeniowej MUI-6000 do prób na obrotowe zginanie.

Rejestracji strzałki ugięcia dokonano w sposób ciągły od chwili uruchomienia urządzeń aż do chwili uzyskania złomu próbki. Do rejestracji użyto specjalnie w tym celu zmodyfikowanego wibrografu "Gajgera" (rys. 57) przez dobudowanie układu zmniejszającego prędkość posuwu taśmy do 60 mm/godz. Ugięcie próbki zbierano z końca dźwigni obciążającej w maszynie MUI-6000, uzyskując 450-krotne powiększenie całkowite rejestrowanego ugięcia.



Rys. 57 Aparatura użyta do pomiarów zmian ugięć w procesie zmęczenia.

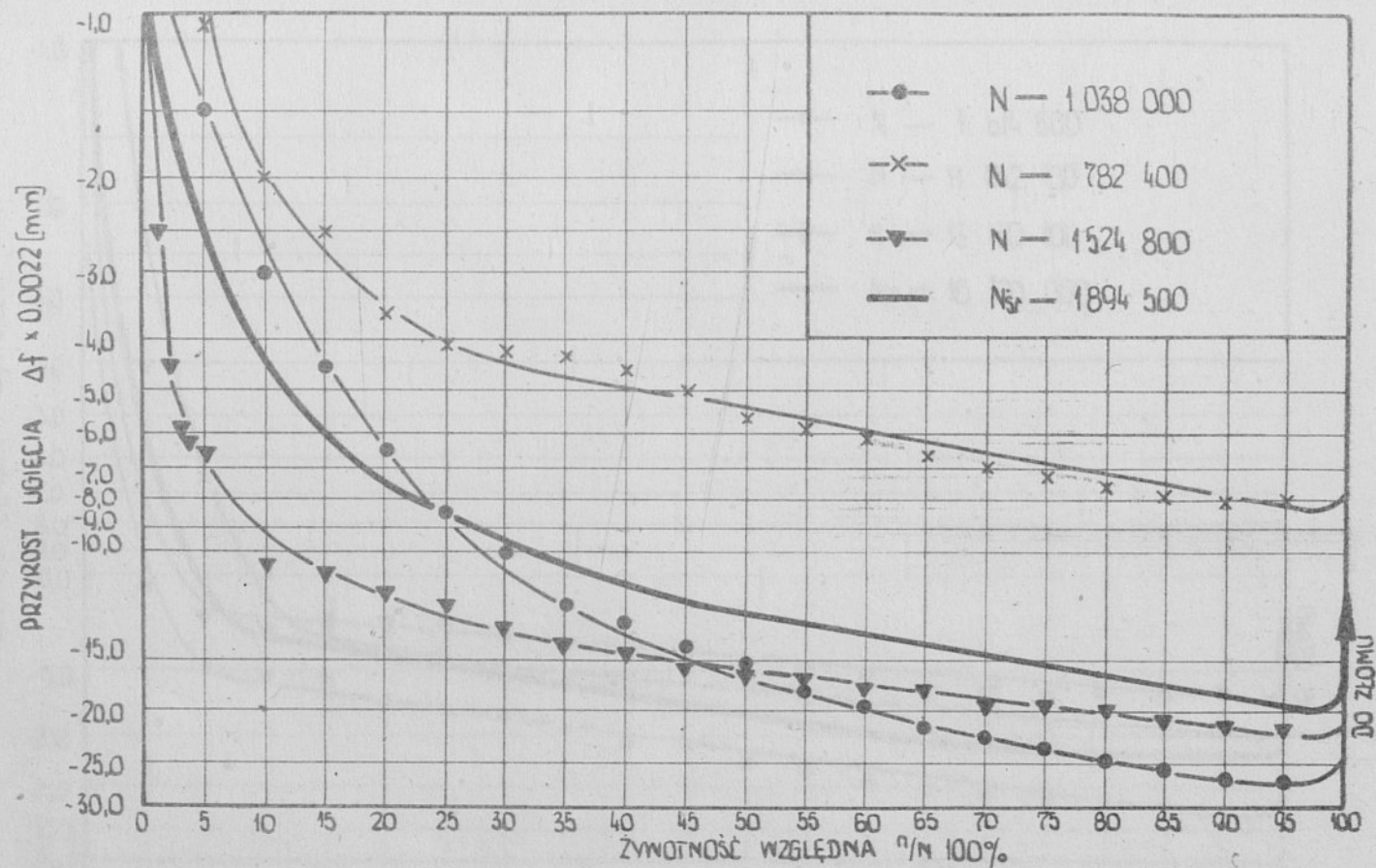
b. Wyniki pomiarów dynamicznej strzałki ugięcia
i analiza.

Celem przeprowadzonych badań było zaobserwowanie zmian dynamicznej strzałki ugięcia w trwającym procesie zmęczenia, wpływu rodzaju zastosowanej powłoki z tworzywa sztucznego i jej grubości.

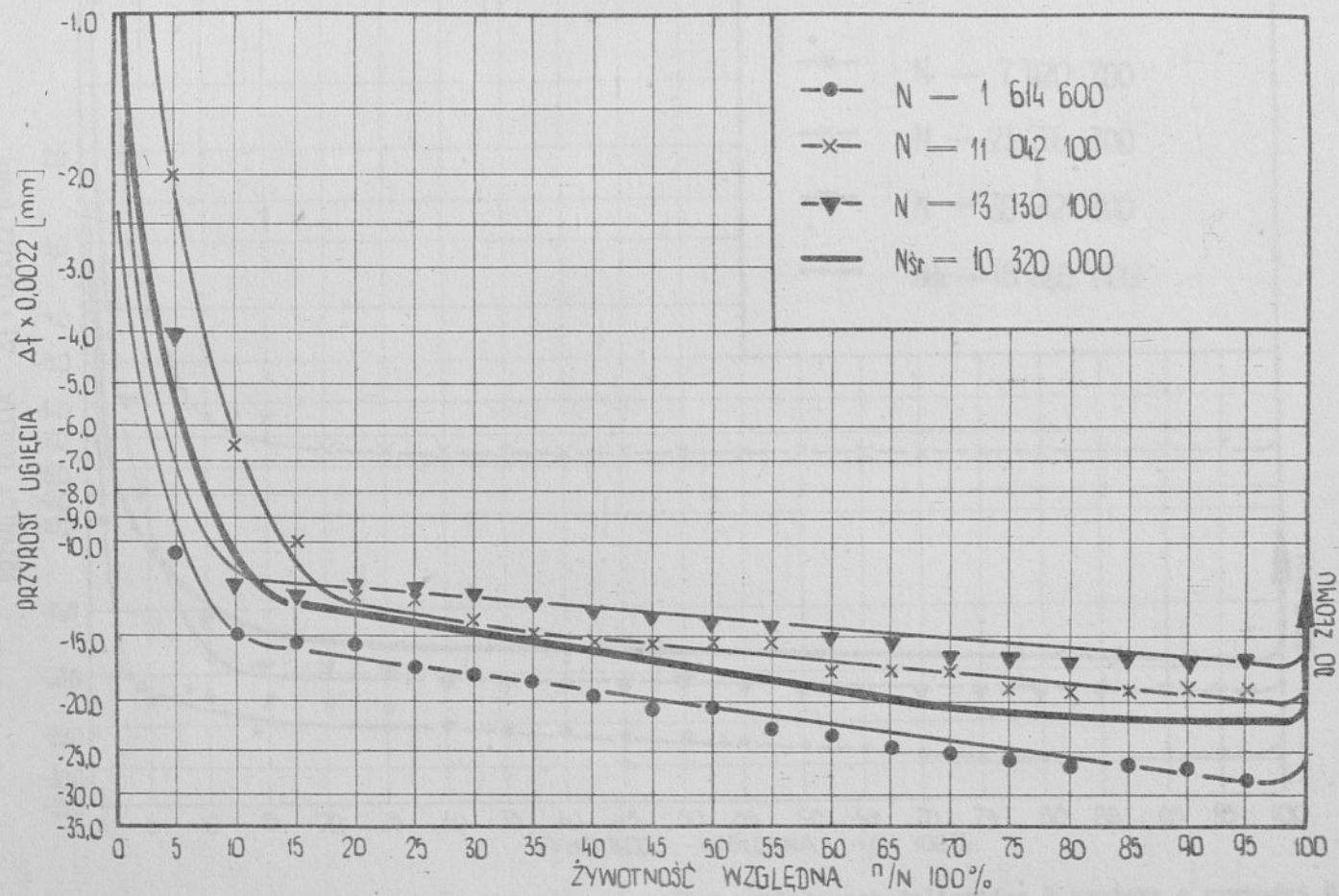
Wyniki pomiarów przedstawiono wykreślnie w układzie osi $\lg(\Delta f_1)$ (przyrost ugięcia $\Delta f_1 = f_1 - f_0$) oraz $\frac{M}{N} \cdot 100\%$ (żywność względna).

Ze względu na to, że mierzone ugięcia f_1 (ugięcie po uzyskaniu określonego procentu żywotności) były mniejsze od f_0 (początkowe dynamiczne ugięcie), wyniki badań przedstawiono w czwartej ćwiartce układu odniesienia.

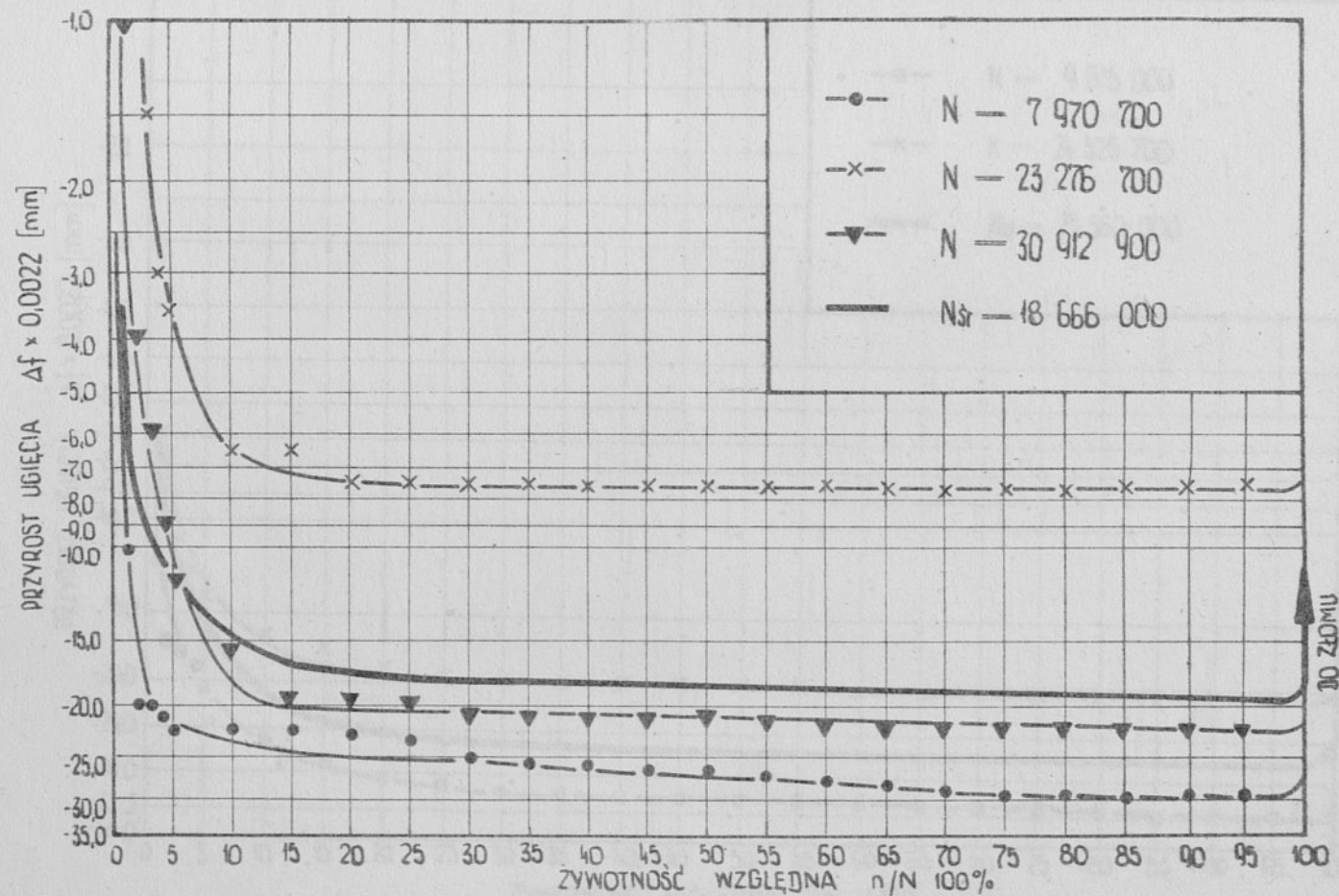
Otrzymane wyniki dla próbek niepowlekanych przedstawiono na rysunku 58 natomiast na rysunkach 59 ÷ 61 przedstawiono wyniki dla próbek powlekanych Poliamidem M ($g = 0,02; 0,04; 0,08$ mm) a na rysunkach 62 ÷ 63 wyniki dla próbek powlekanych Epidianem 1 ($g = 0,08; 0,18$ mm). Przeprowadzone pomiary wykazały, że ugięcie zmniejsza się aż do uzyskania przez próbkę 95 % żywotności, a po jej przekroczeniu gwałtowny wzrost ugięcia aż do złomu. Podobny charakter krzywych opisujących ugięcie w proce-



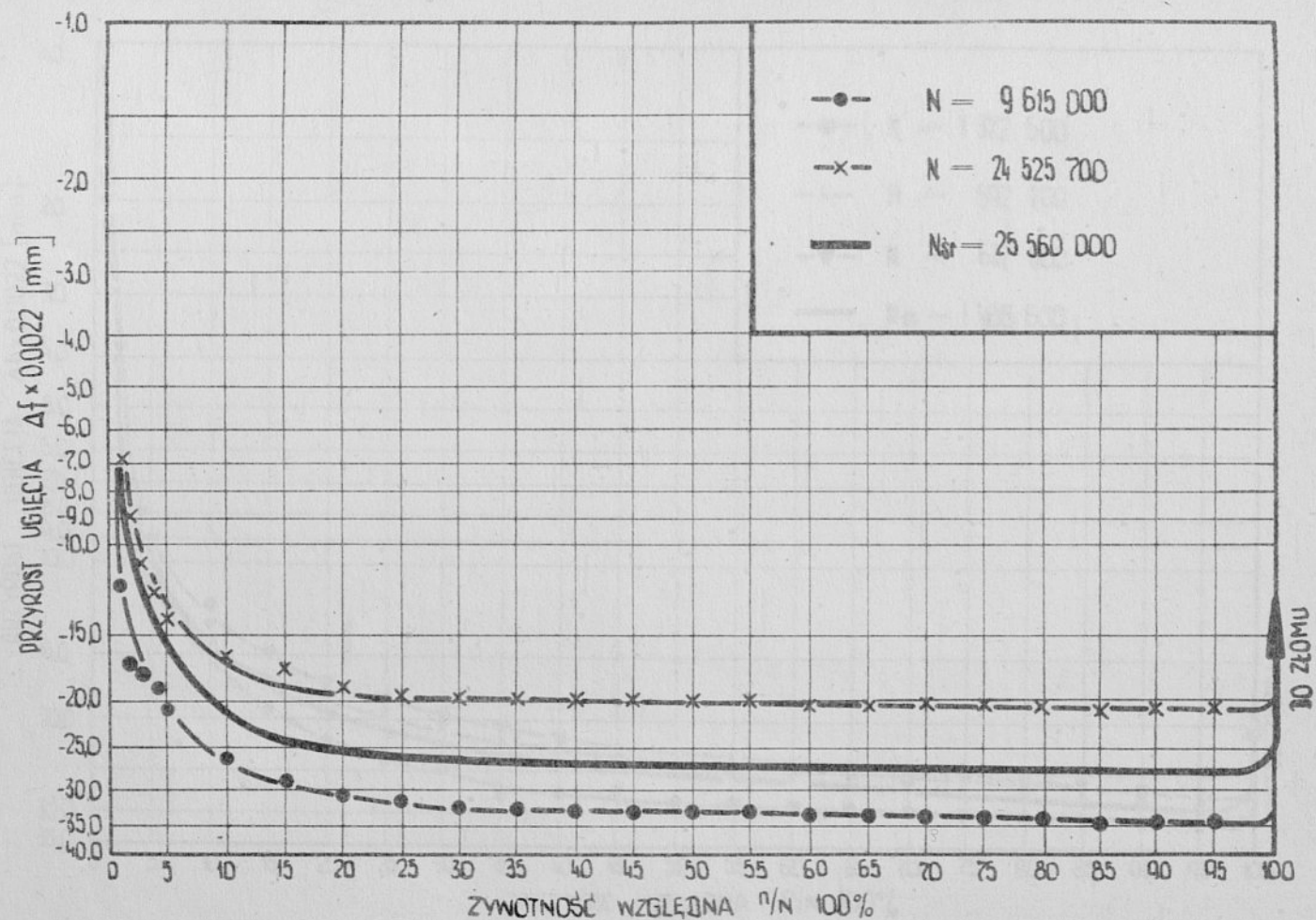
Rys. 58 Wyniki pomiarów zmiany strzałki ugięcia próbek niepowlekanych.



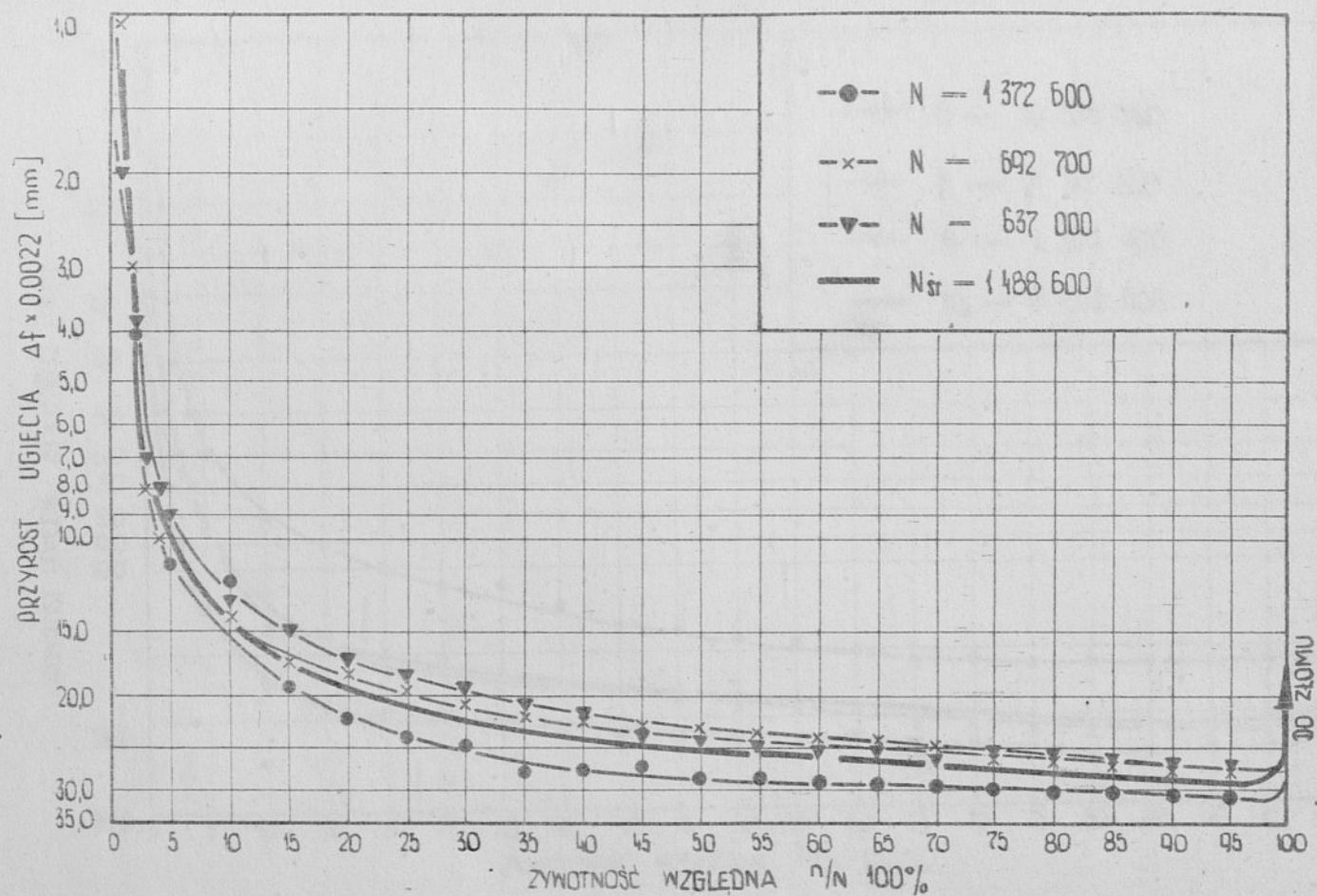
Rys. 59 Wyniki pomiarów zmiany strzałki ugięcia próbek powlekanych Poliamidem M powłoką o grubości 0,02 mm.



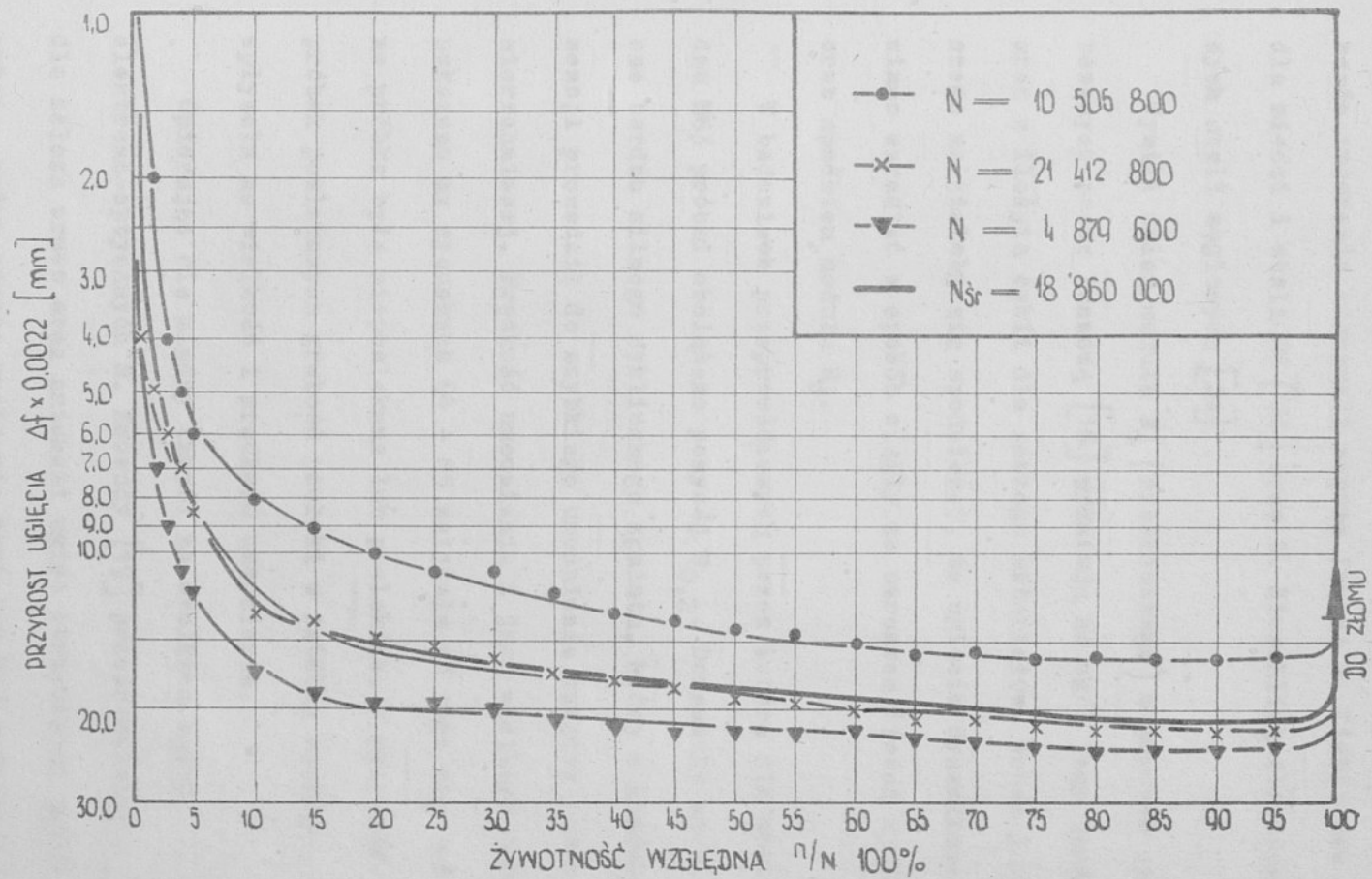
Rys. 60 Wyniki pomiarów zmiany strzałki ugięcia próbek powlekanych Poliamidem w powłoką o grubości 0,04 mm.



Rys. 61 Wyniki pomiarów zmiany strzałki ugięcia próbek powlekanych Poliamidem M powłoką o grubości 0,08 mm.



Rys. 62 Wyniki pomiarów zmiany strzałki ugięcia próbek powlekanych Epidianem i powłoką o grubości 0,08 mm.



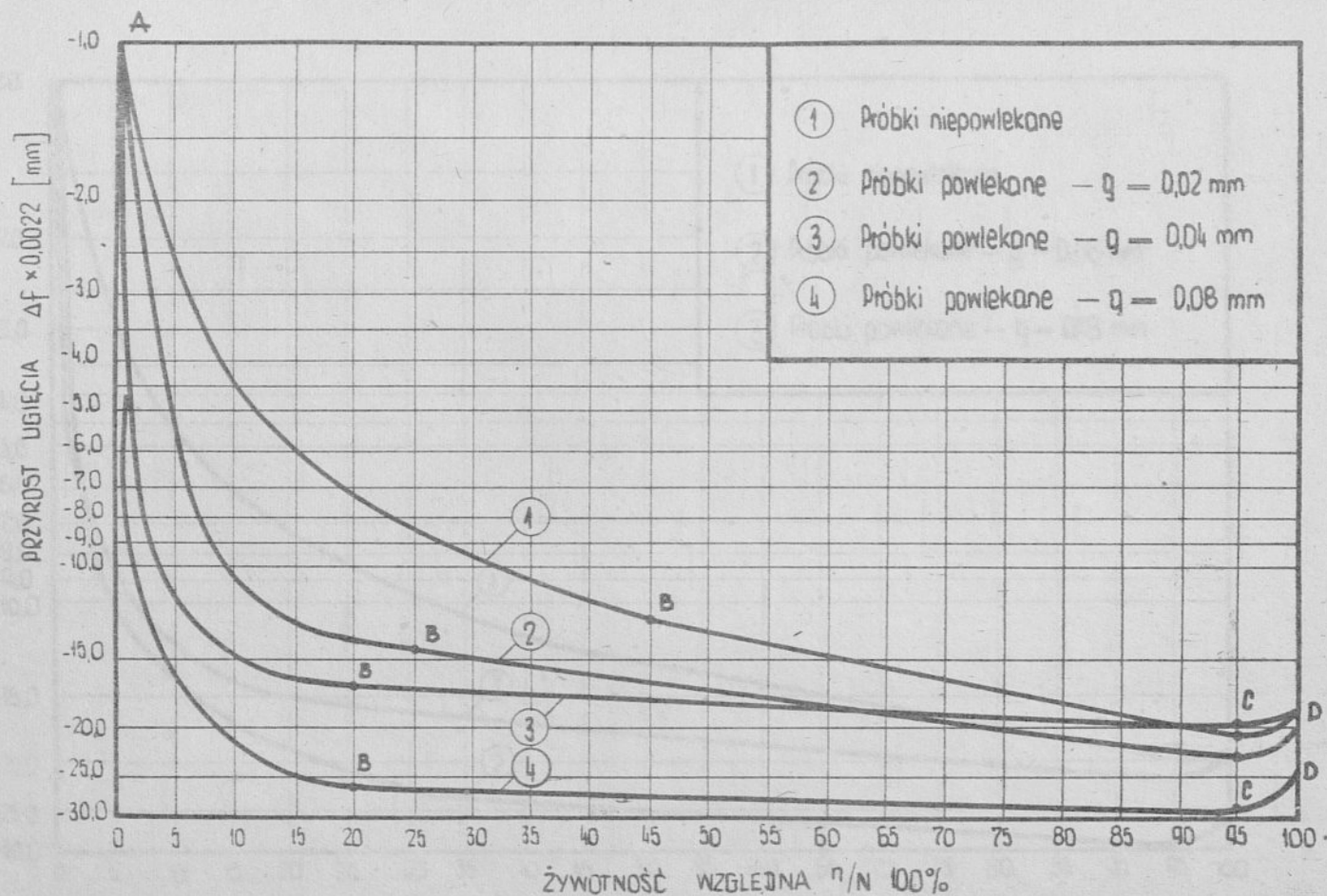
Rys. 63 Wyniki pomiarów zmiany strzałki ugięcia próbek powlekanych Epidianem 1 powłoką o grubości $g = 0,18$ mm.

cesie zmęczenia otrzymali między innymi T. Liebediew dla miedzi i stali 25 [24] oraz G. Kirschling dla stopowych stali węglowych [24] .

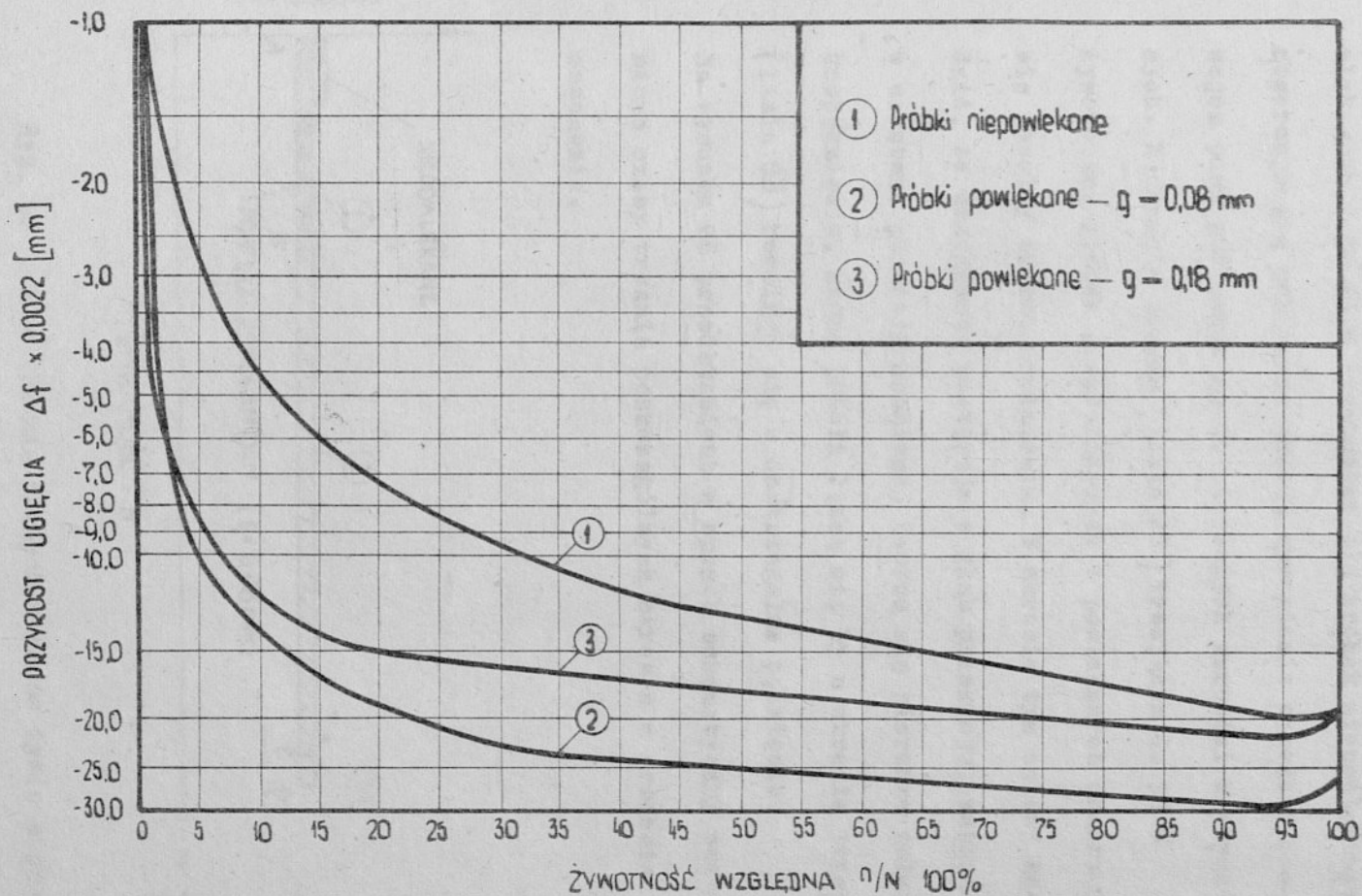
Wyniki zmian modułu E_d (dynamicznego) w pracach cytowanych przez Iwanową [16] wykazują na ogół jego spadek wraz z ilością cykli dla szeregu materiałów. Webec powyższego należałoby się spodziewać, że ugięcie dynamiczne winno wzrastać w sposób ciągły ze wzrostem ilości cykli oraz spadkiem modułu E_d .

W badaniach przeprowadzonych przez autora dla mosiądzu M63 próbki obciążano powyżej $R_{0,2}$. Doznawały więc one bardzo silnego cyklicznego zgnietu, który w konsekwencji prowadził do szybkiego umocnienia warstwy podpowierzchniowej. Prędkość umocnienia i jego wielkość jak to pokazano na rysunkach 64 ÷ 65 zależała od tego czy badana próbka była niepowlekana lub powlekana. W przypadku próbek powlekanych grubość powłoki w istotny sposób wpływała na wielkość i prędkość umocnienia.

Opierając się między innymi na wynikach badań elektreno-optycznych S. Kocańdy [19] przeprowadzonych dla żelaza armeo oraz zmianami ugięć otrzymanymi przez autora, można proces zmęczenia mosiądzu M63 podzielić na trzy zasadnicze okresy (rys. 64). W okresie pierwszym

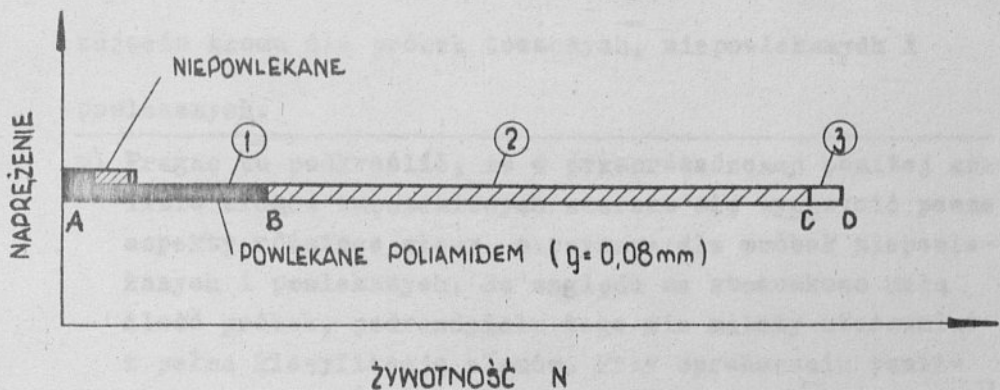


Rys. 64 Zestawienie zmian strzałki ugięcia w procesie zmęczenia próbek niepowlekanych i powlekanych Poliamidem M.



Rys. 65 Zestawienie zmian strzałki ugięcia w procesie zmęczenia próbek niepowlekanych i powlekanych Epidianem 1.

(linia AB) trwającym do 25 % żywotności dla próbek powlekanych i do 45 % żywotności dla próbek niepowlekanych obserwuje się gwałtowny wzrost umocnienia wywołany rozwojem pasm poślizgów aż do pierwszych wartości krytycznych. W okresie drugim (linia BC) trwającym do 95 % żywotności próbek niepowlekanych i powlekanych obserwuje się powolny wzrost umocnienia. W okresie tym należy sądzić, że umocnienie postępuje w głąb przekroju, natomiast w warstwie podpowierzchniowej tworzą się pierwsze submikropęknięcia, które powoli łączą się by w okresie trzecim (linia CD) rozwinąć się w dostrzegalne pęknięcia. Na rysunku 66 przedstawiono w sposób schematyczny ocenione czasy trwania poszczególnych okresów w procesie zmęczenia.



Rys. 66 Czas trwania różnych okresów życia w procesie zmęczeniowym.

Należy zwrócić tutaj uwagę, że wielkość umocnienia w pierwszym okresie zmęczenia rys. 64 ÷ 65 wyraźnie zależy od faktu istnienia sztucznie naniesionej powłoki oraz że prędkość względna postępującego umocnienia jest większa dla próbek powlekanych, co potwierdza słuszność przyjętego modelu efektu termicznego zaproponowanego w p. II 5.1.b.

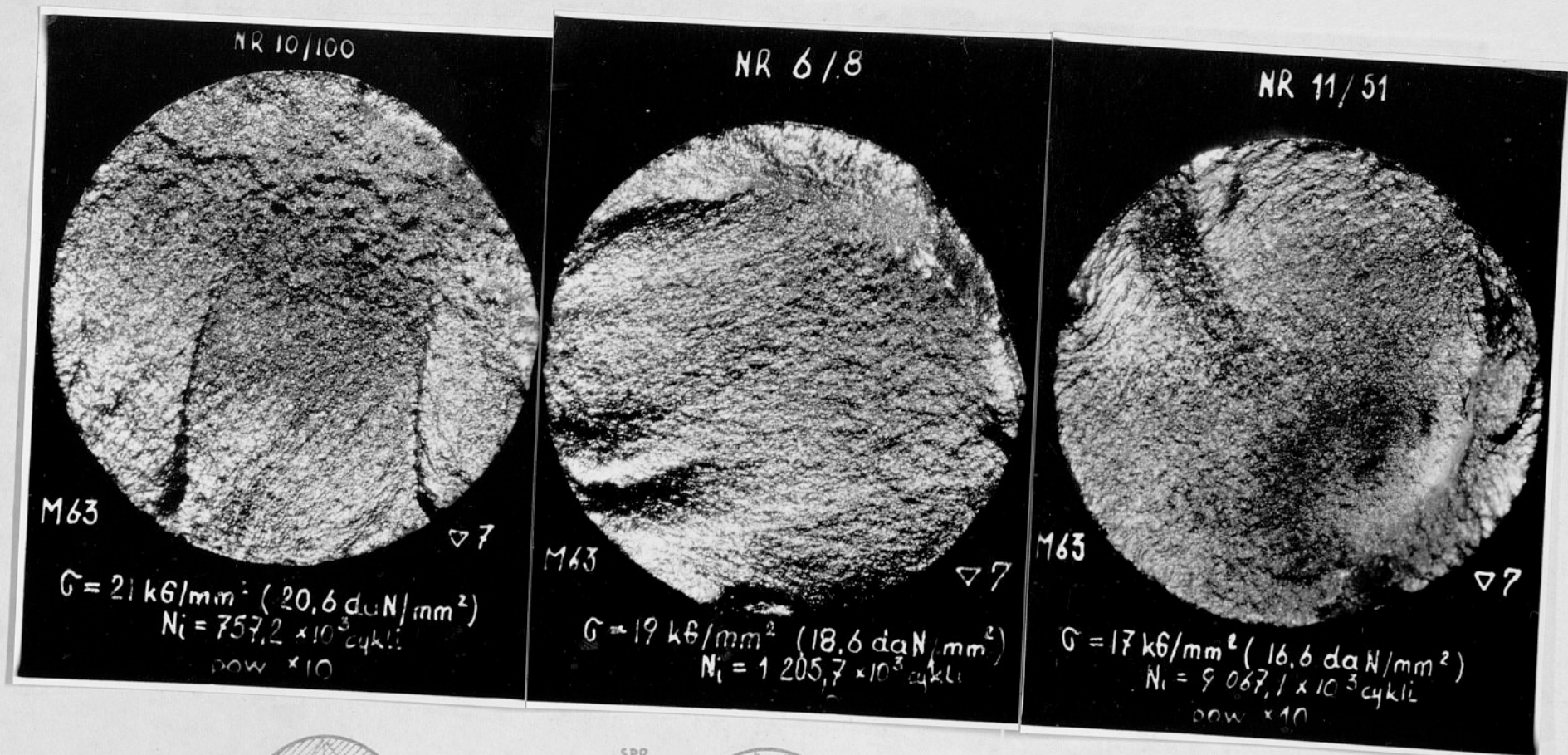
5.3. Analiza złomów zmęczeniowych i stanu powłoki w procesie zmęczenia^{x)}

a. Analiza makroskopowa złomów.

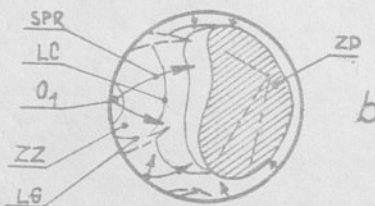
Na rysunkach 67 ÷ 69 przedstawiono fotografie uzyskanych złomów zmęczeniowych dla szlifowanych próbek niepowlekanych oraz szlifowanych próbek powlekanych Poliamidem M oraz Epidianem 1.

Na rysunku 70 jako przykład umieszczone po jednym zdjęciu złomu dla próbek toczonych, niepowlekanych i powlekanych.

x) Pragnę tu podkreślić, że w przeprowadzonej poniżej analizie złomów zmęczeniowych starano się wychwycić pewne aspekty różniące złomy, otrzymane dla próbek niepowlekanych i powlekanych. Ze względu na stosunkowo małą ilość próbek, podrozdziału tego nie należy utożsamiać z pełną klasyfikacją złomów. Przy opracowaniu poniższego podrozdziału korzystano z opracowań [6,20,32,49]



a

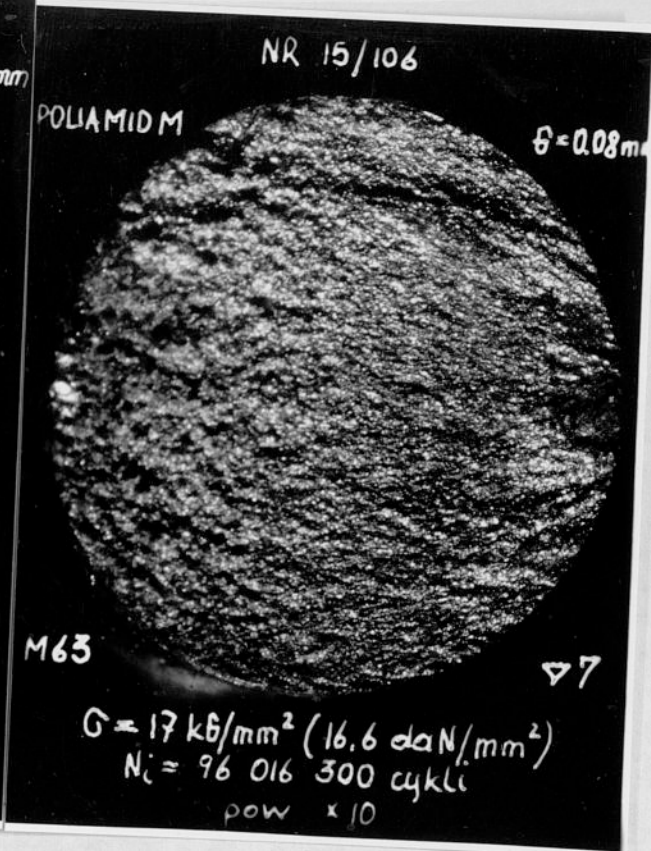


b

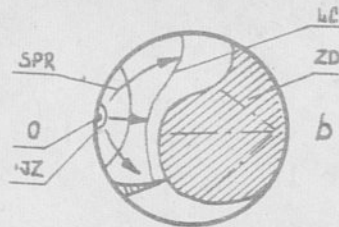


c

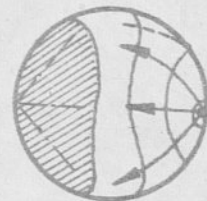
Rys. 67 Przykłady złomów zmęczeniowych próbek szlifowanych niepowlekanych.



a

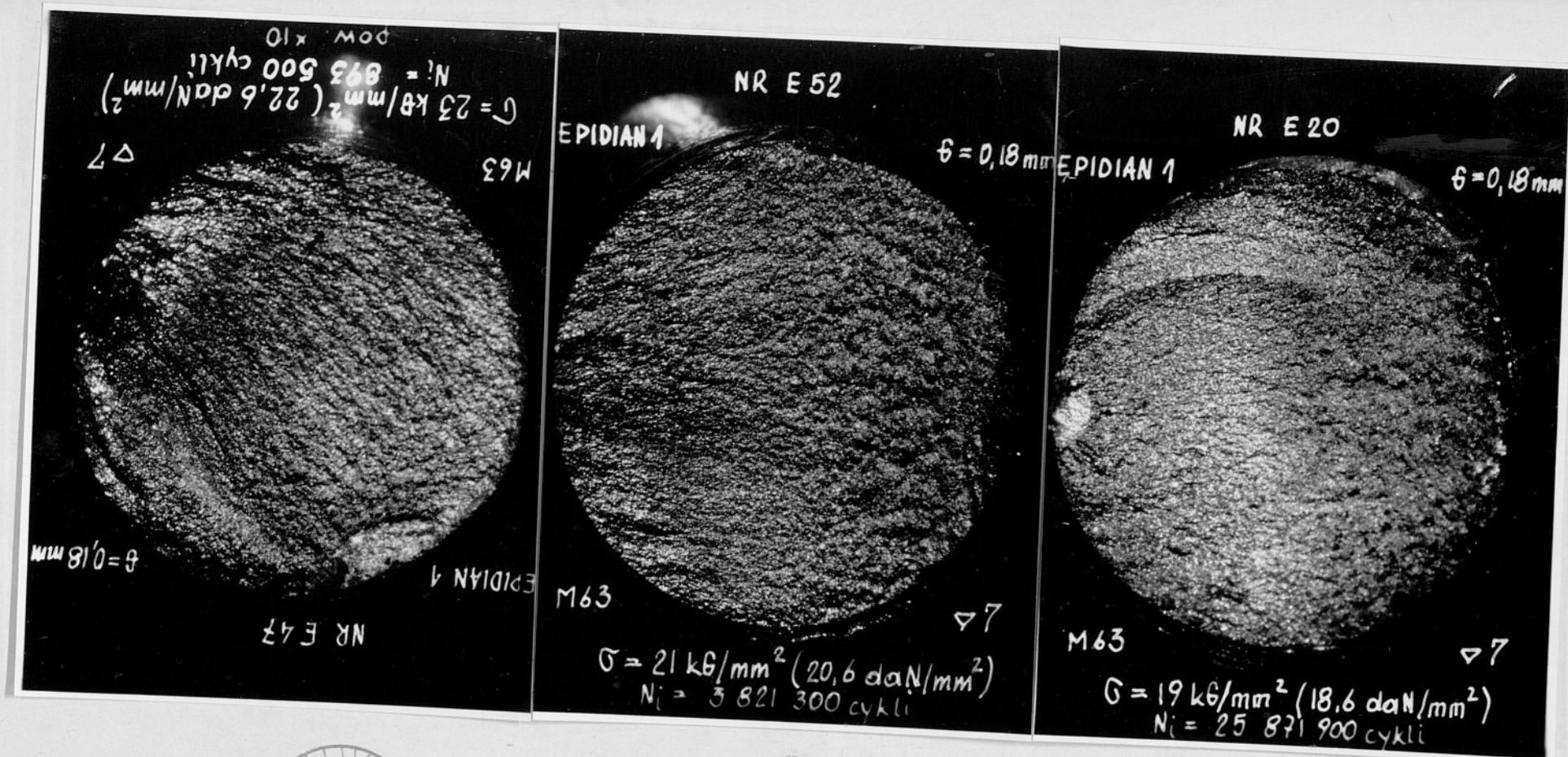


b



c

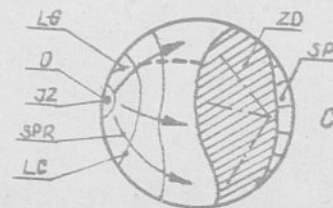
Rys. 68 Przykłady złomów zmęczeniowych próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M / $\delta = 0,08 \text{ mm}$ /.



a

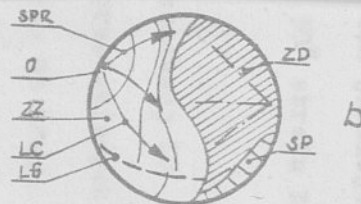
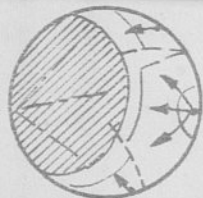
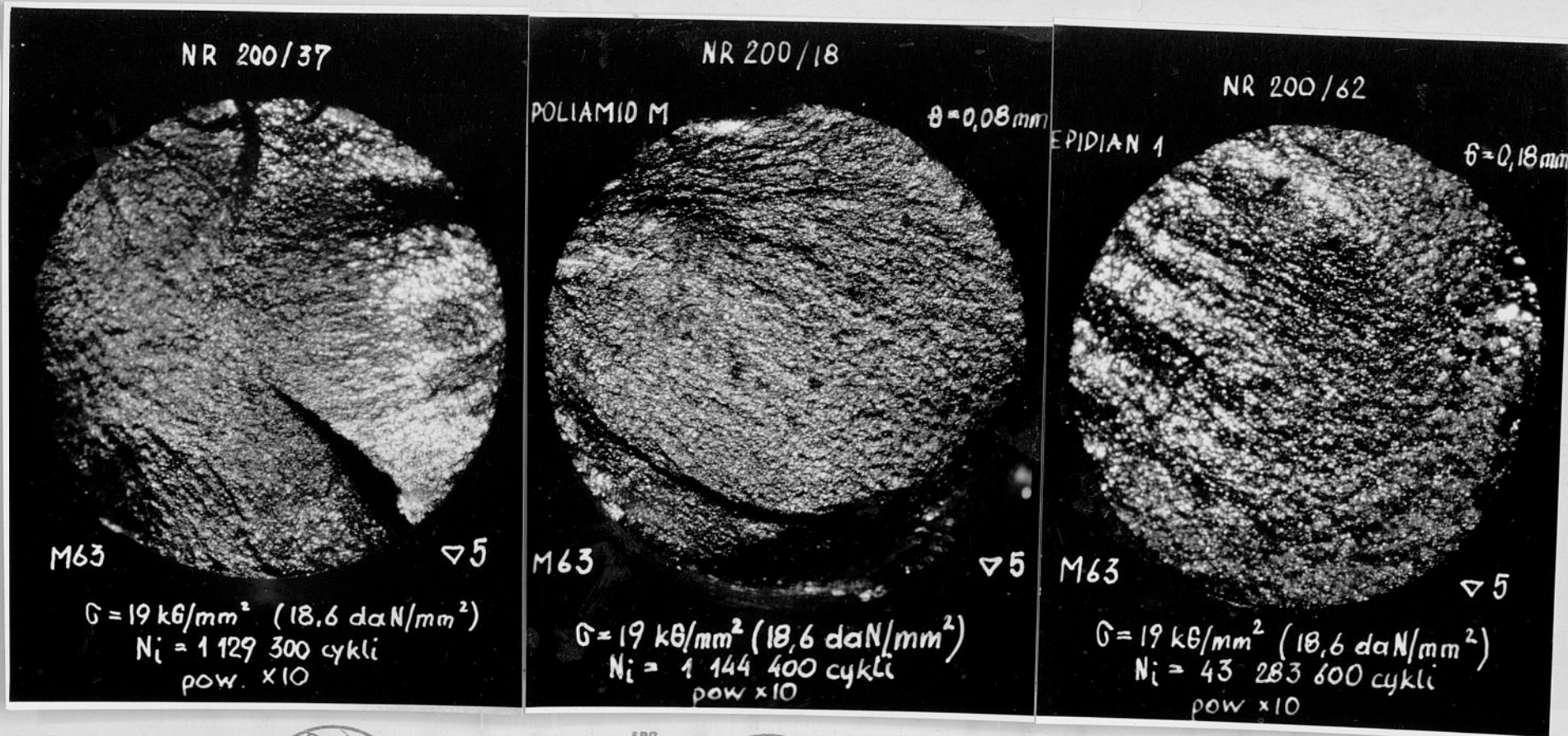


b



c

Rys. 69 Przykłady złomów zmęczeniowych próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1 / $g = 0,18 \text{ mm/}$.



Rys. 70

Przykłady złomów zmęczeniowych próbek toczonych niepowlekanych i powlekanych Poliamidem M i Epidianem 1 / $G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$.

Ze względu na trudność wychwycenia obiektywem wszystkich szczegółów budowy złomu zmęczeniowego, pod każdym zdjęciem umieszczone dodatkowe szkice uzupełniające - informujący. Na szkicach tych uzupełniano obraz złomu za pomocą umownych znaków ogólnie stosowanych w takich przypadkach.

Granica strefy pęknięcia zmęczeniowego ZZ (pole jasne) i doraźnego ZD (pole zakreskowane) jest stosunkowo trudna do określenia. Obie strefy mają strukturę drobnoziarnistą przy czym strefa ZZ jest o ton jaśniejsza. Przy oświetleniu złomu pod kątem około 30° strefa ZZ jest lekko błyszcząca.

Kształt linii czoła szczeliny zmęczeniowej LC oceniano na podstawie widocznych smug promieniowych SPR (oznaczone liniami ze strzałką) w strefie ZZ złomu. Zarówno w próbkach niepowlekanych jak i powlekanych w strefie ZD złomu obserwuje się silne odkształcenia plastyczne (deformacja kształtu kołowego - oznaczone liniami punktowymi, oraz skarpy poślizgu SP - oznaczone kreskowaniem promieniowym).

Fakt istnienia powłoki nie wprowadza zasadniczych różnic (na tym samym poziomie naprężenia) na wielkość strefy ZZ i ZD. Natomiast kształt ich oraz położenie jest za-

leżne od tego czy próbka pracowała jako powlekana czy też jako niepowlekana. W przypadku próbek niepowlekanych otrzymane złomy należałoby zaliczyć do kategorii złomów przedwcześnie ukształtowanych z małymi spiętrzeniami naprężeń. W złomach tych w strefie ZZ obserwuje się po kilka uskoków i więcej oznaczonych liniami grzbietowymi IG (linie przerywane). Świadczy to o tym, że szczelina zmęczeniowa rozwija się jednocześnie z kilku ognisk złomu.

Złomy próbek powlekanych tworzywami sztucznymi należałoby zaliczyć do kategorii złomów stojących na pograniczu złomów "prawidłowo ukształtowanych z małymi spiętrzeniami naprężeń" lub przedwcześnie ukształtowanych bez spiętrzenia naprężeń.

W złomach tych jeżeli występują uskoki lub wcięcia to bardzo płytkie i słabo rozwinięte. Świadczyć to może za tym, że powłoka wyrównuje koncentrację naprężeń wywołaną obróbką skrawaniem. Gładkość strefy ZZ jest dla tych złomów na ogół "mniejsza" niż w przypadku próbek niepowlekanych, co z kolei może świadczyć o tym, że proces wtórnego zgniotu (zgniotu wywołanego naciskiem i tarciem powierzchni pęknięcia) dla próbek powlekanych był słabszy. Z pomiarów zmian ugięć w procesie zmęczenia wynika iż okres

drugi, to znaczy okres rozwoju i łączenia się mikro-pęknięć, jest dłuższy dla próbek powlekanych, co powinno doprowadzić do większej gładkości strefy ZZ. Zaobserwowane zjawisko odwrotne, może wytłumaczyć osłabieniem efektów Rebindera w wyniku utrudnienia dostępu atmosfery i jej składników powierzchniowo aktywnych do świeżo otwartego pęknięcia, poza tym osłabione są procesy korozji zmęczeniowej w normalnej atmosferze.

Szczególne uwagi należy zwrócić na fakt pojawienia się przy powierzchni próbek powlekanych (rys. 69 c) dobrze rozwiniętego jądra złomu zmęczeniowego JZ (oznaczonego łukiem z kropką). Pojawienie się JZ potwierdza przyjęcie wcześniejszego założenia (pomiaru temperatury i ugięć) że w pierwszym okresie zmęczenia powłoka doprowadza do silnego umocnienia próbki w warstwie podpowierzchniowej utrudniającego rozwój szczeliny. Na podstawie wielkości JZ należy sądzić, że umocnienie warstwy sięga na głębokość jądra, które dla próbek powlekanych Poliamidem M ($g = 0,08 \text{ mm}$) jest rzędu $0,5 \text{ mm}$ a dla próbek powlekanych Epidianem 1 ($g = 0,18 \text{ mm}$) $1,0 \text{ mm}$.

Najprawdopodobniej wytworzenie JZ jest głównie wynikiem oddziaływania termicznego powłoki, jednakże na podstawie przeprowadzonych badań nie udało się znaleźć jakiego-

kolwiek potwierdzenia powyższego założenia.

b. Analiza mikroskopowa złomów.

Analizę mikroskopową złomów przeprowadzone bardzo wycinkowo, jedynie w tym celu by uzyskać ewentualne potwierdzenie założeń i wniosków z wcześniej przedstawionych badań dodatkowych. Należy ją też traktować jako ewentualne pierwsze rozeznanie, dla podjęcia dalszych badań mających za zadanie wyjaśnienie wpływu powłoki z tworzywa sztucznego na wytrzymałość zmęczeniową metali i stopów.

Obserwację mikroskopową przeprowadzono na zglądach trzech próbek wykonanych na powierzchni przekroju wzdłużnego próbki a prostopadłego do powierzchni przełomu. Cięcia dokonano w ten sposób by otrzymany szlif przebiegał przez ognisko złomu oraz strefę środkową złomu doraźnego. Do analizy przyjęto po jednej próbce z grupy próbek szlifowanych niepowlekanych i powlekanych tworzywami sztucznymi. Złomy "makro" tych próbek przedstawiono już wcześniej w części B rysunków 67 ÷ 68 i w części 6 rysunku 69. Główną uwagę zwrócono na trzy zasadnicze punkty przełomu:

- początek strefy złomu zmęczeniowego ZZ,
- koniec strefy złomu doraźnego ZD,

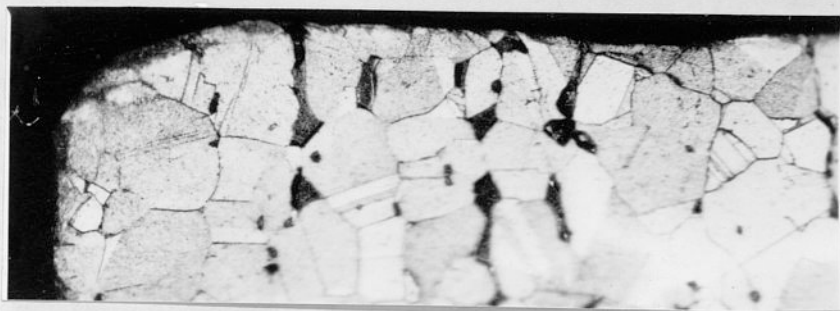
- powierzchnię zewnętrzną próbki od strony złomu zmęczeniowego (obserwacji dokonano $1 \div 1,5$ mm poniżej pęknięcia) .

Celem głównym analizy było uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

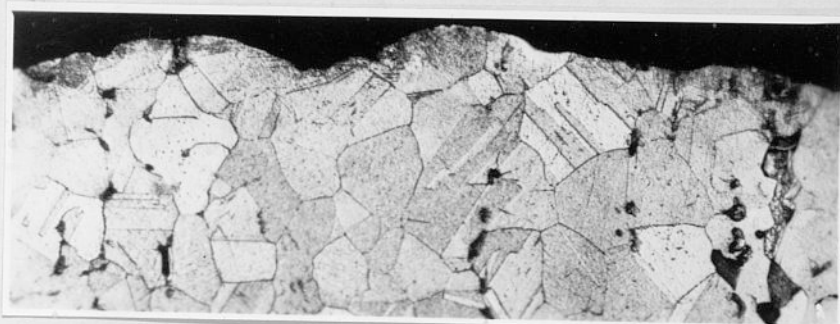
- jaki charakter złomu przedstawia strefa ZZ w stosunku do strefy ZD,
- jak przebiega proces pęknięcia w początkowej strefie ZZ próbek powlekanych i niepowlekanych,
- czy istotnie powłoka z tworzywa sztucznego powoduje umocnienie warstwy podpowierzchniowej próbki.

Autor zdaje sobie tu sprawę, że odpowiedź na powyższe pytania jest trudna i na podstawie poniższych obserwacji nie będzie całkowicie udokumentowana. Jednak w świetle pozostałych badań dodatkowych analiza ta da dodatkowe informacje.

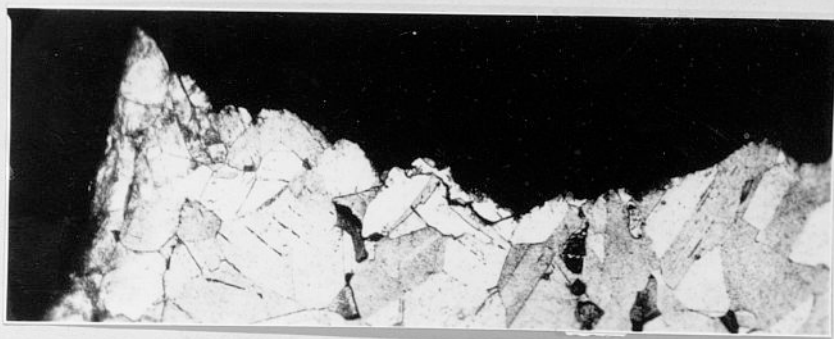
Na rysunku 71 przedstawiono mikroskopowe zdjęcie początku strefy ZZ i strefy ZD. Strefa złomu doraźnego ZD posiada charakter złomu plastycznego i jeżeli się różni od podobnego złomu otrzymanego z próby rozciągania to tym, że można zaobserwować tu dwa systemy poślizgów wywołanych naprężeniami rozciągającymi i ściskającymi. Strefa złomu zmęczeniowego ZZ w porównaniu ze strefą



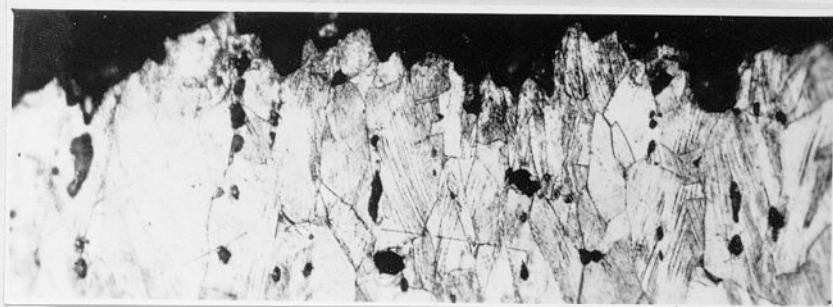
a



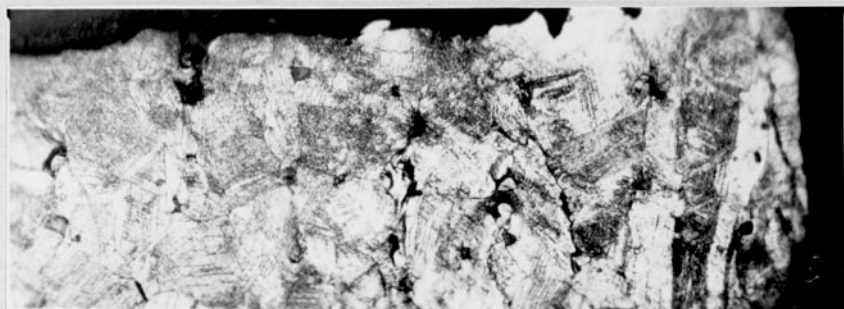
b



c



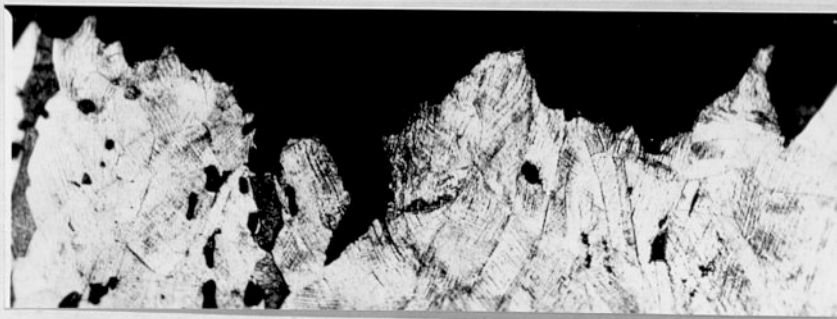
d



a



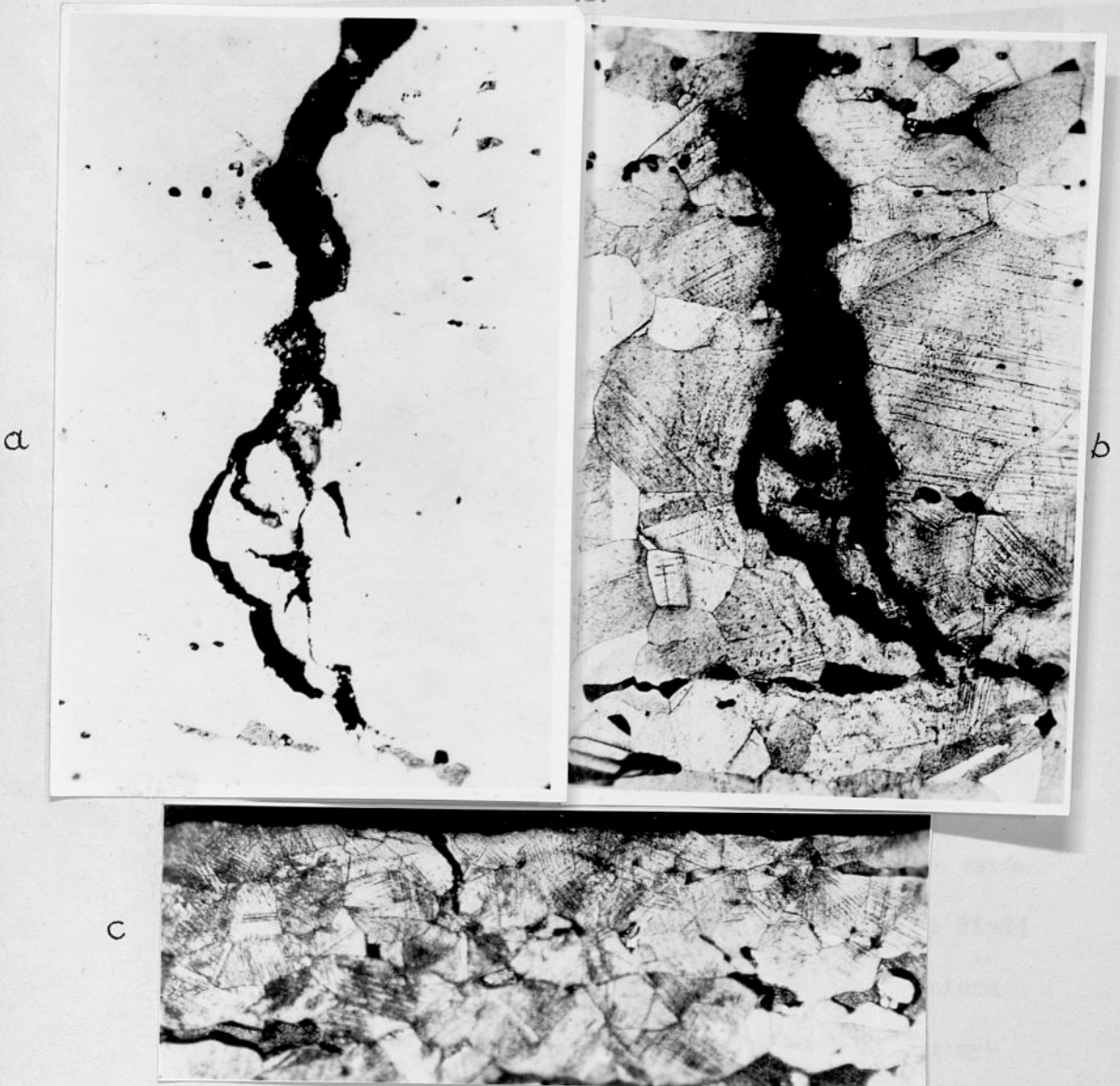
f



g

Rys. 71 Mikrostruktury włóków z liniami poślizgów
 ($G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$, pow. 250 x, traw. FeCl_3):

- a - próbka niepowlekana, strefa ZZ,
- b - próbka powlekana Poliamidem M, strefa ZZ,
- c - próbka powlekana Epidianem 1, strefa ZZ,
- d - włókno doraźny otrzymany z próby rozciągania,
- e - próbka niepowlekana, strefa ZD,
- f - próbka powlekana Poliamidem M, strefa ZD,
- g - próbka powlekana Epidianem 1, strefa ZD.



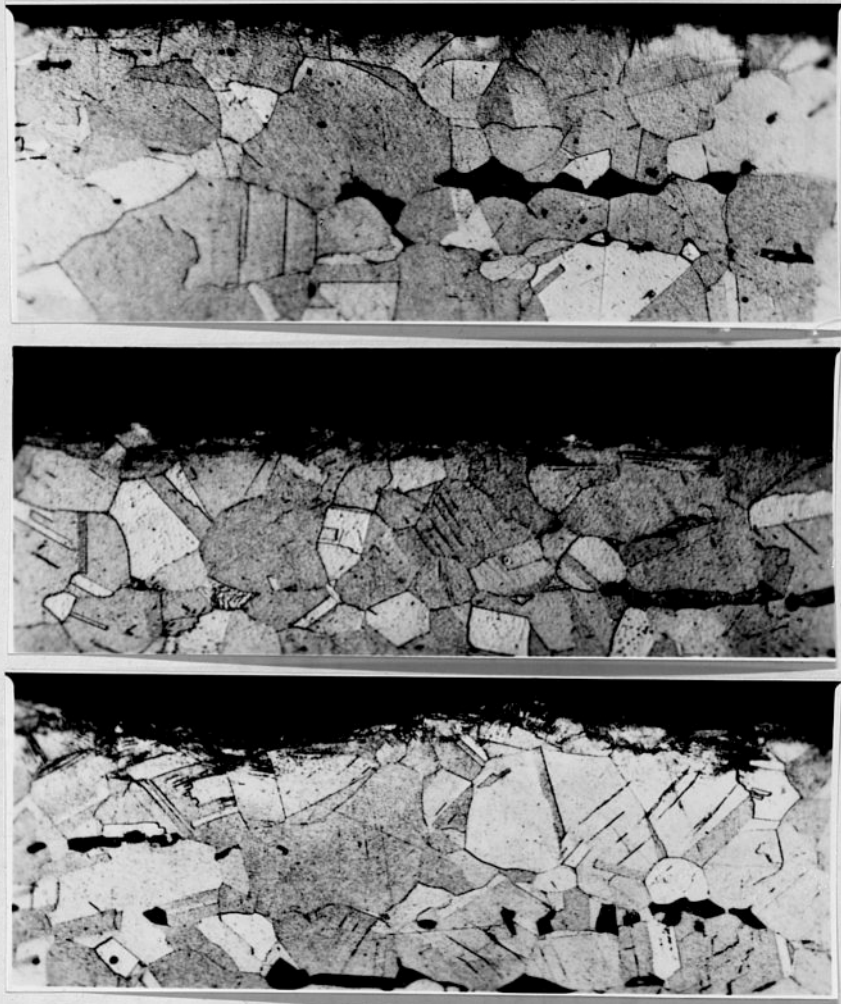
Rys. 72 Otwarte pęknięcia zmęczeniowe próbek niepowiekanych w strefie ZD:

a, b - pęknięcie w stanie nie trawionym i trawionym
(pow. 500 $\times$)

c - powierzchnia swobodna z pęknięciem próbki
z rys. 71 a (pow. 250 $\times$).

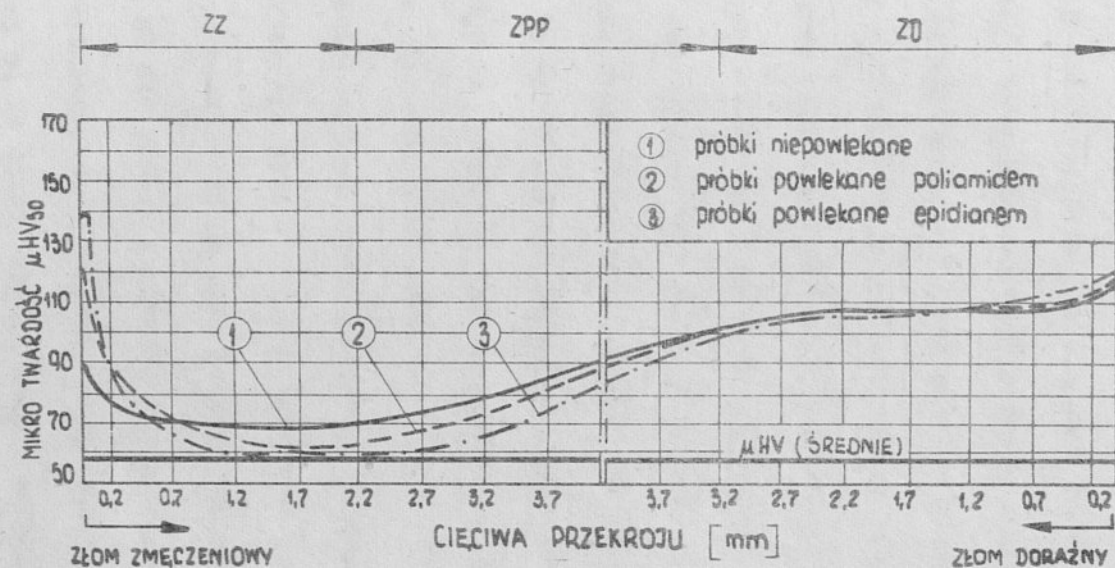
złomu doraźnego ZD ma charakter "kruchy". Pękanie w strefie ZD jest przeważająco międzykrystaliczne zarówno dla próbek niepowlekanych jak i powlekanych. Przedstawione na rys. 72 pęknięcia otwarte zaobserwowane dla próbek niepowlekanych mają charakter międzykrystaliczny. W przypadku pęknięcia na rysunku 72 c można by dyskutować czy pęknięcie było spowodowane wydzieloną fazą β czy też zostało na niej zatrzymane. Wydaje się jednak, że wyężenie ziarna fazy α będzie większe niż fazy β i od niej w tym przypadku powinno rozpocząć się pękanie.

Na rysunku 73 przedstawiono mikroskopowe zdjęcia warstwy podpowierzchniowej badanych próbek. Należy zwrócić tu uwagę na dość silnie zróżnicowanie gęstości linii poślizgów na zewnętrznej powierzchni granicznych ziarn oraz na wytworzeniu w próbkach powlekanych jednego systemu poślizgu. Jeżeli warstwa podpowierzchniowa wykazuje umocnienie wywołane cyklicznym zgniotem, to zgniot ten w myśl badań temperatur i ugięcia powinien być wywołany głównie naprężeniami ściskającymi. Wobec czego jako miarę sprawdzającą wartość wywołanego zgniotu przyjęto zmiany mikrotwardości. Na rys. 74 przedstawiono wyniki pomiarów mikrotwardości wykonanych na mikro-



Rys. 73 Mikrostruktury warstwy podpowierzchniowej próbek
od strony strefy ZZ złomu
($\sigma = 18,6 \text{ daN/mm}^2$, pow. 250 x, traw FeCl_3) :

- a - próbka niepowlekana,
- b - próbka powlekana Poliamidem M,
- c - próbka powlekana Epidianem 1.



Rys. 74 Zmiany mikrotwardości pod powierzchnią złomu próbek niepowlekanych i powlekanych.

twardościomierzu PT-3. Odczytów twardości dokonano na wyżej wymienionych zglądach wzdłuż pęknięcia w odległości 0,2 mm od krawędzi złomu. Mikrotwardość mierzono w ziarnach fazy α przyjmując krok kwantowania 0,02 mm w warstwie podpowierzchniowej i 0,2 mm w głębi przekroju. Dodatkowo, ze względu na duży rozrzut wyników μ HV, pomierzono ją wzdłuż krawędzi swobodnej w odległości od niej równej 0,02 mm przy kroku kwantowania równym 0,05 mm. Wynik pomiarów okazał się zgodny z wcześniejszymi założeniami. Umocnienie próbek w warstwie podpowierzchniowej dla próbek powlekanych jest około 30 % (średnio) większe od umocnienia obserwowanego dla próbek niepowlekanych. Umocnienia te wyrównują się dopiero na głębokości od 0,5 mm do 0,7 mm, stąd tak duże w obserwacji makroskopowej jądra złomu zmęczeniowego.

Umocnienie dalszej strefy złomu zmęczeniowego jest o 20 % większe dla próbek niepowlekanych od próbek powlekanych co potwierdza na ogół większy "poblask" i gładkość stref ZZ dla próbek niepowlekanych. Dalszym potwierdzeniem powyższego, będą różnice umocnienia strefy przejściowej od ZZ do ZG, bardzo często nazwanej strefy przyspieszonego pęknięcia ZPP wskazujące, że procesy wtórnego umocnienia były silniejsze dla próbek niepowleka-

nych niż dla powlekanych.

Reasumując przeprowadzone badania makroskopowe i mikroskopowe nazwajem się uzupełniają i potwierdzają. W powiązaniu z pozostałymi badaniami dodatkowymi umożliwiły opisanie fenomenologiczne zjawisk reologicznych, towarzyszących zmęczeniu mosiądzu M63 ze sztucznie naniesioną powłoką niemetaliczną.

c. Stan powłoki w procesie zmęczenia.

Zastosowane powłoki różniły się w sposób zasadniczy przyczepnością do podłoża metalicznego oraz elastycznością. Wobec powyższego dla powłok z Poliamidu M sprawdzano tylko jej przyczepność, natomiast dla powłok z Epidianu 1 czy nie uległy uszkodzeniu. Obserwacje przeprowadzono makroskopowo w czasie przeprowadzania zasadniczych badań zmęczeniowych stosując krótkotrwałe przerwy w obciążeniu. Powłoki z Epidianu 1 uległy zniszczeniu tuż przed samym złomem próbki. Powłoki z Poliamidu M nie traciły przyczepności aż do czasu uzyskania złomu. Zniszczenie sił adhezji występowało na bardzo małym obszarze w okolicy złomu doraźnego dla obu typu powłok w chwili końcowego przelamania próbki.

5.4. Analiza rozrzutu wyników badań zmęczeniowych
próbek powlekanych Poliamidem M.

a. Program i wyniki doświadczeń.

Przeprowadzone badania zmęczeniowe próbek pokrywanych Poliamidem M wykazały bardzo duży rozrzut pojedynczych spostrzeżeń wokół wartości średniej. Na przykład średni błąd oszacowania dla próbek szlifowanych powlekanych, o grubości powłoki 0,08 mm, jest dziesięć razy większy od błędu oszacowania dla próbek szlifowanych niepowlekanych (porównaj tabele 21 i 22). Podobnie duże rozrzuty dla próbek z powłoką obserwowali inni badacze [8, 14].

Zaistniała więc konieczność przeanalizowania ewentualnych wpływów czynników niekontrolowanych na rozrzut pomiarów.

Przeprowadzona weryfikacja geometrii próbek, jak i składu chemicznego oraz twardości, wyklucza możliwość wprowadzania dodatkowych czynników powodujących tak duże błędy.

Obserwowane przez J. Zawadzkiego i M. Nowaka [48] rozrzuty wyników badań zmęczeniowych przeprowadzonych na

Poliamidzie okazały się, przy porównaniu (na drodze analizy wariancji) z rozrzutami otrzymanymi dla próbek z powłoką poliamidową, tego samego rzędu.

Należy stąd wnioskować, że istnienie powłoki z tworzywa sztucznego jest głównym czynnikiem wpływającym na rozrzut wyników pomiarów. O wpływie powłoki na rozrzut decydują:

1. niejednorodność tworzywa samej powłoki,
2. niejednorodność oddziaływania atmosfera-powłoka-metal
 - a. w procesie powlekania,
 - b. w procesie zmęczenia.

Postanowiono nie rozpatrywać wpływu sposobu powlekania, ze względu na stałość warunków i identyczny przebieg procesu powlekania próbek.

Niejednorodność tworzywa postanowiono zmniejszyć do minimum przez wprowadzenie stabilizacji powłoki w wodzie destylowanej lub w próżni. Powłoki stabilizowane w wodzie poddawano badaniom wtedy, gdy wilgotność względna atmosfery wynosiła nie mniej niż 80 % i odpowiednie dla próbek stabilizowanych w próżni nie więcej niż 25 %.

Badania przeprowadzone na 6 próbkach szlifowanych powlekanych, ze stabilizowaną w próżni lub wodzie powle-

ką z Poliamidu M, o grubości $g = 0,08$ mm, na poziomie naprężenia $\bar{\sigma} = 18,6$ daN/mm².

Parametry stabilizacji podaje tabela 42, a wyniki badań zmęczenia tabelą 43.

Wyniki otrzymane z pomiarów porównywano statystycznie z wynikami otrzymanymi na tym samym poziomie naprężenia, dla próbek szlifowanych niepowlekanych (tabela 5) oraz dla próbek powlekanych Poliamidem nie-stabilizowanym (tabela 6). Zestawienie porównywanych wielkości przedstawia tabela 44.

b. Analiza statystyczna.

W celu przeanalizowania wpływu stabilizacji powłoki z Poliamidu M na rozrzut wyników na poziomie naprężenia $\bar{\sigma} = 18,6$ daN/mm², przeprowadzono analizę wariancji oszacowania (tabela 45) przyjmując hipotezę zerową.

$$H_0 : s^2(y_1) = s^2(y_2)$$

Jeżeli stosunek wariancji na przyjętym poziomie istotności jest większy od wartości F odczytanych z tabeli, odrzucamy hipotezę o równości wariancji i bierzemy to za dowód istnienia wpływu badanego czynnika na rozrzut wyników pomiarów - oszacowane wariancje są jednakowe (różnica nieistotna).

Na podstawie wyników analizy wariancji (tabela 45) można stwierdzić że:

- rozrzut wyników próbek powlekanych niestabilizowanych jest większy od rozrzutu próbek niepowlekanych,
- rozrzut wyników próbek powlekanych stabilizowanych w próżni jest równy rozrzutowi próbek powlekanych niestabilizowanych,
- rozrzut wyników próbek powlekanych stabilizowanych w wodzie jest równy rozrzutowi próbek niepowlekanych,
- łączny rozrzut wyników powstały z połączenia wyników próbek stabilizowanych w wodzie i w próżni jest równy rozrzutowi próbek powlekanych niestabilizowanych.

c. Interpretacja fizykalna i wnioski

Poliamid jest dwufazowym tworzywem o strukturze krystaliczno-amorficznej, w której znajduje się trzecia faza a mianowicie woda. Zawartość wody (czasem nawet bardzo znaczna) głównie decyduje o jego własnościach mechanicznych.

Stabilizacja poliamidu [27] prowadzi w pewnych wa-

runkach do podwyższenia wytrzymałości, obniżenia lub podwyższenia modułu Younga, wyrównania fazy krystalicznej, zmniejszania rozrzutu wyników badań, a nawet wodochłonności. Stabilizacja w wodzie obniża według M. Nowaka wytrzymałość zmęczeniową Poliamidu poprzez:

- wymywanie monomeru - powstanie mikroszczelin na powierzchni próbki,
- absorpcję wody - następuje zmniejszenie modułu E i wytrzymałości na zginanie,

natomiast zwiększa wytrzymałość zmęczeniową przez wzrost zawartości fazy krystalicznej.

Stabilizacja w powietrzu obniża wytrzymałość zmęczeniową poprzez przyspieszenie procesów starzenia Poliamidu w powietrzu, natomiast podnosi ją przez

- desorpcję wody - następuje zwiększenie modułu E, i wytrzymałości na zginanie,
- kształtowanie nowych elementów strukturalnych.

W wyniku przeprowadzonej stabilizacji powłoki z Poliamidu M w wodzie lub w próżni postanowiono traktować je jako dwie różne powłoki.

Różnice te należy podkreślić biorąc pod uwagę:

- różną zawartość wody w powłokach, traktując je

jako "suche" i "mokre" odpowiednio dla stabilizacji w próżni lub w wodzie,

- różną przyczepność do metalu, "mokre" - nie przyczepne, "suche" - przyczepne [25],
- różną elastyczność, "mokre" - elastyczne, "suche" nieelastyczne,
- różną zawartość gazów O_2 ; CO ; CO_2 , "mokre" - więcej, "suche" - mniej,
- różną wytrzymałość zmęczeniową, "mokre" - mniejszą, "suche" - większą.

Powłoki z Poliamidu M po stabilizacji będą też miały cechy wspólne:

- lepszą jednorodność budowy poprzez wyrównanie fazy krystalicznej,
- zwiększoną zawartość mikroszczelin w wyniku wymycia monomeru dla powłok "mokrych", oraz odparowania monomeru w temperaturze powyżej $80^{\circ}C$ i pod zmniejszonym ciśnieniem do 10^{-1} ata dla powłok "suchych".

Wyniki przeprowadzonych badań zmęczeniowych wskazują, że żywotność próbek "suchych" jest mniejsza niż próbek "mokrych". Jest to wynik o tyle zaskakujący, że M. Nowak dla Poliamidu stabilizowanego otrzymał rezultat przeciwny. Porównanie wariancji wskazuje, że próbki "mokre" dają

mniejszy istotnie różny rozrzut wyników spostrzeżeń wokół wartości średniej niż próbki "suche", w odniesieniu do próbek powlekanych niestabilizowanych. Przyczyny tego zjawiska należy się więc doszukiwać we wpływie czynników różniących obie powłoki, oraz we wpływie wywieranym otaczającą atmosferą. W szczególności należałoby uwzględnić wpływ [za 40, 47] tlenu, pary wodnej i wodoru na żywotność zmęczenia materiału. Zastosowany do badań mosiądz M63 jest jednym z najbardziej wrażliwych mosiądzów na korozję, a w szczególności korozję naprężeniową.

I.E. Łabanów badał korozję stali w wodzie i parze wodnej z naniesioną powłoką z tworzywa sztucznego (polietylen) o grubości powłoki $g = 0,016 - 0,018 \text{ mm}$ [25]. Część powłoki oddzielono od metalu, a następnie brzegi zabezpieczono, otrzymując w ten sposób próbkę z powłoką przyklejoną w sposób adhezyjny i swobodny. Stwierdzono że część próbki połączona z błoną adhezyjnie uległa intensywnej korozji, podczas gdy pozostała część praktycznie nie korodowała. Autor wyjaśnia to zjawisko zróżnicowanym dostępem tlenu do metalu. Powietrze znajdujące się pod swobodnymi błonami, ułatwia w sposób maksymalny dostęp tlenu do punktów, które straciły passywność, a wy-

nikiem tego jest osłabienie procesów korozji. Przeciwnie zjawisko obserwujemy pod powłoką połączoną adhezyjnie, gdzie dostęp tlenu jest nierównomierny i utrudniony. Powoduje to tworzenie się silnego lokalnego tlenowego ogniwia stężeniowego przyspieszającego korozję. Labanow wyklucza istnienie sił adhezji jako bezpośrednią przyczynę powstania intensywnej korozji.

Powłoki z Poliamidu M były nakładane na próbki miesięczne "natychmiast" po obróbce wykańczającej. Należy więc przyjąć, że nie zdążyła się jeszcze wytworzyć na mosiądzu ochronna warstwa pasywna i cała powierzchnia próbki jest jednakowo chemicznie aktywna. W wyniku stabilizacji, miejscowe uszkodzenia powłok, spowodowane ubytkiem monomeru, mogą prowadzić do wytworzenia silnej korozji lokalnej (odeynkowanie mosiądzu) na nieciągłościach struktury dwufazowego mosiądzu M63, oraz na nieregularnościach powierzchni zewnętrznej.

Dopływ tlenu do metalu, zarówno w trakcie przechowywania jak i w trwającym procesie zmęczenia, będzie bardziej równomierny dla powłok "mokrych" niż dla powłok "suchych". Spowodowane jest to tym, że powłoka "mokra" posiada dużą zawartość wody i rozpuszczonego w niej gazowego tlenu. Natomiast powłoka "sucha" (próbki są prze-

chowywane w eksykaterze) w procesie zmęczenia będzie silnie absorbować wodę i tlen z atmosfery wskutek lokalnych pęknięć łańcuchów kryształitów.

W warunkach, na granicy metal-powłoka, gdzie dostęp tlenu jest utrudniony, spowoduje to pobieranie tlenu z najbliższej okolicy. W ten sposób nastąpi dalsze zróżnicowanie tlenowych ogniw stężeńowych, tym większe, że miejsca "puste" po odparowanym monomerze stanowią łatwy dostęp dla atmosfery i tlenu, doprowadzając w konsekwencji do silniejszej korozji lokalno-zmęczeniowej próbek z powłoką "suchą". Rozmieszczenie i potencjał tlenowych ogniw stężeńowych będzie zależał od nakładania się wyżej wymienionych procesów i należy sądzić, że będzie bardziej przypadkowy dla powłok "suchych" niż "mokrych", powodując dla tych pierwszych większy rozrzut wyników zmęczeniowych.

W przypadku próbek z powłoką niestabilizowaną, należy przyjąć model mieszany, to znaczy, że zbiór próbek powlekanych stanowi jakby mieszaninę próbek poddanych obu procesom stabilizacji. Reasumując: próbki powlekane, użyte do zasadniczych badań zmęczeniowych, poprzez wyniki z procesu powlekania niejednorodność materiału powłoki, powinny się charakteryzować bardzo znacznym rozrzutem wyników pomiarów, w wyniku trwającego procesu

lokalnej korozyj i naprężeń zmęczeniowych. Rozrzut wyników powinien być tym większy, im mniejsza jest grubość powłoki, co potwierdziło doświadczenie (patrz rys. 34-36).

6. Statystyczna analiza wyników badań zmęczeniowych - dyskusja i interpretacja.

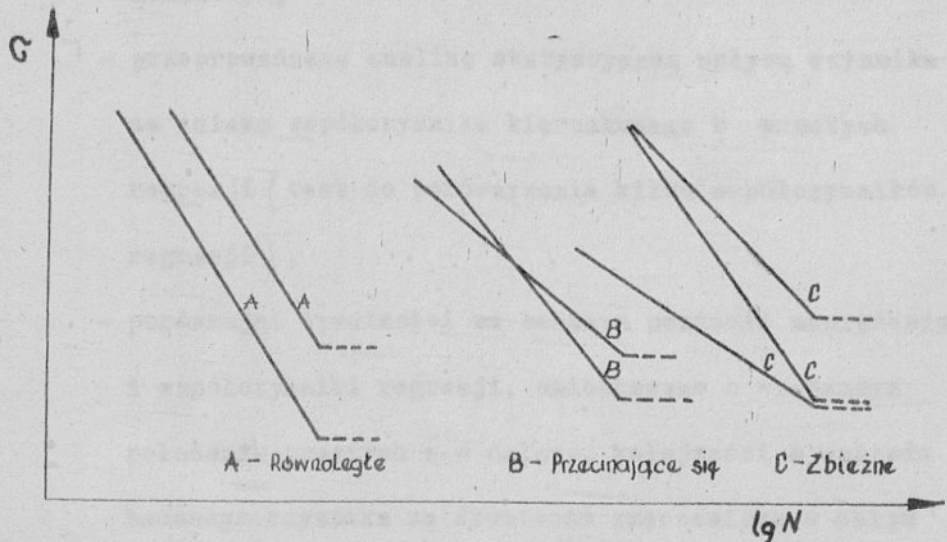
Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki badań wymagają odpowiednich porównań i wysnucia wniosków. Jednakże uzyskane rozrzuty wyników badań zmęczeniowych nie pozwalają na bezpośrednie ich porównanie, lecz wymagają poddania ich szczegółowej analizie statystycznej.

6.1. Podstawy teoretyczne analizy statystycznej.

Rezultatem opracowania statystycznego wyników badań zmęczeniowych jest prosta regresji wraz z przedziałami ufności wartości oczekiwanej i pojedynczych spostrzeżeń. Chcąc wnioskować o wpływie jakiegoś czynnika na żywotność zmęczeniową w całym zakresie stosowanych obciążeń należy porównać pomiędzy sobą szereg prostych regresji o różnym położeniu względem siebie (rys. 75).

Należy tu nadmienić, że proste te są prowadzone przez uzyskane wyniki pomiarów przy znajomości jednego punktu $P(\bar{x} ; \bar{y})$ - średnia generalna, oraz współczynnika kierunkowego b - współczynnik regresji. Oba wyrażenia

$P(\bar{x}; \bar{y})$; b są wielkościami statystycznymi z własnym polem rozrzutu.



Rys. 75 Proste regresji o różnym położeniu względem siebie.

Z uwagi na to, że w dostępnej autorowi literaturze nie znaleziono przykładów analizy statystycznej wyników badań zmęczenia w całym zakresie stosowanych obciążeń, wobec czego przyjęto następujący model analizy:

- wyniki badań zmęczenia połączono w odpowiednie grupy w zależności od rodzaju czynnika, którego wpływ w danej chwili rozpatrywano,
- przeprowadzono analizę statystyczną wpływu czynnika na żywotność zmęczeniową na poziomie naprężenia $\bar{G} = 18,6 \text{ daN/mm}^2$ (test to porównania kilku średnich). Wybrany poziom naprężenia był poziomem

średniej generalnej $\bar{x}$ lub poziomem bardzo do niej zbliżonym,

- przeprowadzone analizę statystyczną wpływu czynnika na zmianę współczynnika kierunkowego b prostych regresji (test do porównywania kilku współczynników regresji),
- porównując żywotności na badanym poziomie naprężenia i współczynniki regresji, wnioskowano o wzajemnym położeniu prostych a w dalszej kolejności o wpływie badanego czynnika na żywotność zmęczeniową w całym zakresie stosowanych obciążeń.

a. Sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

Zastosowanie poniżej podanych testów wymaga, by wariancje oszacowywania były jednorodne [22, 29, 45].

O jednorodności względnie niejednorodności kilku badanych wariancji wnioskowano na podstawie testu

χ^2 - Bartletta [45].

Wartość χ^2 obliczono według wzoru:

$$\chi^2 = 2,3026 \left\{ \lg(\bar{s}^2) \cdot \sum_{m=1}^L j_m - \sum_{m=1}^L j_m \cdot \lg [s^2(\hat{y})_m] \right\}$$

w którym:

$$\bar{S}^2 = \frac{\sum_{m=1}^L (\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2)}{\sum_{m=1}^L j_m}$$

$$s^2(\hat{y})_m = \frac{\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2}{j_m}$$

m - indeks grupy,

l - ilość grup,

j_m - stopnie swobody w grupie,

s²($\hat{y}$)_m - wariancja oszacowywania w grupie,

$\sum \sum y^2$; $\sum \hat{y}^2$ - błąd i reszkowa suma kwadratów.

Wartość χ^2 jest zawyżona, więc korygowano ją przez obliczenie poprawki C

$$C = 1 + \frac{1}{3(n_m - l)} \left[\sum_{m=1}^L \frac{1}{j_m} - \frac{1}{\sum_{m=1}^L j_m} \right]$$

uzyskując ostateczną wartość χ_c^2 :

$$\chi_c^2 = \frac{\chi^2}{C}$$

O jednorodności wariancji wnioskowane przez porównanie obliczonej wartości χ^2_c z wartością $\chi^2_{\alpha; l-1}$ odczytaną z tablic (tabl. 5.1. [45]).

b. Sprawdzenie istotności wpływu badanego czynnika na żywotność zmęczeniową materiału dla wybranego poziomu naprężenia.

Sprawdzenie istotności wpływu badanego czynnika na żywotność zmęczeniową, dokonano przez zastosowanie testu wariancyjnego dla kilku średnich [45].

Wartość funkcji testowej F^0 obliczano w zależności

$$F^0 = s^2_{MG} : s^2_{WG} \quad H_0 : s^2_{MG} = s^2_{WG}$$

w której oszacowania wariancji wynoszą:

$$s^2_{MG} = \frac{\sum y_{MG}^2}{j_{MG}} \quad s^2_{WG} = \frac{\sum y_{WG}^2}{j_{WG}}$$

Suma kwadratów odchylen między grupami $\sum y_{MG}^2$ i suma kwadratów odchylen wewnątrz grup $\sum y_{WG}^2$ wynoszą:

$$\sum y_{MG}^2 = \sum \frac{T_m^2}{n_m} - \frac{(\sum Y)^2}{K}$$

$$\sum y_{WG}^2 = \sum Y^2 - \sum \frac{T_m^2}{n_m}$$

w których:

m - indeks grupy

n_m - ilość próbek w m -tej grupie

$$T_m = \sum_{j=1}^p y_{ij}$$

$$\sum Y^2 = \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^p y_{ij}^2$$

$$\sum Y = \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^p y_{ij}$$

$$K = \sum_{m=1}^L n_m$$

j - j -ty poziom naprężenia

i - indeks próbki na j -tym poziomie naprężenia.

y_{ij} - logarytm żywotności na j -tym poziomie naprężenia

i - tej próbki.

Jeżeli spełnimy zostak warunek:

$$F_{j_{MS}; j_{WS}; \alpha} < F^0 < \frac{1}{F_{j_{WS}; j_{MS}; \alpha}}$$

to z maksymalnym prawdopodobieństwem 2α popełnienia

błędu wnioskowane o istotności wpływu badanego czynnika.

$F_{J_{MG} : J_{WG} : \alpha}$ - wartość odczytana z tabeli
F. Snedecera (tabl. 15 [39]) dla
prawdopodobieństwa 2α

$$J_{MG} = l - 1 ; J_{WG} = k - 1$$

stopniach swobody.

Wyniki zastosowanego testu wraz z odpowiednim wnioskiem zamieszczono w części A odpowiedniej tabeli.

W części B wyżej wymienionej tabeli podano wyniki zmodyfikowanego testu rozstępu Duncana [22, 29]. Celem zastosowania testu Duncana było stwierdzenie, pomiędzy którymi średnimi żywotności badanej grupy różnica żywotności była istotna. Według tego testu różnica między dwoma średnimi żywotnościami wybranymi z uporządkowanego szeregu według rosnących wartości jest istotna, jeśli przekracza wartość iloczynu

$$R_p = R'_p \sqrt{\frac{n_m + n_p}{2 n_m n_p}}$$

w którym

$$R'_p = \sqrt{s_{wg}^2} \cdot D_{\alpha; p; j_{wg}}$$

gdzie

s_{wg}^2 - wariancja wewnątrz grup,

$n_m ; n_p$ - ilość replikacji na podstawie których
wyznaczono badane średnie,

$D_{\alpha; p; j_{WG}}$ - wartość statystyki D , odczytanej z tablic (tabl. 6 [29]) dla prawdopodobieństwa $1 - \alpha$, stopni swobody j_{WG} , oraz ilości średnich p jaką zawiera podgrupa ograniczona rozpatrywanymi średnimi wraz z tymi średnimi.

Wniosek z powyższego testu przedstawiono w tabeli graficznej - średnie podkreślone nie różnią się istotnie, którekolwiek nie podkreślone są istotnie różne.

c. Sprawdzenie istotności wpływu badanego czynnika na zmianę współczynnika regresji.

W celu porównania kilku współczynników regresji, zastosowano wariancyjny test opracowany przez Snedecora [45]. Metoda ta polega na wyznaczeniu sumy kwadratów odchyleń od:

- najlepiej dobranej prostej prowadzonej przez wszystkie zbiory badanej grupy,
- najlepiej dobranych prostych przez poszczególne zbiory ze wspólnym oszacowaniem współczynnika regresji,
- najlepiej dobranych prostych przez poszczególne zbiory, każda z własnym współczynnikiem regresji.

Porównanie każdej sumy kwadratów (przy jej stopniach

swobody) z najmniejszą sumą kwadratów dla każdej prostej oddzielnie, daje stosunek wariancji, do którego stosujemy test F.

Przeprowadzone obliczenia zawarto w odpowiednich tabelach w których części A i B zawierają zestawienie danych wraz z częściowymi obliczeniami, a część C zawiera przeprowadzoną analizę wariancyjną.

Nowymi wielkościami w części B tabeli są sumy kwadratów odchyleń dla średnich i różnic, które obliczamy z następujących wzorów:

- dla średnich:

$$\sum \bar{x}^2 = \frac{\left(\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij1}\right)^2}{n_1} + \dots + \frac{\left(\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ijm}\right)^2}{n_m} - \frac{\left(\sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ijm}\right)^2}{\sum_{m=1}^L n_m}$$

$$\sum \bar{y}^2 = \frac{\left(\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij1}\right)^2}{n_1} + \dots + \frac{\left(\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ijm}\right)^2}{n_m} - \frac{\left(\sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ijm}\right)^2}{\sum_{m=1}^L n_m}$$

$$\sum \bar{x} \bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij1} \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij1}}{n_1} + \dots + \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ijm} \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ijm}}{n_m} + \dots$$

$$\dots - \frac{\sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ijm} \cdot \sum_{m=1}^L \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ijm}}{\sum_{m=1}^L n_m}$$

w których

- m - ilość grup w rozpatrywanym zbierze
 n_1, n_m - ilość próbek w danej grupie
 y_{ijm} - logarytm żywotności i-tej próbki na j-tym poziomie naprężenia dla m-tej grupy

- dla różnic:

$$\sum' x_R^2 = \sum_{m=1}^L (\sum' x^2)_m$$

$$\sum' y_R^2 = \sum_{m=1}^L (\sum' y^2)_m$$

$$\sum' x y_R = \sum_{m=1}^L (\sum' x y)_m$$

Do obliczenia analizy wariancyjnej w części C tabeli oparte się na następujących wzorach:

- korelacja średnich $\sum' \hat{y}_m^2$

$$\sum' y_m^2 = \sum' \bar{y}^2 - \sum' \bar{c}^2$$

przy m-2 stopniach swobody

- między nachyleniami $\sum' \hat{y}_{MN}^2$

$$\sum' y_{MN}^2 = (\sum' \hat{y}^2 + \sum \sum' \hat{y}^2) - \sum_{\text{różnic } m=1}^L (\sum' \hat{y}^2 + \sum \sum' y^2)$$

przy m-1 stopniach swobody

- różnica $\sum' \hat{y}_R^2$

$$\sum' \hat{y}_R^2 = (\sum' \hat{y}^2 + \sum \sum' y^2)_{\text{OGÓŁEM}} - \sum' \hat{y}_m^2 - (\sum' \hat{y}^2 + \sum \sum' y^2)_{\text{RÓŻNIC}}$$

przy 1 stopniu swobody

- błąd $\sum' \hat{y}_b^2$

$$\sum' \hat{y}_b^2 = \sum_{m=1}^L (\sum' \hat{y}^2 + \sum \sum' y^2)$$

przy $\sum_{m=1}^L n_m - 2m$ stopniach swobody

Wartość funkcji testowych F_1^0 ; F_2^0 ; F_3^0 obliczane

z następujących zależności:

$$F_1^0 = s_{MN}^2 : s_b^2; \quad F_2^0 = s_M^2 : s_b^2; \quad F_3^0 = s_R^2 : s_b^2$$

Jeżeli spełniony został warunek

$$F_{j_{MN}; j_b; \alpha} < F_1^0 < \frac{1}{F_{j_b; j_{MN}; \alpha}}$$

to z maksymalnym prawdopodobieństwem 2α popełnienia

błędu, wnioskowane o nieistotności wpływu rozpatrywanego

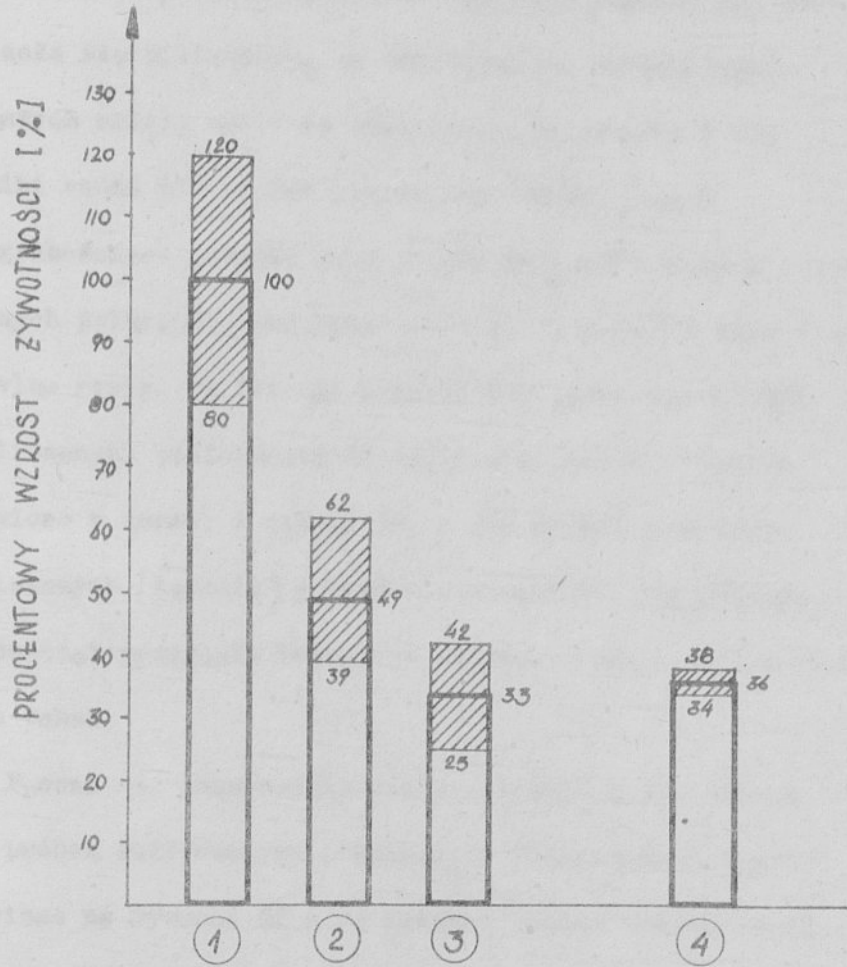
czynnika na współczynnik regresji, przyjmując, że proste

regresji są równoległe z łącznym nachyleniem

$$b_L = \frac{\sum_{m=1}^L (\sum' x y)}{\sum_{m=1}^L (\sum' x^2)}$$

Jeżeli spełniony został warunek

$$F_{j_R; j_b; \alpha} < F_3^0 < \frac{1}{F_{j_b; j_R; \alpha}}$$



Rys. 76 Wpływ rodzaju próbki na żywotność próbek niepowlekanych ($\sigma = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki szlifowane,
2. próbki drążone,
3. próbki toczone,
4. próbki toczone i drążone łącznie.

to z maksymalnym prawdopodobieństwem 2α popełnienia błędu, wnioskowano o istotnym wpływie badanego czynnika na żywotność zmęczeniową (przesunięcie prostych na osi $y = \lg N$) co daje zarazem sprawdzenie obliczeń przeprowadzonych w punkcie 6.1.b.

Istotność funkcji testowej F_2^0 wskazuje czy istnieje tendencja liniowa między średnimi generalnymi zbiorów. W zastosowanej analizie przypadku tego nie rozpatrywano, ze względu na to, iż średnie generalne narzucone zostały przez metodykę pomiaru.

6.2. Statystyczna analiza wyników badań zmęczenia -
- dyskusja i interpretacja.

Statystyczna analiza wyników badań zmęczenia obejmuje analizę następujących czynników:

- analizę wpływu rodzaju próbki (próbki niepowlekane typu A, B, C) na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową,
- analizę wpływu powłok oraz grubości powłok na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową,
- analizę wpływu zwiększonej objętości powłoki i sposobu powlekania na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową,
- analizę wpływu stanu warstwy powierzchniowej na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową,
- analizę wpływu rodzaju tworzywa sztucznego użytego do wykonania powłoki.

a. Analiza wpływu rodzaju próbki na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową.

Celem analizy było porównanie wyników badań zmęczeniowych dla trzech rodzajów próbek niepowlekanych A, B, C (grupa "próbki niepowlekane"), oraz podyktowane było koniecznością uzyskania informacji do dalszej analizy wpływu

stanu warstwy powierzchniowej zawartej w punkcie 6.2.d.

Wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej wpływu rodzaju próbki na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową zawarte w tabelach 46 - 48, wskazują na to, że:

- badane proste są równoległe ze współczynnikiem regresji $b_x = - 0,2998$,
- żywotności próbek toczonych B i drążonych C wyznaczone na poziomie naprężenia $\sigma = 18,6 \text{ daN/mm}^2$ nie różnią się istotnie między sobą,
- żywotność próbek szlifowanych A (wyznaczona na tym samym poziomie naprężenia) jest istotnie różna i większa od żywotności próbek toczonych B i drążonych C.

Wobec powyższego uznano, że żywotność próbek toczonych i drążonych w całym badanym zakresie obciążeń jest taka sama, a wyniki ich badań zmęczeniowych połączono w jedną grupę. Połączenie takie można uzasadnić tym, że w obu przypadkach badano to samo zjawisko - żywotność, a rozkłady żywotności mają wariancje i średnie nie różniące się w sposób istotny. Połączenie takie daje lepszą korelację, a tym samym lepsze oszacowanie wyników pomiarów. Obliczenie prostej regresji dla próbek toczonych i szli-

fowanych drążonych (łącznie) przedstawiono w części A tabeli 49, natomiast w części B tabeli sprawdzono słuszność przyjęcia korelacji liniowej.

Na rysunku 76 przedstawiono procentowe oszacowanie podanych żywotności na poziomie naprężenia $\bar{G} = 18,6 \text{ daN/mm}^2$, na którym za 100% przyjęto średnią żywotność próbek szlifowanych.

b. Analiza wpływu powłok oraz grubości powłok na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową.

Celem przeprowadzonej analizy było zbadanie wpływu powłoki i jej grubości na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową. Do analizy zestawiono grupy wyników w skład których wchodziły wyniki dla próbek niepowlekanych i powlekanych, otrzymane dla tego samego rodzaju próbki (A, B lub C) i tego samego tworzywa.

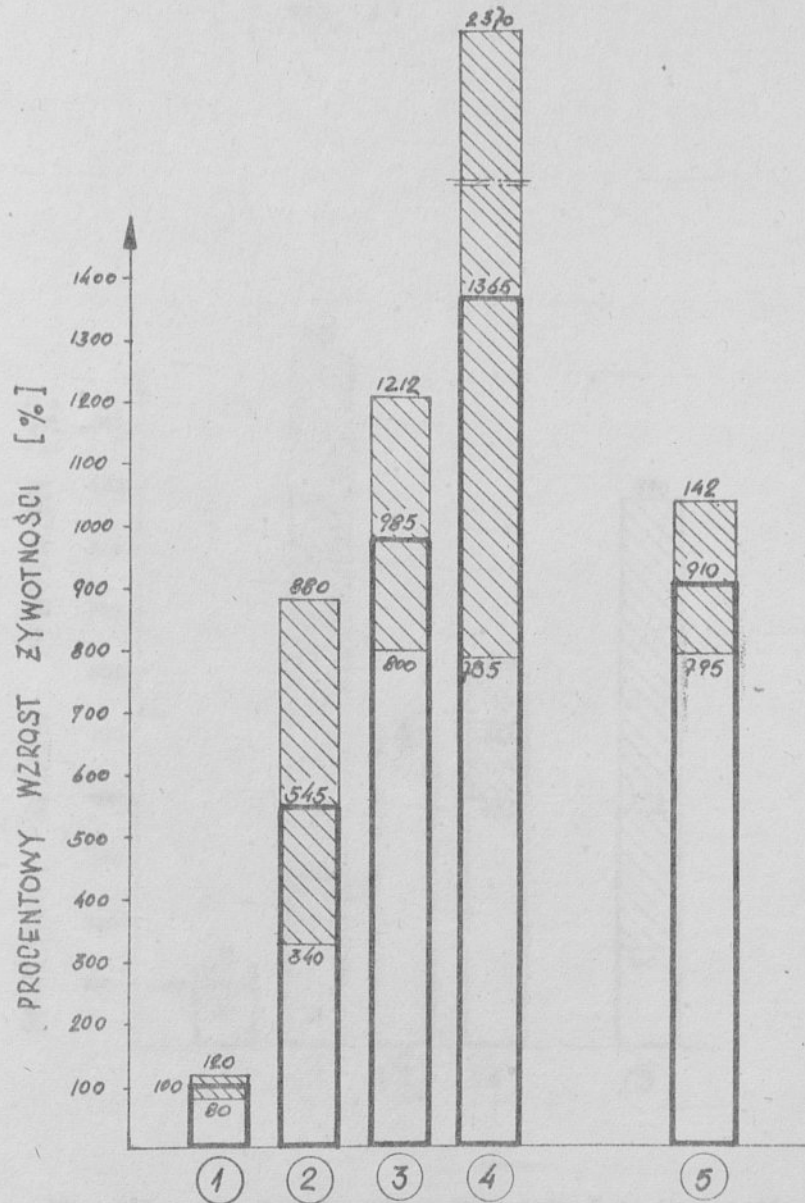
Przeprowadzona analiza statystyczna wpływu grubości powłok wykonanych z Poliamidu M nałożonych na próbki szlifowane (tabele 50 - 51) lub toczone (tabele 54 - 55) wykazała nieistotny wpływ grubości powłok na żywotność, jednakże wpływ samej powłoki okazał się istotny. Brak istotności wpływu grubości powłoki na żywotność tłumaczy się dużym rozrzutem wyników pomiarów, którego przyczyny

przeanalizowano w p. II.5.4.

Różnica między współczynnikami regresji (tabele 52, 56) okazała się nieistotna, co wskazuje, że badanie grupy prostych należy uznać za równoległe. W związku z tym wyniki badań dla próbek powlekanych Poliamidem M (o grubościach powłoki 0,02 - 0,08 mm) szlifowanych i toczonych połączono (podobnie jak w p. II.6.2a) w dwie oddzielne grupy. Obliczenie prostej korelacji dla próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M (łącznie) przedstawiono w części A tabeli 53, a dla próbek toczonych powlekanych (łącznie) w części A tabeli 57. Sprawdzenie słuszności przyjęcia korelacji liniowej podano w części B tych tabel.

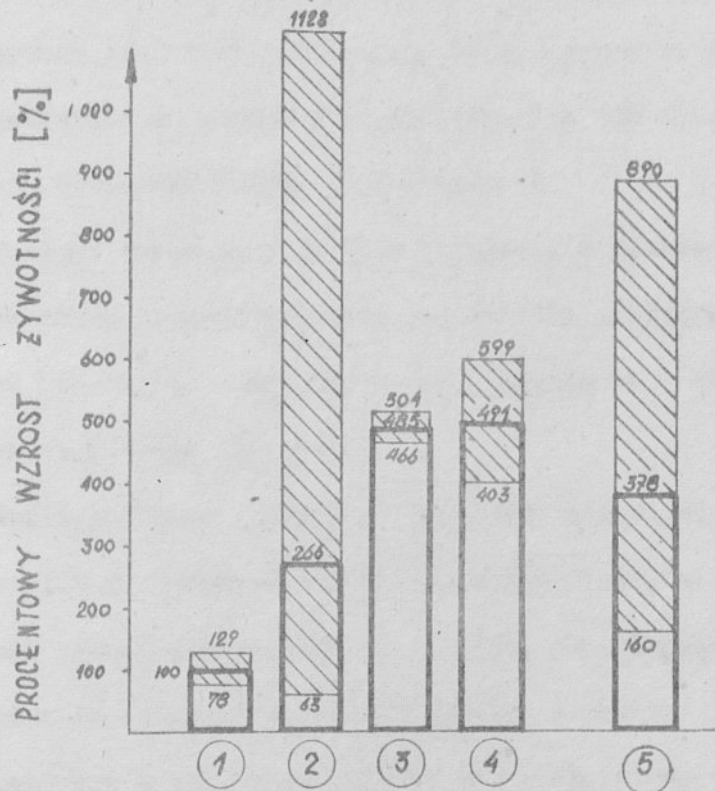
Procentowe oszacowanie wzrostu średnich żywotności dla próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M przedstawiono na rysunku 77 a na rysunku 78 dla próbek toczonych powlekanych. Na rysunkach tych średnią żywotność próbek niepowlekanych przyjęto równą 100 %.

W przypadku próbek drążonych powlekanych Poliamidem na zewnątrz wpływ powłoki na żywotność okazał się istotny, jednakże różnica pomiędzy żywotnościami dla grubości powłok 0,02 mm i 0,04 mm oraz 0,04 mm i 0,08 mm okazała się nieistotna a dla grubości 0,02 mm i 0,08 mm istotnie



Rys. 77 Wpływ grubości powłoki z Poliamidem M na żywotność próbek szlifowanych ($\sigma = 18,6 \text{ daN/mm}^2$)

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane powłoką o grubości 0,02 mm,
3. próbki powlekane powłoką o grubości 0,04 mm,
4. próbki powlekane powłoką o grubości 0,08 mm,
5. próbki powlekane łącznie.



Rys. 78 Wpływ grubości powłoki z Poliamidu M na żywotność próbek toczonych ($G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane powłoką o grubości 0,02 mm
3. próbki powlekane powłoką o grubości 0,04 mm
4. próbki powlekane powłoką o grubości 0,08 mm
5. próbki powlekane łącznie.

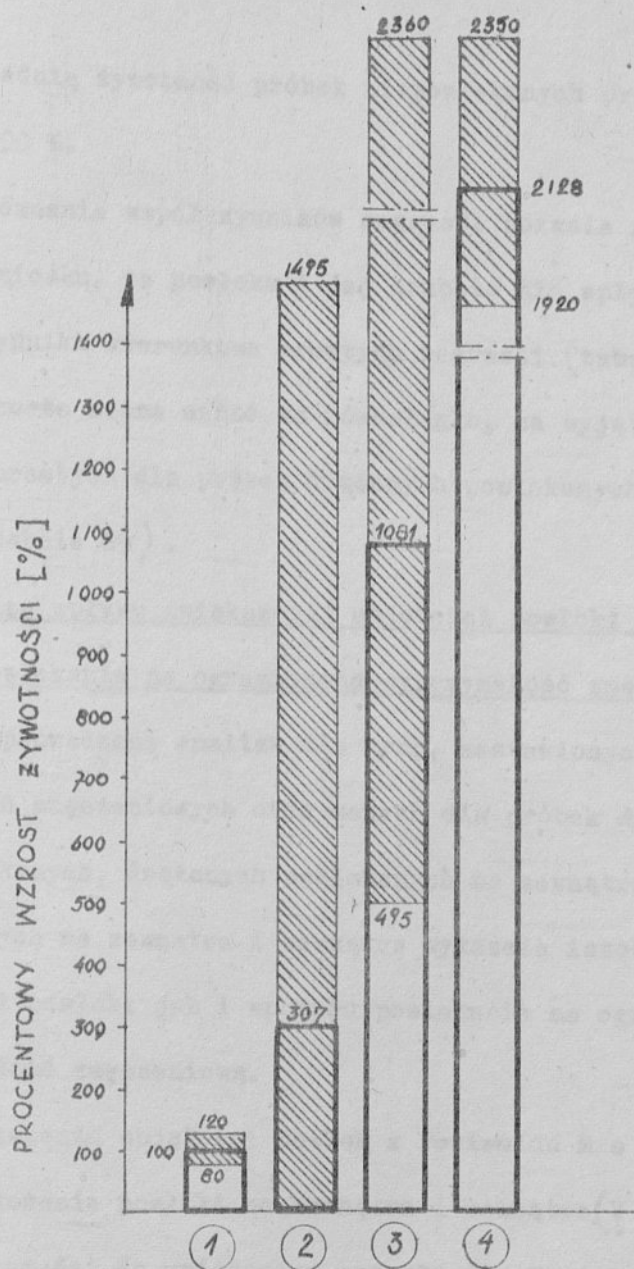
różna (tabela 58 - 59). Powłoka i jej różne grubości nie wpływają na zmianę współczynnika regresji - proste są równoległe (tabela 60).

Procentowe oszacowanie wzrostu średnich żywotności dla próbek drażonych powlekanych Poliamidem M na zewnątrz przedstawiono na rysunku 79, na którym za 100% przyjęto średnią żywotność próbek niepowlekanych.

Powłoki wykonane z Epidianu 1 wykazały istotny wpływ na żywotność zmęczeniową mosiądzu M63 dla próbek szlifowanych (tabela 61 - 62), toczonych (tabela 64 - 65) oraz drażonych (tabela 67 - 68).

Wpływ grubości powłoki na żywotność okazał się we wszystkich przypadkach istotny z jednym wyjątkiem - żywotność próbek niepowlekanych szlifowanych okazała się nieistotnie różna od żywotności próbek powlekanych grubością tworzywa $g = 0,08$ mm (tabela 62). Przypadek ten należy usprawiedliwić złą jakością warstwy tworzywa, spowodowaną powstaniem drobnych (nielicznych) pęcherzyków powietrza w powłoce podczas powlekania.

Procentowe oszacowanie wzrostu średnich żywotności dla próbek powlekanych Epidianem 1 szlifowanych oraz toczonych przedstawiono na rysunkach 80 - 81. Na rysunkach



Rys. 79 Wpływ grubości powłoki z Poliamidu M na żywotność próbek drażonych ($\sigma = 18,6 \text{ daN/mm}^2$)

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane na zewnątrz powłoką o grubości 0,02 mm
3. próbki powlekane na zewnątrz powłoką o grubości 0,04 mm
4. próbki powlekane na zewnątrz powłoką o grubości 0,08 mm.

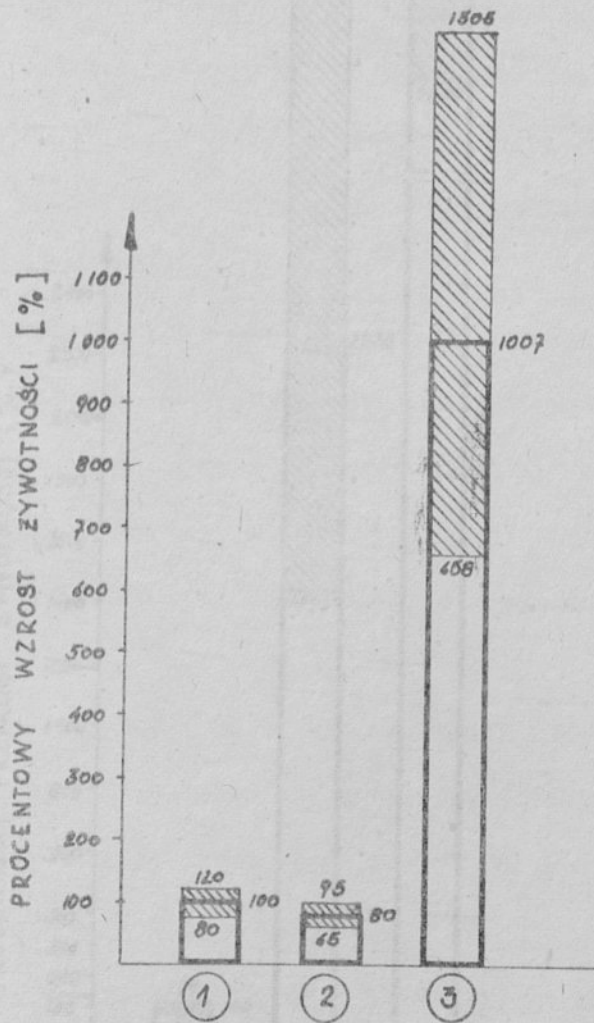
tych średnią żywotność próbek niepowlekanych przyjęto równą 100 %.

Porównanie współczynników regresji pozwala na przyjęcie wniosku, że powłoka i jej grubość nie wpływa na współczynniki kierunkowe prostych regresji (tabele 63, 66) - proste można uznać za równoległe, za wyjątkiem badanych prostych dla próbek drażonych powlekanych na zewnątrz (tabela 69).

c. Analiza wpływu zwiększonej objętości powłoki i sposobu powlekania na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową.

Przeprowadzona analiza dla grup, zestawionych z wyników badań zmęczeniowych otrzymanych dla próbek drażonych niepowlekanych, drażonych powlekanych na zewnątrz oraz powlekanych na zewnątrz i wewnątrz wykazała istotny wpływ objętości powłoki jak i sposobu powlekania na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową.

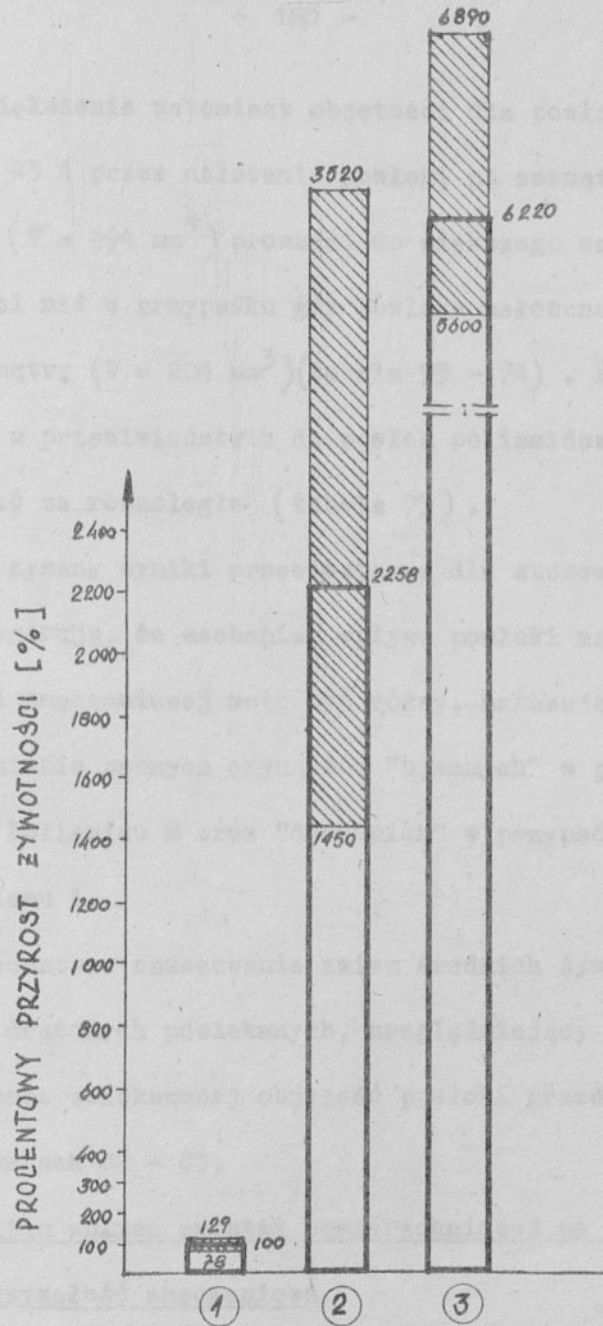
Zwiększenie objętości powłok z Poliamidu M o 43 % przez nałożenie powłoki na zewnątrz i wewnątrz ($V = 131 \text{ mm}^3$) próbki prowadzi do mniejszego wzrostu żywotności niż w przypadku gdy powłoka nałożona jest tylko na zewnątrz ($V = 91 \text{ mm}^3$) (tabela 70 - 71). Z dalszej analizy wynika (tabela 72), że wszystkie rozpatrywane proste można uznać za równoległe.



Rys. 80

Wpływ grubości powłoki z Epidianu 1 na żywotność próbek szlifowanych ($G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane powłoką o grubości $0,08 \text{ mm}$,
3. próbki powlekane powłoką o grubości $0,18 \text{ mm}$.



Rys. 81 Wpływ grubości powłoki z Epidianu 1 na żywotność próbek toczonych ($G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane powłoką o grubości 0,08 mm,
3. próbki powlekane powłoką o grubości 0,18 mm.

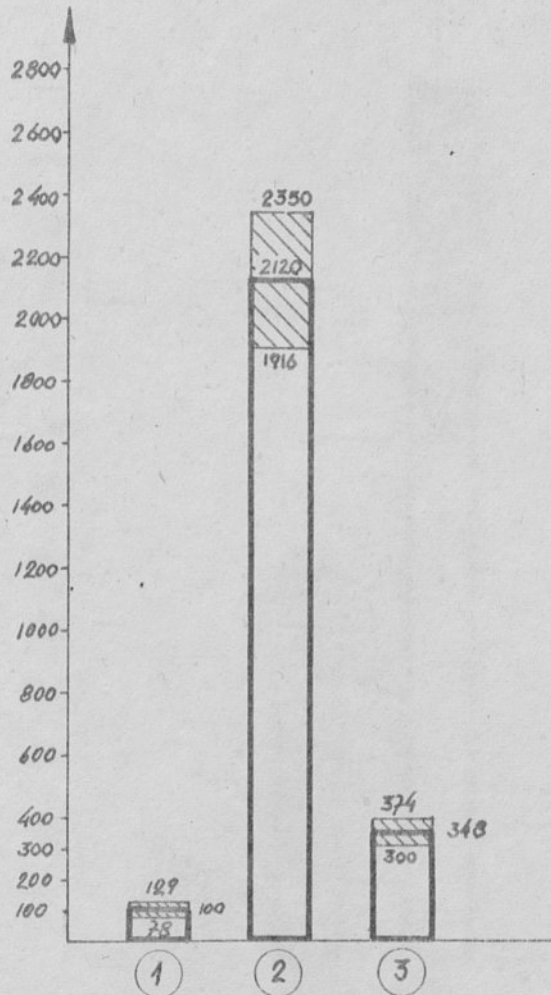
Zwiększenie natomiast objętości dla powłok z Epidianu 1 o 43 % przez nałożenie powłoki na zewnątrz i wewnątrz próbki ($V = 294 \text{ mm}^3$) prowadzi do większego wzrostu żywotności niż w przypadku gdy powłoka nałożona jest tylko na zewnątrz ($V = 204 \text{ mm}^3$) (tabela 73 - 74) . Proste korelacji w przeciwieństwie do powłok poliamidowych nie można uznać za równoległe (tabela 75) .

Otrzymane wyniki przeciwstawne dla stosowanych tworzyw sugerują, że mechanizm wpływu powłoki na proces dekohezji zmęczeniowej może być różny, wskazując tym samym na istnienie pewnych czynników "ujemnych" w przypadku powłok z Poliamidu M oraz "dodatnich" w przypadku powłok z Epidianu 1.

Procentowe oszacowanie zmian średnich żywotności dla próbek drażnionych powlekanych, uwzględniający sposób powlekania oraz zwiększonej objętość powłoki przedstawiono na rysunkach 82 - 83.

d. Analiza wpływu warstwy powierzchniowej na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową.

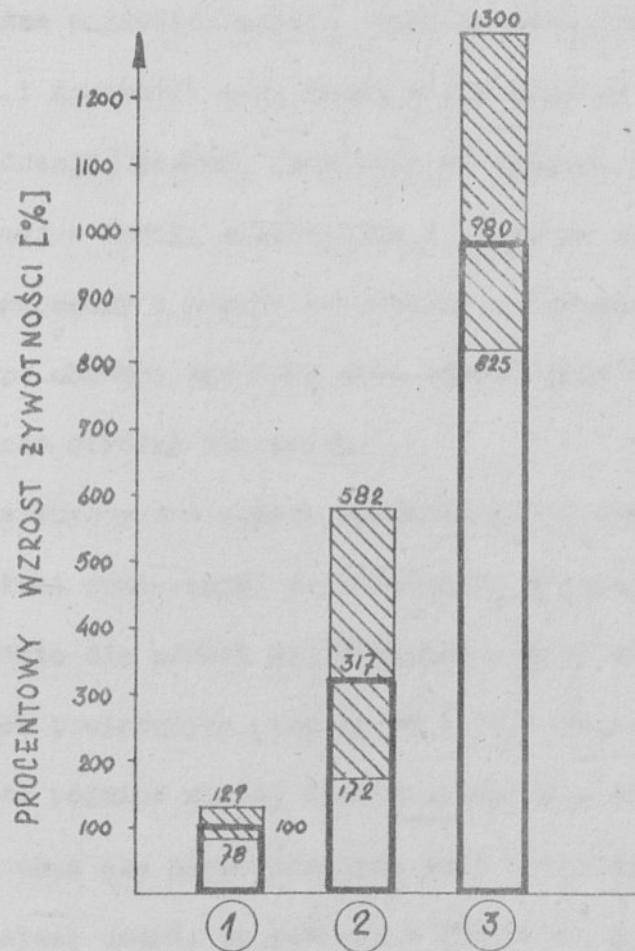
Wpływ warstwy powierzchniowej na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową przeanalizowano przez porównanie grup wyników otrzymanych dla próbek szlifowanych, niepowlekanych, toczonych niepowlekanych oraz szlifowanych powlekanych i



Rys. 82

Wpływ zwiększonej objętości i sposobu powlekania na żywotność próbek drażnionych powlekanych Poliamidem M ($g = 0,08 \text{ mm}$, $G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane na zewnątrz,
3. próbki powlekane na zewnątrz i wewnątrz.



Rys. 83 Wpływ zwiększonej objętości i sposobu powlekania na żywotność próbek drążonych powlekanych Epidianem 1 ($g = 0,18 \text{ mm}$, $G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane na zewnątrz,
3. próbki powlekane na zewnątrz i wewnątrz.

toczonych powlekanych dla grubości tworzyw 0,08 mm - Poliamid M i 0,18 mm - Epidian 1.

Stan warstwy powierzchniowej będzie określony głównie przez różną mikronierówność (chropowatość) próbek szlifowanych i toczonych oraz przez różny stopień przyczepności (adhezji) powłok. Inny stopień zgniotu warstwy powierzchniowej w wyniku szlifowania i toczenia należy uznać za drugorzędny z powodu stosowania wyżarzania odprężającego po obróbce zgrubnej oraz odpowiednio dobranych parametrów obróbki toczeniem.

Analiza statystyczna różnic średnich żywotności dla grupy z próbkami powlekаныmi Poliamidem M, wykazała nieistotność różnic dla próbek szlifowanych niepowlekanych oraz toczonych powlekanych (tabela 76 - 77). Należy zaznaczyć tu, że różnica między żywotnościami dla wyżej wymienionych próbek ale niepowlekanych jest istotna. Wobec powyższego należy uznać, że powłoka z Poliamidu M naniesiona na próbki toczone zrównuje ich żywotność z żywotnością próbek szlifowanych niepowlekanych. Obserwowane zjawisko jest ważne w całym zakresie stosowanych obciążeń, w wyniku przyjęcia równoległości prostych korelacji na podstawie statystycznej analizy wpływu badanego czyn-

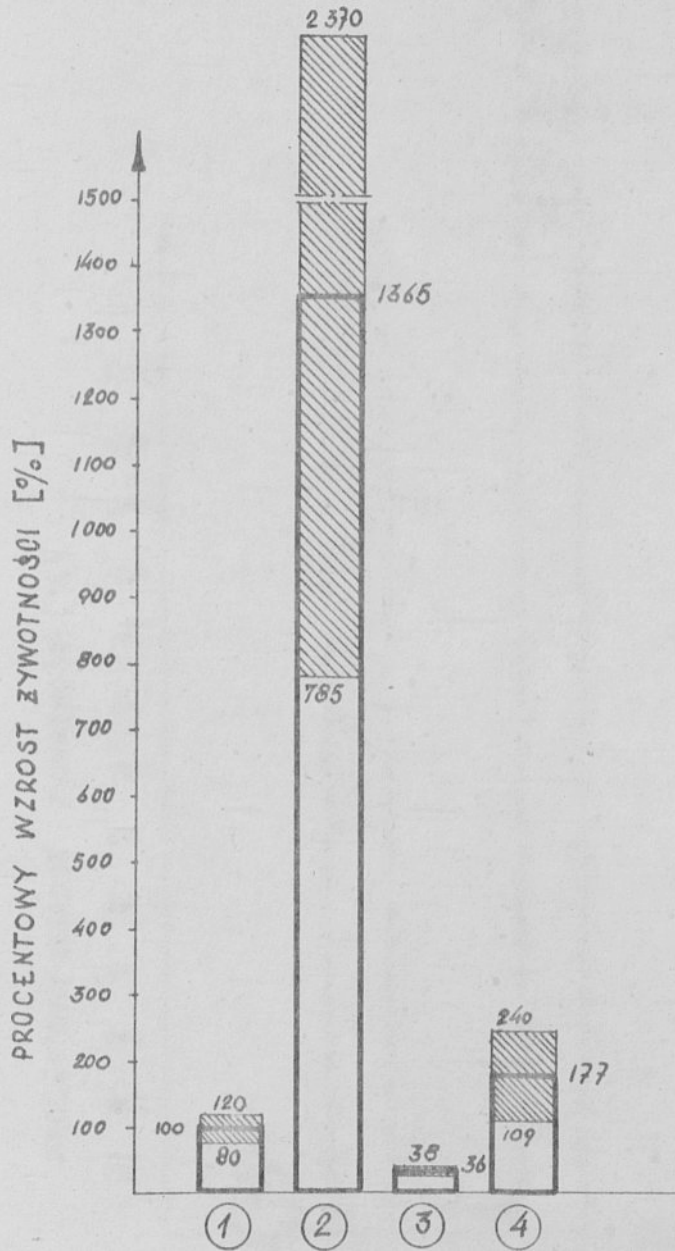
nika na współczynnik korelacji (tabela 78).

Największą średnią żywotność w tej grupie wyników uzyskały próbki powleczone po obróbce szlifowaniem. Pokazano to na rysunku 84 przedstawiającym procentowe oszacowanie średnich żywotności na którym żywotność 100 % przyjęto dla próbek szlifowanych niepowlekanych.

Przeprowadzona analiza wpływu warstwy powierzchniowej i powłoki z Poliamidu M wskazuje, że najkorzystniejszy wzrost żywotności uzyskuje się w przypadku próbek po obróbce szlifowaniem.

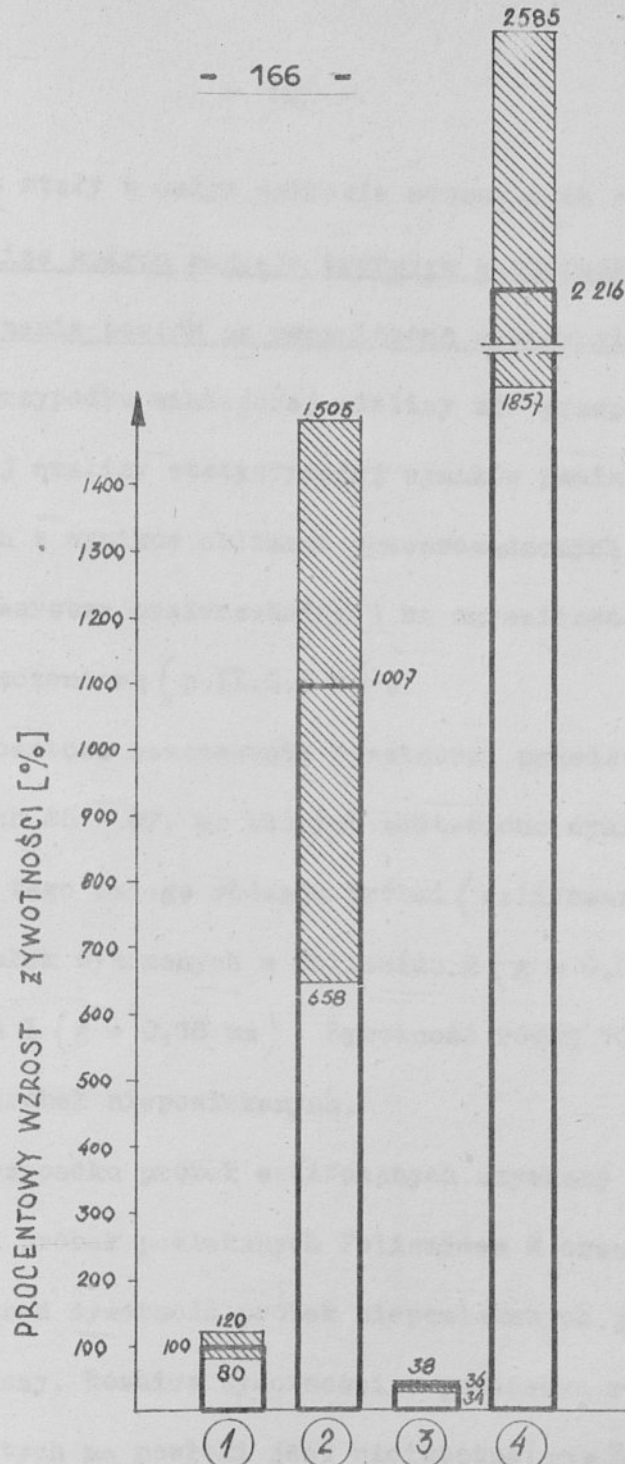
Analiza statystyczna różnic średnich żywotności dla grupy z próbkami powlekanyymi Epidianem 1, wykazała istotność różnic pomiędzy żywotnościami badanej grupy (tabela 79 - 80). Procentowe oszacowanie średnich żywotności przedstawiono na rysunku 85 na którym żywotność 100 % przyjęto dla próbek szlifowanych niepowlekanych. Na podstawie przeprowadzonych badań wynika, że w przypadku powłok z Epidianu 1 najkorzystniejszy wzrost żywotności uzyskuje się dla próbek po obróbce toczeniem.

Przeprowadzona w tabeli 81 analiza wpływu badanego czynnika na zmianę współczynnika kierunkowego prostych regresji wskazuje, że proste (krzywe Wöhlera) należy uznać za równoległe, czyli że obserwowany wzrost żywotnoś-



Rys. 84 Wpływ stanu warstwy powierzchniowej na żywotność próbek powlekanych Poliamidem M ($g = 0,18$, $G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki szlifowane niepowlekane,
2. próbki szlifowane powlekane,
3. próbki toczone niepowlekane,
4. próbki toczone powlekane.



Rys. 85 Wpływ stanu warstwy powierzchniowej na żywotność próbek powlekanych Epidianem 1 ($g = 0,18 \text{ mm}$, $G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki szlifowane niepowlekane,
2. próbki szlifowane powlekane,
3. próbki toczone niepowlekane,
4. próbki toczone powlekane.

ci jest stały w całym zakresie stosowanych obciążeń.

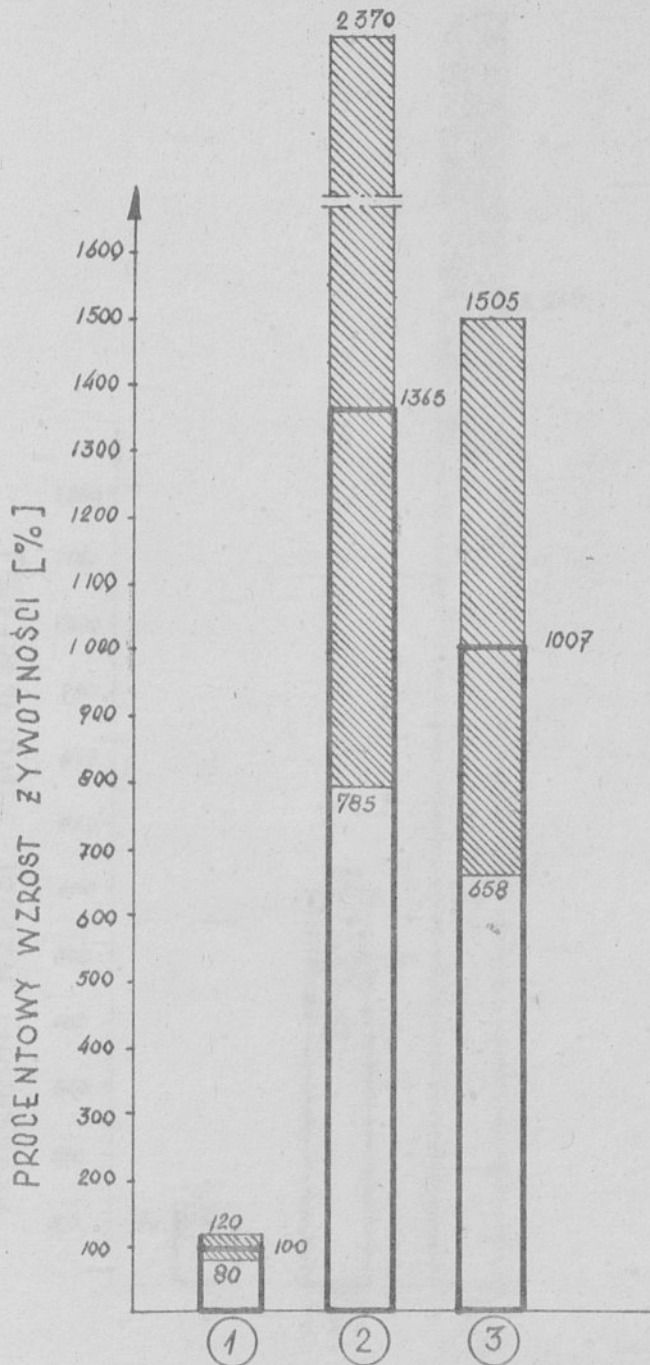
e. Analiza wpływu rodzaju tworzywa sztucznego użytego do wykonania powłok na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową.

W przypadku niniejszej analizy nie przeprowadzano odrębnej analizy statystycznej wyników pomiarów. Skorzystano tu z wyników obliczeń przeprowadzonych dla analizy wpływu warstwy powierzchniowej na ograniczoną wytrzymałość zmęczeniową (p.II.6.2.d).

Procentowe oszacowanie żywotności przedstawiono na rysunkach 86 - 87, na których zestawiono wyniki pomiarów dla tego samego rodzaju próbki (szlifowane, toczone) oraz powłok wykonanych z Poliamidu M ($g = 0,08 \text{ mm}$) oraz Epidianu 1 ($g = 0,18 \text{ mm}$). Żywotność równą 100 % przyjęto dla próbek niepowlekanych.

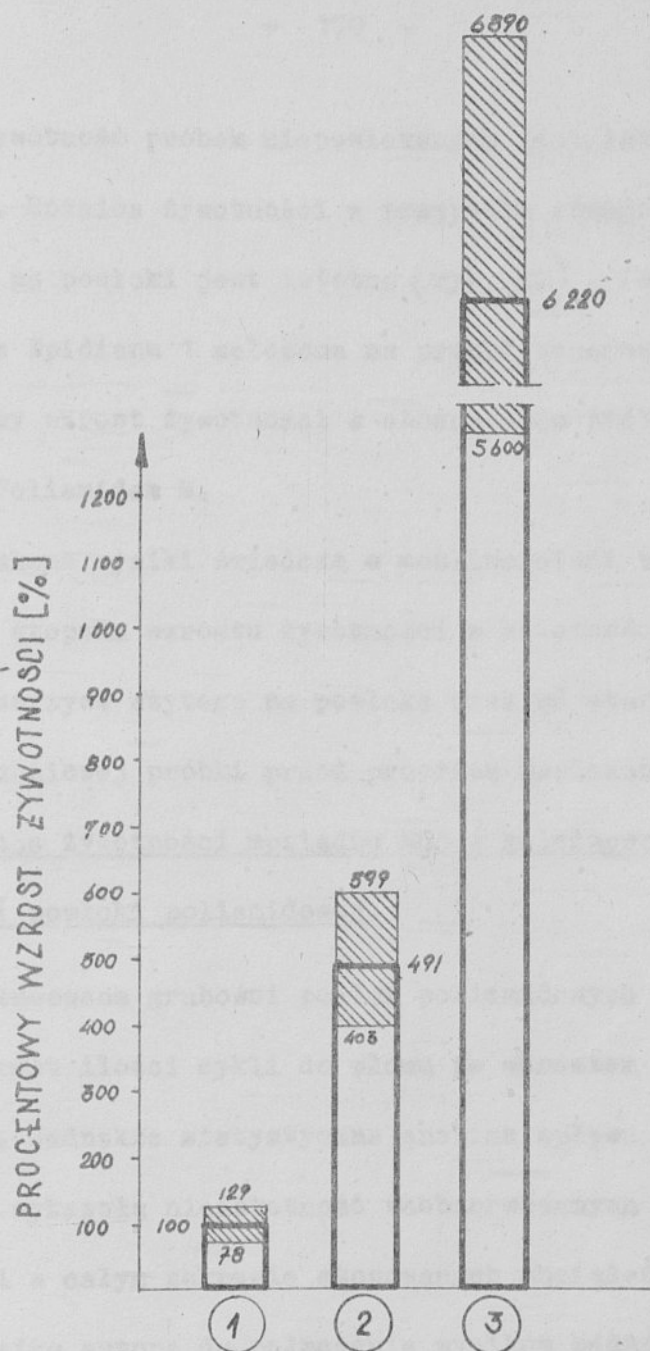
W przypadku próbek szlifowanych uzyskany wzrost żywotności próbek powlekanych Poliamidem M oraz Epidianem 1 ponad żywotność próbek niepowlekanych jest istotnie większy. Różnica żywotności w przypadku różnych tworzyw użytych na powłoki jest nieistotna (rys.86) chociaż w przypadku powłok z Poliamidu M uzyskano większe żywotności niż dla powłok z Epidianu 1.

W przypadku próbek toczonych uzyskany wzrost żywotności próbek powlekanych Poliamidem M oraz Epidianem 1



Rys. 86 Wpływ rodzaju tworzywa na żywotność próbek szlifowanych ($G = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane Poliamidem M,
3. próbki powlekane Epidianem 1.



Rys. 87 Wpływ rodzaju tworzywa na żywotność próbek teczonych ($\sigma = 18,6 \text{ daN/mm}^2$):

1. próbki niepowlekane,
2. próbki powlekane Poliamidem M,
3. próbki powlekane Epidianem 1.

ponad żywotność próbek niepowlekanych jest istotnie większy. Różnica żywotności w przypadku różnych tworzyw użytych na powłoki jest istotna (rys. 87). Powłoka wykonana z Epidianu 1 nałożona na próbki toczzone powoduje 12-krotny wzrost żywotności w stosunku do próbek powlekanych Poliamidem M.

Uzyskane wyniki świadczą o możliwościach uzyskania różnego stopnia wzrostu żywotności w zależności od rodzaju tworzywa użytego na powłokę oraz od stanu warstwy powierzchniowej próbki przed procesem powlekania.

f. Funkcja żywotności mosiądzu M63 w zależności od grubości powłoki poliamidowej.

Zastosowane grubości powłok poliamidowych spowodowały wzrost ilości cykli do złomu ze wzrostem grubości powłoki. Jednakże statystyczna analiza wpływu grubości powłoki wykazała nieistotność zaobserwowanych różnic żywotności w całym zakresie stosowanych obciążeń. To z kolei zmusiło autora do połączenia wyników badań i wypróbowania wspólnego równania krzywej Wöhlera dla stosowanych grubości powłok.

W świetle badań zmian strzałki ugięcia i temperatury samowzbudnej w trwającym procesie zmęczenia, należałoby oczekiwać, że grubość powłoki w istotny sposób powinna

wpływać na żywotność zmęczeniową próbki.

Przeprowadzona analiza rozrzutu wyników pomiarów (p. II.5.4) wskazała na przyczynę powstania tak dużej dyspersji wyników wokół wartości średnich żywotności, która uniemożliwiła wykazanie wpływu grubości powłoki na żywotność zmęczeniową.

Wzrost żywotności wraz z grubością powłoki powinien posiadać pewną granicę, chociażby z tego względu, że grubość powłoki nie może rosnać w nieskończoność. Ilustracją tej hipotezy są wykresy zmiany średniej żywotności na poziomie naprężenia $\bar{\sigma} = 18,6 \text{ daN/mm}^2$ w funkcji grubości powłoki (rys. 88 - 90).

Na rysunkach tych dla próbek niepowlekanych przyjęto grubość powłoki równą zero.

Dla ilościowego opisanie zjawiska przyjęto, że żywotność naprężenia mosiądzu M63 (na poziomie $\bar{\sigma} = 18,6 \text{ daN/mm}^2$) w funkcji grubości powłoki jest opisana krzywą drugiego stopnia o ogólnym równaniu

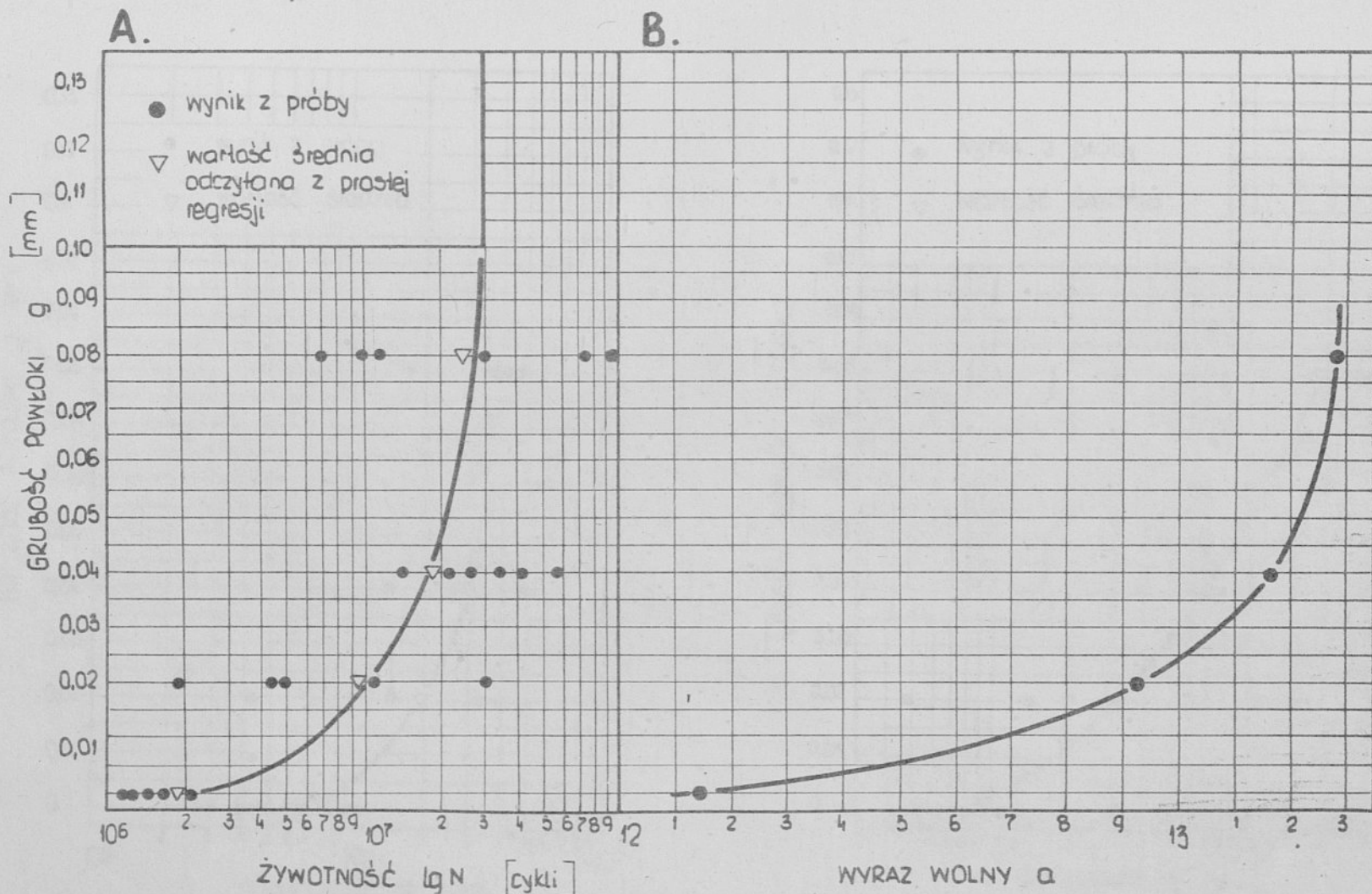
$$\lg N_0 = a_0 + b_0 g + c_0 g^2 ; \quad \bar{\sigma} = \text{const}$$

w którym:

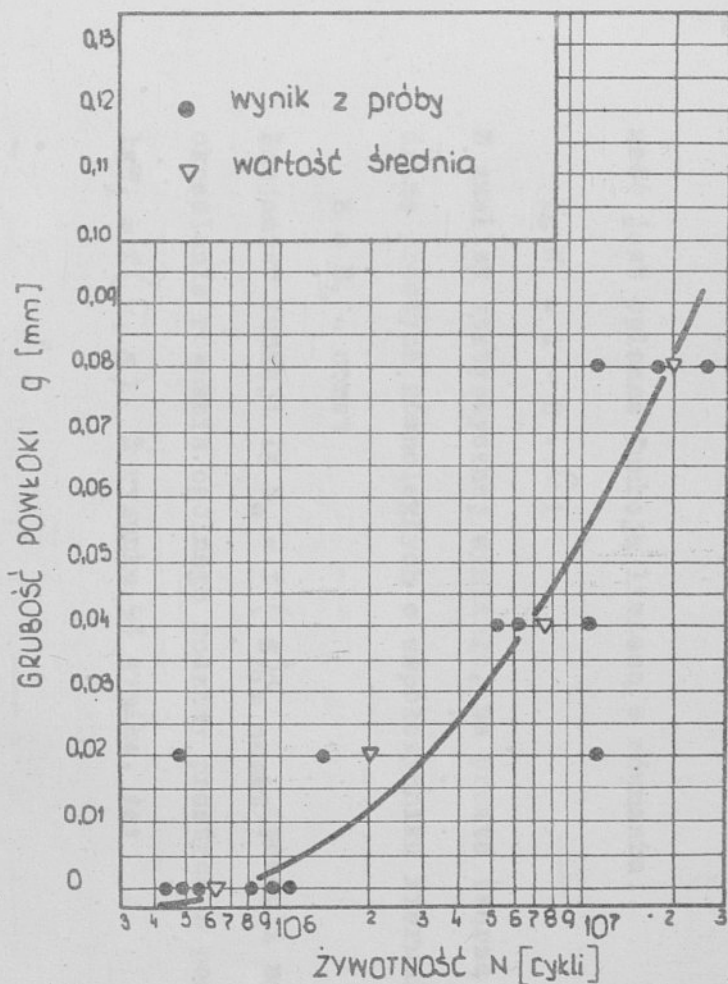
a_0, b_0, c_0 - stałe charakterystyczne równania,

g - grubość powłoki.

W zakresie ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej żywot-



Rys. 88 Zmiany średniej żywotności próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M w funkcji grubości powłoki
A - zmiany średnich żywotności,
B - zmiany współczynnika a_0 prostych regresji.



Rys. 90 Zmiany średnich żywotności próbek drażnionych powlekanych na zewnątrz Poliamidem M w funkcji grubości powłoki.

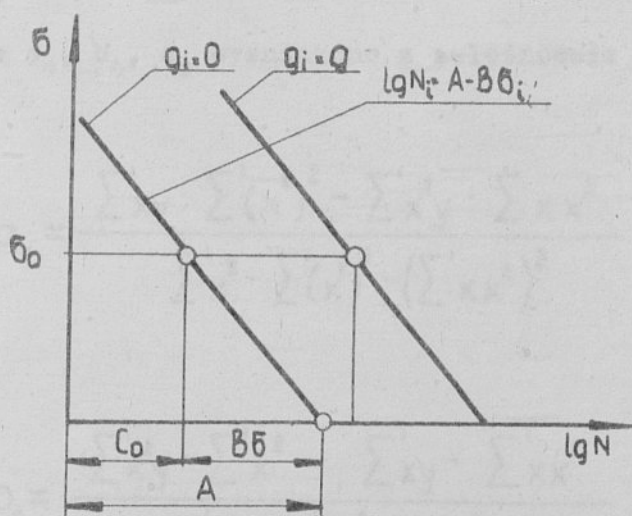
ność jest opisana funkcją liniową o równaniu:

$$\lg N_1 = A - B \cdot \zeta_1$$

Z analizy statystycznej wynikało, że proste tworzą rodzinę prostych równoległych o współczynniku kierunkowym

$$B = B_L = \text{const}$$

Znajomość funkcji $\lg N_0 = f(\zeta)_{\zeta = \text{const}}$ pozwoli na określenie równania ogólnego rodziny prostych w postaci $\lg N_1 = f(\zeta, \zeta_0)$. Z rysunku 91 wynika, że:



Rys. 91. Krzywe Wohlera dla niepowlekanych i powlekanych próbek o różnej grubości powłoki.

$$\lg N_0 = a_0 + b_0 \zeta + c_0 \zeta^2 = A - B_L \cdot \zeta_0$$

Obliczając stałą A otrzymamy:

$$A = a_0 + b_0 g + c_0 g^2 + B_L \cdot G_0$$

a stąd

$$\lg N_1 = (a_0 + B_L \cdot G_0) + b_0 g_1 + c_0 g_1^2 - B_L \cdot G_i$$

czyli

$$\lg N_1 = a'_0 + b_0 g_1 + c_0 g_1^2 - B_L \cdot G_i$$

Wyznaczenie funkcji $\lg N = f(g)$ $G = \text{const}$

przeprowadzono metodą najmniejszych kwadratów [45]

dla wartości średnich żywotności (próbki toczono i drążono) lub bezpośrednio dla parametru a' próbki szlifowane.

Stałe a_0 , b_0 , c_0 wyznaczono z zależności:

$$a_0 = \frac{\sum' xy \cdot \sum' (x^2)^2 - \sum' x^2 y \cdot \sum' x x^2}{\sum' x^2 \cdot \sum' (x^2)^2 - (\sum' x x^2)^2}$$

$$b_0 = \frac{\sum' x^2 y \cdot \sum' x^2 - \sum' xy \cdot \sum' x x^2}{\sum' x^2 \cdot \sum' (x^2)^2 - (\sum' x x^2)^2}$$

$$c_0 = \bar{y} - a_0 \bar{x} - b_0 \overline{(x^2)}$$

w którym sumy kwadratów odchyleń $\sum'$ obliczono z wzorów analogicznych jak przy regresji prostoliniowej.

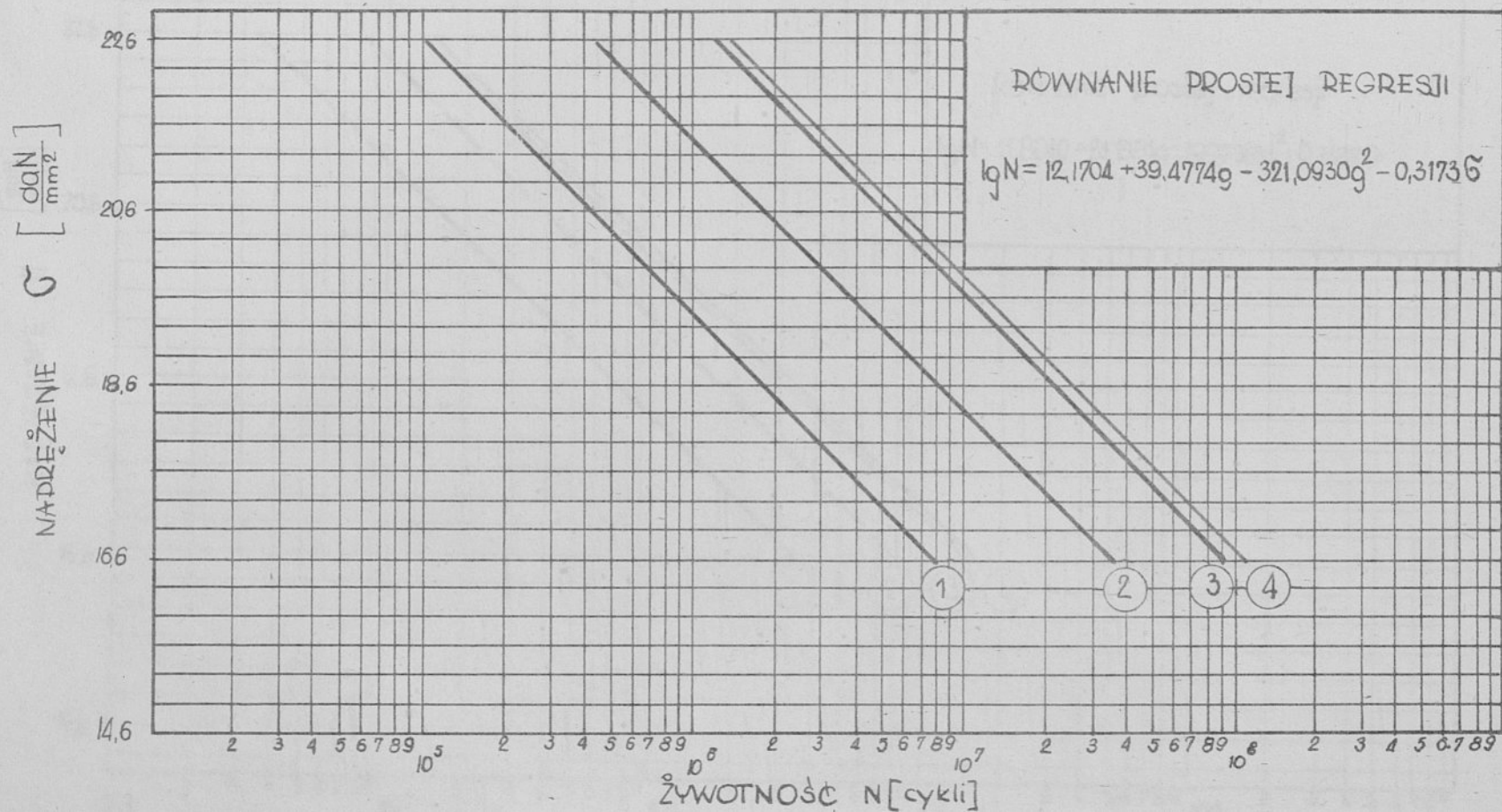
Obliczona wartość R^2 wskazuje jaki procent wyników opisuje korelację krzywoliniową

$$R^2 = \frac{a \cdot \sum' xy + b \cdot \sum' x^2 y}{\sum' y^2}$$

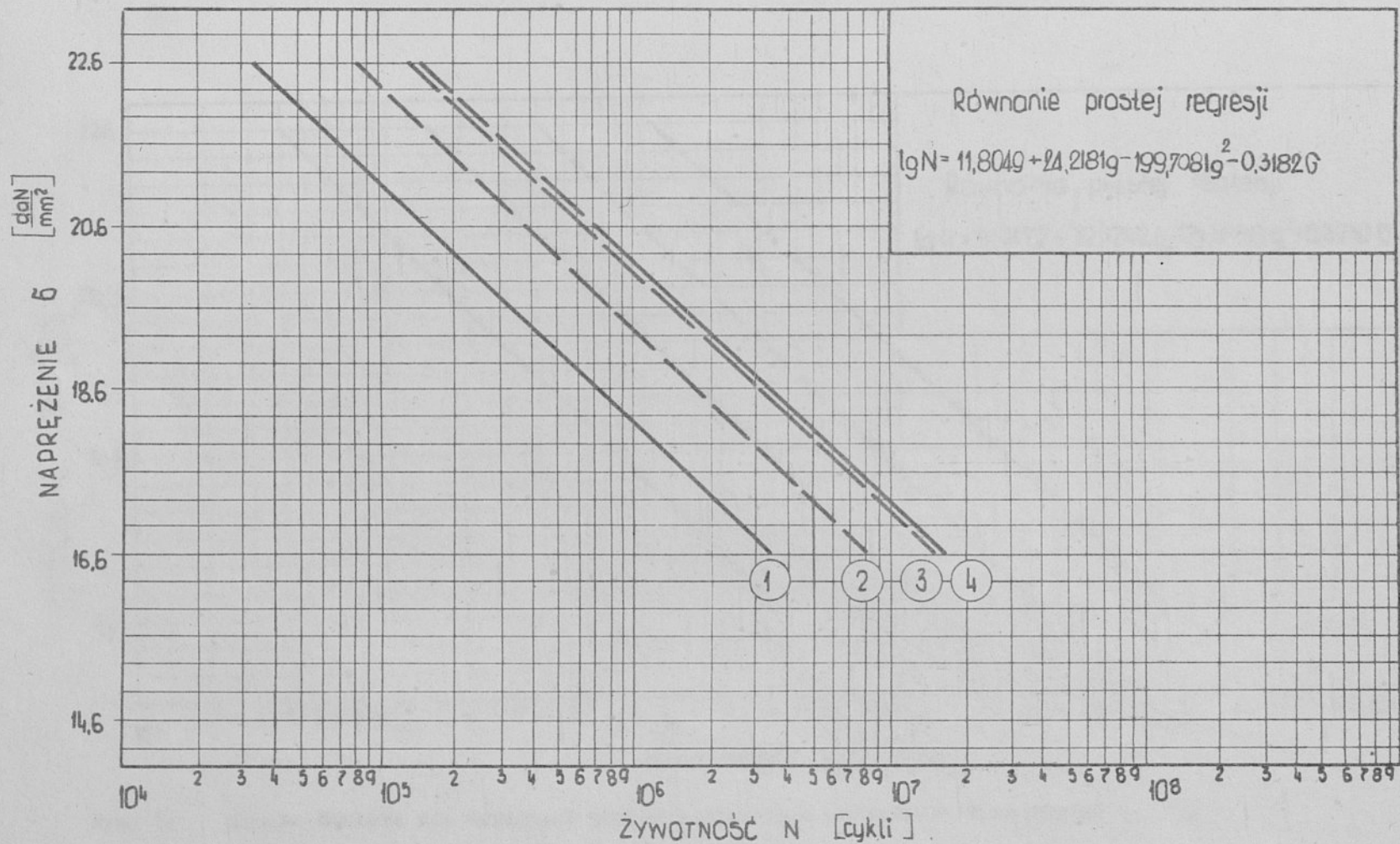
Obliczenie funkcji $\lg N_0 = f(\xi)G = \text{const}$

przedstawiono w części B tabel 82 - 84, natomiast część A tabel zawiera zestawienie danych oraz obliczenia pomocnicze.

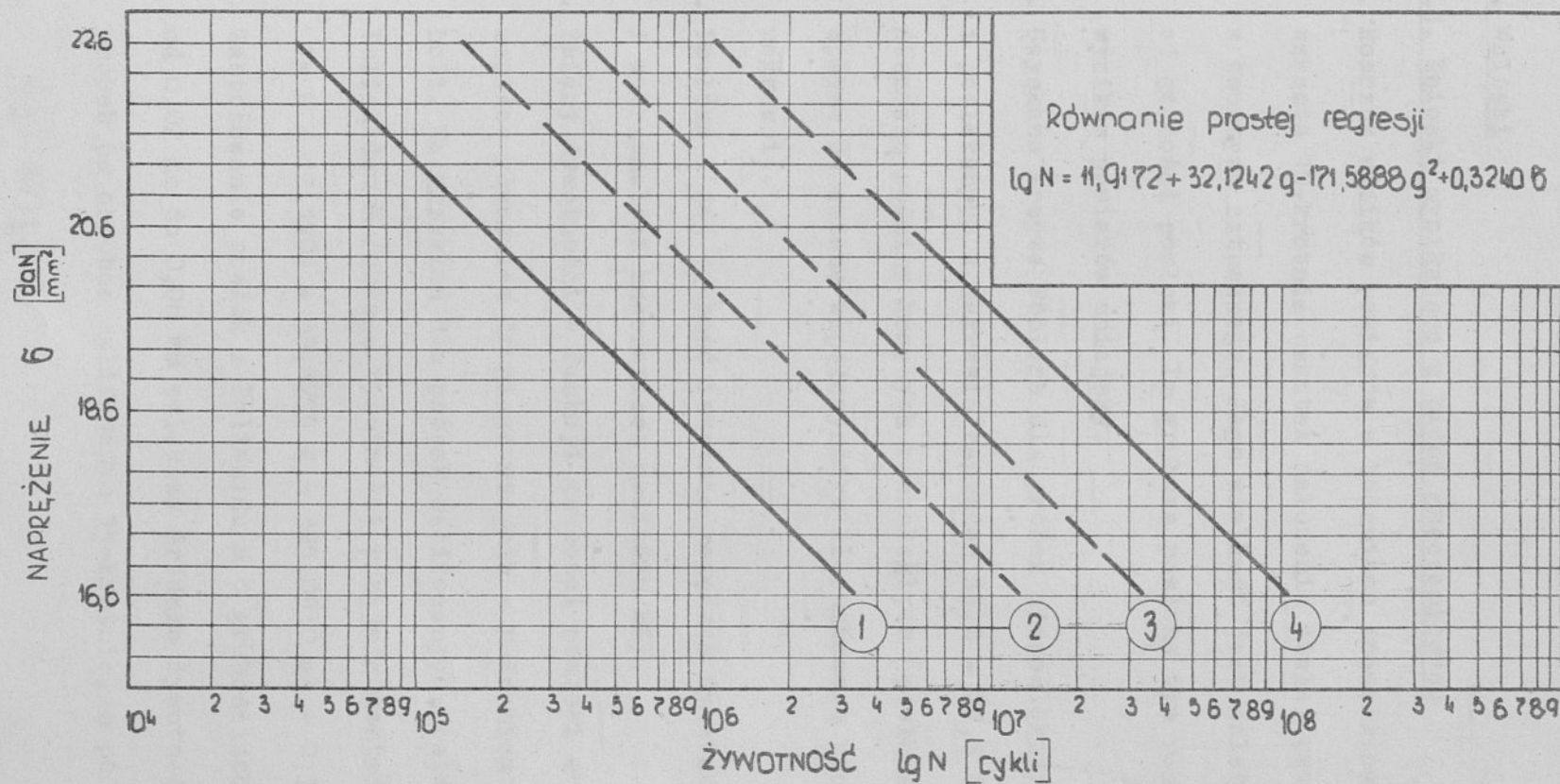
Otrzymane równanie funkcji żywotności $\lg N_1 = f(\xi_i, G_i)$ podano na rysunkach 92 - 94 na których prosta 1 opisuje zmianę żywotności próbek niepowlekanych natomiast prosta 2, 3, 4 zmianę żywotności próbek powlekanych, odpowiednio powłoką o grubości 0,02 mm; 0,04 mm; 0,08 mm.



Rys. 92 Krzywe Wohlera dla szlifowanych próbek powlekanych Poliamidem M.



Rys. 93 Krzywa Wohlera dla toczonych próbek powlekanych Poliamidem M.



Rys. 94 Krzywe Wohlera dla drążonych próbek powlekanych Poliamidem M na zewnątrz.

7. Wnioski

7.1. Wnioski wynikające z badań zmęczeniowych

1. Rozrzut wyników pomiarów w badaniach zmęczeniowych wzrasta 10-krotnie wskutek nałożenia stałej powłoki z tworzywa sztucznego. Jego wielkość jest zależna od grubości powłoki. Im grubsza powłoka tym rozrzut wyników pomiarów mniejszy.
2. Uzyskane krzywe Wöhlera dla próbek niepowlekanych i powlekanych w zakresie naprężeń $15,6 \div 22,6 \text{ daN/mm}^2$ stanowią rodziny krzywych równoległych (powłoka nie wpływa na zmianę współczynnika kierunkowego prostych regresji).
3. Powłoka i jej grubość istotnie zwiększa żywotność i wytrzymałość zmęczeniową mosiądzu M63.
4. Zmiany żywotności w funkcji grubości powłoki można zapisać równaniem drugiego stopnia - równaniem paraboli. Na przykład dla próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M funkcja żywotności przyjmie postać:
$$\lg N = 12,1704 + 39,4774 g - 321,0930 g^2 - 0,3173 G$$
5. Zastosowanie powłok z Poliamidu M o grubościach od 0,02 mm do 0,08 mm zwiększy średnio żywotność próbek po obróbce szlifowaniem 14-krotnie, a po

20-80

obróbce toceniem 5-krotnie. W przypadku próbek drażonych powlekanych na zewnątrz średnia żywotność wzrośnie 13-krotnie.

Średnia wytrzymałość zmęczeniowa (przy $N_G = 10^7$ cykli) próbek powlekanych po obróbce szlifowaniem wzrośnie do 128 % (z 15,6 daN/mm² dla niepowlekanych do 20,0 daN/mm² dla powlekanych), a po obróbce toceniem do 120 % (z 14,6 daN/mm² dla niepowlekanych do 17,6 dla powlekanych). W przypadku próbek drażonych powlekanych na zewnątrz średnia wytrzymałość wzrasta do 126 % (z 14,6 daN/mm² dla niepowlekanych do 18,4 daN/mm² dla powlekanych).

- 180 *mm*
6. Zastosowanie powłok z Epidianu 1 o grubości powłoki 0,18 mm zwiększy średnio żywotność próbek po obróbce szlifowaniem 10-krotnie a po obróbce toceniem 62-krotnie. W przypadku próbek drażonych powlekanych na zewnątrz i wewnątrz średnia żywotność wzrośnie 10-krotnie.

Średnia wytrzymałość zmęczeniowa (przy $N_G = 10^7$ cykli) próbek powlekanych po obróbce szlifowaniem wzrośnie do 124 % (z 15,6 daN/mm² dla niepowlekanych do 19,4 daN/mm² dla powlekanych), a po obróbce toceniem do 143 % (z 14,6 daN/mm² dla niepowlekanych do

20,9 daN/mm² dla powlekanych). W przypadku próbek drażonych powlekanych na zewnątrz i wewnątrz średnia wytrzymałość wzrasta do 124 % (z 14,6 daN/mm² dla niepowlekanych do 18,1 daN/mm² dla powlekanych).

7. Zwiększenie objętości powłoki o 43 % przez powlekanie próbek drażonych na zewnątrz i wewnątrz, w przypadku powłok z Poliamidu M prowadzi do 7,5-krotnego spadku żywotności w stosunku do próbek powlekanych tylko na zewnątrz.

Powłoki z Epidianu 1 wywołują efekt odwrotny, powodując 3-krotny wzrost żywotności.

8. Obróbka próbek przez szlifowanie przed nałożeniem powłok z Poliamidu M powoduje 14-krotny wzrost żywotności, natomiast obróbka próbek toczeniem powoduje 1,5-krotny wzrost żywotności w stosunku do żywotności niepowlekanych próbek szlifowanych.

Powłoki poliamidowe należy nanosić na mosiężne elementy konstrukcyjne po uprzedniej obróbce szlifowaniem.

9. Obróbka próbek przez szlifowanie przed nałożeniem powłok z Epidianu 1 powoduje 10-krotny wzrost żywotności, natomiast obróbka toczeniem 22-krotny wzrost żywotności w stosunku do żywotności niepowlekanych próbek szlifowanych.

Powłoki epoksydowe należy nanosić na mosiężne elementy konstrukcyjne po uprzedniej obróbce toczeniem.

10. Rodzaj tworzywa użytego na powłokę (Poliamid M lub Epidian 1) w przypadku powlekania próbek szlifowanych nie powoduje istotnych różnic między otrzymanymi żywotnościami. Dla powłok z Poliamidu M uzyskuje się 10-krotny wzrost żywotności, a dla powłok z Epidianu 1, 14-krotny wzrost żywotności.

W przypadku próbek po obróbce toczeniem, rodzaj tworzywa wywiera wpływ istotny na otrzymywane żywotności, powodując 5-krotny wzrost żywotności dla powłok z Poliamidu M oraz 62-krotny wzrost żywotności dla powłok z Epidianu 1.

Wniosek końcowy

Powłoki ze stałych tworzyw sztucznych naniesione na elementy konstrukcyjne wykonane z mosiądzu M63 polepszają ich charakterystyki zmęczeniowe. Efektywność wzrostu żywotności i wytrzymałości zmęczeniowej zależy od rodzaju tworzywa użytego na powłokę, jej grubości oraz stanu powierzchni elementów przed powlekaniami.

7.2. Wnioski wynikające z badań dodatkowych.

1. Jedną z przyczyn powstania rozrzutów wyników badań

zmęczeniowych próbek powlekanych, równorzędnych rozrzutom wyników charakterystycznych dla pomiarów zmęczeniowych tworzyw sztucznych jest wytworzenie punktowych ognisk korozji atmosferycznej na mikro nieciągłościach powłoki.

2. Metody pomiaru strzałki ugięcia oraz temperatury samowzbudnej są przydatnymi narzędziami w analizie procesów fizycznych towarzyszących procesowi zmęczenia. Zastosowane w badaniach wpływu powłok na wytrzymałość mosiądzu M63 pozwoliły na opis niektórych zjawisk procesu zmęczenia próbek z naniesioną powłoką z tworzywa sztucznego.

3. Jedną z przyczyn polepszenia się charakterystyk zmęczeniowych mosiądzu M63 w wyniku zastosowania powłok z tworzyw sztucznych jest powstanie w warstwie powierzchniowej próbki ścisających naprężeń termicznych, wywołanych rozkładem temperatury samowzbudnej.

Wpływ efektu termicznego na żywotność zmęczeniową będzie się głównie ujawniał w zakresie średnich wartości stosowanych przeciążeń (naprężeń przewyższających granicę zmęczenia w zakresie od 20 % do 70 %). W zakresie niskich przeciążeń o żywotność-

ci decydować będą zdolności ochronne powłok przed wpływem korozji atmosferycznej.

7. W przypadku innych tworzyw metalicznych udział efektu termicznego na wzrost żywotności elementów powlekanych będzie zależał od wartości tarcia wewnętrznego oraz przewodności cieplnej metalu. Należy spodziewać się, że elementy maszyn wykonane z materiałów o dużym tarciu wewnętrznym i małych współczynnikach przewodności cieplnej z naniesioną powłoką z tworzywa sztucznego, wykażą najlepsze (najwyższe) charakterystyki zmęczeniowe.

III. Bibliografia

- [1] Je.Je. Boczienow, A.G. Kan, M.A. Eljaszewa
"Issliedowanije ustalojstnoj procznosti ostiekłowan-
nych połych sztany dlja głubinnonasosnoj eksploatacji",
Masziny i nieftnoje oborudowanije, 1968, T. D4,
nr 2, str. 5 - 8.
- [2] Z. Brojer "Żywice epoksydowe - epidiany" Gliwice
1965.
- [3] A. Buch "Zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej"
PWN, Warszawa 1964, str. 117 - 120.
- [4] J.Coupry "Influence des diffe'rentes protections
de sufrage sur la résistance a' la fatigue des
alliages d'aluminium", Revue de L'Aluminium, 1969,
nr 372, str. 317 - 328.
- [5] E. Dies "Kupfer und Kupferlegierungen in der
Technik" Berlin, New York, 1967 str. 328 - 351.
- [6] Z. Dyląg; Z. Orłowski "Wytrzymałość zmęczeniowa ma-
teriałów" WNT - Warszawa 1962, str. 32 - 40,
59 - 61, 138 - 178.
- [7] N.E. Frost "The Effect of Environment on the
Propagation of Fatigue Cracks in Mild Steel"
Applied Materials Research, 1964, T.3, nr 3,
str. 131 - 138.

- [8] G.D. Galvin, H.Naylor "Effect of Lubricants on the Fatigue of Steel and Other Metals", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1964 - 1965, T. 179, cz. 1, nr 27, str. 857 - 875.
- [9] F. Gatto: "L'interpretazione statistica prove difatica" Alluminio, 1955, nr 24 str.
- [10] W.Gilde; G. Müller; H. Schwarz "Erhöhung der Dauerfestigkeit von dynamisch beanspruchten Konstruktionen durch Flustüberrzüge", Schweißtechnik, 1962, nr 2, str.
- [11] J. Greń "Modele i zadania statystyki matematycznej", Warszawa 1970, str. 90 - 101, 153 - 206.
- [12] A.P. Gulajew "Metaloznawstwo", Katowice 1967, str. 555 - 561.
- [13] T.R. Gurney "Exploratory Fatigue Tests on Plastic Coated Specimens", Brit. Weld. Journal, 1963, nr 10, str. 530 - 533.
- [14] W.I. Harris "Wlijanije czastoty ciklow nagruženija na procnost' metallov", Ustalost' i wynosilwest' metallov, Moskwa 1963, str. 293 - 324.
- [15] W.S. Iwanowa "Dislokacjonno - energetičeskij analiz faktorow uproczienija i perspektivy powyszenija cikliczeskoj procnosti metallov",

Proczność metaliów pri cikliczeskich nagruzkach,
Moskwa 1967, str. 5 - 14.

[16] W.S. Iwanowa "Ustałostnoje razruszienie metaliów",
Moskwa 1963, str. 141 - 146.

[17] W.S. Iwanowa; M.G. Wiejeman "Wlijanije iskustwien-
nych pokrytij na ustałostnoje charakteristiki
splawa ABT-1 pri ispytanii w woźduchie" Fiziko-
chemiczeskaja miechanika materialów, 1966, T.2,
nr 5, str. 556 - 558.

[18] M. Kikukawa; K. Ojhi; E. Ogura "On the High-
Frequency Push-Pull Fatigue Strenght of 0,2 %
Carbon Steel", Proceedings of the 6 Japan Congress
on Tests Materials, Kyoto 1969, str. 4 - 9.

[19] S. Kocańda "O przebiegu zmęczenia żelaza i stali
w obszarze ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej
i poniżej praktycznie wyznaczonej wytrzymałości
zmęczeniowej", Biul. WAT - Dodatek 1961.

[20] S. Kocańda; A. Rymaszewski "Nośność elementów przy
jednoczesnym działaniu obciążeń stykowych i zgina-
jących w zakresie ograniczonej wytrzymałości zmę-
czeniowej", Biul. WAT, 1967, nr 1, str. 57 - 75.

[21] S. Kocańda; J. Tutaj "O pewnej metodzie i wynikach

- pomiarów temperatury w zmiennie obciążonych elementach", Biul. WAT, 1964, nr 8, str. 39 - 45.
- [22] C.Y. Kramer "Extension of Multiple Range Tests to Group Means with Unequal Numbers of Replications" Biometrics, 1956, T. 12, nr 3, str. 307 - 310.
- [23] G. Krischling "Über die Änderungen einiger Eigenschaften von Stahl bei Deuerwechselbeanspruchung" Materialpruf. 9, 1967, nr 2, str. 45 - 49.
- [24] T. Lieblediew; T. Marinec; A. Efrjemow "Issledowanije cikliczeskoj procznosti mietalów mietodam zapisi djagramy ustalosti" Ustalost mietalów. Akademia Nauk CCOP, Moskwa 1960, str. 97 - 105.
- [25] J.E. Łobanow "Korozja stali w wodzie pod zaszczytnym płastmassowym pokryciem", Zaszita mietalów III, 1967, str. 747, 749. 102
- [26] "Mały poradnik mechanika", Warszawa 1955.
- [27] M. Nowak "Wytrzymałość poliamidu stabilizowanego w wodzie i w powietrzu" Prace naukowe IMMT Politechniki Wrocławskiej, nr 1, Wrocław 1969.
- [28] Z. Nowak "Wpływ powłok epoksydowych na trwałość zmęczeniową zginanych próbek stalowych" Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Nauki Techn. - Mechanika, 1969, nr 61, zesz. 3118, str. 251 - 260.

- [29] W. Okłaba "Elementy statystyki matematycznej i metodyka doświadczalności", Warszawa 1962, str. 132 - 136.
- [30] W. Oświęcimski "Badania zmęczeniowe stali 30 przy obciążeniach udarowo zginających" - Praca doktorska rękopis 1972, IMiMT Politechniki Wrocławskiej.
- [31] W.J. Pochmurskij "O wlijanii niekotorych pokrytij na ustaloestnuju i korrozionno - ustalostanuju procznost' stali X17H2", Fizyko-chemicziesskaja miechanika materialow, 1965, T. 1, nr 6, str. 694 - 696.
- [32] G.Pomey; P. Rabbe "Ruptures de fatigue de pieces de machines, dassification et analyse" Paris 1968, str. 5 -38, 160 - 173.
- [33] T. Porębski, J. Deja "Wpływ powłoki z żywicy epoksydowanej na wytrzymałość zmęczeniową stali 45A" Przegląd Prac Instytutu Materiałoznawstwa Politechniki Wrocławskiej, seria: Badania zmęczeniowe, 1968, nr 3, str. 32 - 41.
- [34] T. Porębski, J. Kośmider, J. Szpil "Badania wpływu powłok z tworzyw sztucznych na wytrzymałość zmęczeniową stali", IV Krajowa Konferencja Wytrzymałości

- i Badania Materiałów, Wrocław 1966, str. 134 - 151.
- [35] T. Porębski, J. Kośmider, J. Szpil "Badania wpływu powłok z poliamidu na wytrzymałość zmęczeniową mosiądzu M63, V Krajowa Konferencja Wytrzymałości i Badania Materiałów, Kraków 1969, sekcja IIa-14.
- [36] T. Porębski, R. Wiernik "Wpływ podwyższonych częstotliwości zmian naprężeń na żywotność mosiądzu M58 i stali 35" z uwzględnieniem istnienia sztucznej powłoki niemetalicznej" -Prace naukowe IMiMT, Nr12, ser.4, 1972.
- [37] J. Potrykus "Wykorzystanie autokompensatora napięciowego w szeregowym układzie pomiarowym z termistorem", Pom. Aut. Kontrola, 1967, nr 1, str. 6 - 10.
- [38] S.C. Rowland; K.L. DeVries; P. Gibbs "The Effect of Pressure on Fatigue", International Journal of Fracture Mechanics, 1967, T. 3, nr 2, str. 131 - 144.
- [39] W.Sadowski "Tablice statystyczne", Warszawa 1957.
- [40] L.L. Shreir "Korozja" Warszawa 1966, T.I, str. 127 - 149, 986 - 1005.
- [41] W.T. Siemienow; S.I. Winogradow "Wlijanije tonkosložnyh polimiernych pokrytij na ustalostnuju procnost' stali pri obvabotkie jejo raznymi mie-

- tożami" Trudy Leningradskowo Politechniczeskowo
Instituta, 1966, nr 269, str. 78 - 83.
- [42] J. Szpil "Różne sposoby określania wytrzymałości
zmęczeniowej i analiza statystyczna wyników"
Wrocław 1965, praca magisterska, Wydział Mech.
Politech. Wrocławskiej.
- [43] W. Vetz; M. Schnick "Einfluss einer Abdeckung
der Probenoberfläche auf die Dauerschwingfestigkeit
metallischer Werkstoffe", Schweißen und Schneiden,
1967, T. 19, nr 11, str. 517 - 520.
- [44] "Tworzywa sztuczne" - Poradnik, Warszawa 1970.
- [45] W. Volk "Statystyka stosowana dla inżynierów",
Warszawa 1962, str. 74 - 78, 129 - 162, 201 - 241,
256 - 263.
- [46] "Wdrażanie tworzyw sztucznych do produkcji w prze-
myśle ciężkim", praca zbiorowa Wrocław - Katowi-
ce 1968.
- [47] R.P. Wei "Fatigue - crack propagation in a high -
strength aluminium alloy". The international
journal of fracture mechanics, nr 1968, T. 4,
nr 2, str. 159 - 170.
- [48] J. Zawadzki; M. Nowak "Wytrzymałość zmęczeniowa

poliamidu i poliestyrenu przy zmienionej amplitudzie naprężenia", Prace naukowe IMiMT Polit. Wrocławskiej, nr 2, Wrocław 1970.

- [49] J. Zawadzki; M. Nowak "Klasyfikacja i analiza słów zmęczeniowych polistyrenu i poliamidu", Przegląd Mechaniczny, 1966, nr 13, str. 385 - 389.
- /// wypo.

Tabela 1

Program badań. Rodzaj próbek, ich ilość oraz wielkość zastosowanego naprężenia.

POZIOM NAPRĘŻENIA [OON/mm^2]	NIE POWLEKANE			POWLEKANE POLIAMIDEM M GRUBOŚĆ POWŁOKI g [mm]									POWLEKANE EPIDIANEM 1 GRUBOŚĆ POWŁOKI g [mm]					
	SZLIFOWANE	TOCZONE	DRAŻONE	SZLIFOWANE			TOCZONE			DRAŻONE ^{x)}			SZLIFOWANE		TOCZONE		DRAŻONE ^{x)}	
				0,02	0,04	0,08	0,02	0,04	0,08	0,02	0,04	0,08	0,08	0,18	0,08	0,18	0,08	0,18
22,6		3												3	3	3		
20,6	6	3	2	4	4	6			4			3	3	3	3	3	3	3
18,6	6	3	3	6	6	6	4	4	4	3	3	3	6	6	4	4	3	3
16,6	6	3	2	4	4	6			4			3	3				3	3
15,2	6																	

x) DANE W LICZNIKU DOTYCZĄ PRÓBEK POWLEKANYCH NA ZEWNĄTRZ, A W MIANOWNIKU
POWLEKANYCH NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ.

Tabela 2

Skład chemiczny mosiądzu M63.

MATERIAŁ	Cu %	Zn %	Fe %	P %	Sn %	Pb %
M 63	62,884	36,820	0,290	0,005	ŚLADY	NIE WYKRYTO

Tabela 3

Własności mechaniczne mosiądzu M63.

MATERIAŁ	R_m $\frac{daN}{mm^2}$	A_5 %	Z %	E $\frac{daN}{mm^2}$	Hv_{30} $\frac{daN}{mm^2}$	Z_{go} $\frac{daN}{mm^2}$
M63	27,5	60,5	76	$8,78 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^2$	$Z_{go}=0,42 R_m$ = 11,5

Tabela 4

Własności mechaniczne oraz cieplne zastosowanych tworzyw konstrukcyjnych.

WIELKOŚĆ		POLIAMID	EPIDIAN	MOSIĄDZ
NAZWA	WYMIAR			
ODPORNOŚĆ CIEPLNA wg WIDATA	$^{\circ}\text{C}$	155 (170)	102 (83)	—
CIEPŁO WŁAŚCIWE - c	$\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$	(0,4 ÷ 0,5)	—	(0,09)
WSPŁ. PRZEWODNOŚCI - λ	$\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$	(0,2 ÷ 0,3)	(0,16 ÷ 0,17)	(93,6)
WSPŁ. ROZSZERZALNOŚCI - α	$1/^{\circ}\text{C}$	$(90 \cdot 10^{-6})$	$(60 \cdot 10^{-6})$	$(23 \cdot 10^{-6})$
WYTRZYMAŁOŚĆ - R_m	daN/mm^2	3,5 (3,9 ÷ 7,8)	3,8 (2,6 ÷ 8,8)	27,5
" - R_g	"	(2,6 ÷ 8,3)	(9,8 ÷ 14,7)	—
MODUŁ JOUNGA - E	"	$11 \cdot 10^{-3}$ (127 ÷ 206)	174 (343 ÷ 1275)	$8,78 \cdot 10^3$
WYDKUŻENIE - A	%	80 (50 ÷ 300)	3	$A_5 = 60,5$
STOPIEŃ ADHEZJI POWŁOKI - R_t	daN/mm^2	SZLIFOWANE 0,11	SZLIFOWANE 6,0	—
		TOCZONE 0,11	TOCZONE 5,1	

*) WARTOŚCI W NAWIASACH PODANO Z DANYCH LITERATUROWYCH

Tabela 5

Wyniki pomiarów żywotności oraz niektóre dane do obliczeń statystycznych.
Grupa próbek niepowlekanych.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZ. POZIOMU NAPRĘŻENIA „i”	L.P. OGÓLNA PRÓBK „n”	OZNACZ. PRÓBK NA POZIOMIE NAPR.	POZIOM NAPRĘŻENIA $\sigma_i = x_{ij}$ [daN/mm ²]	x_{ij}^2	ŻYWOTNOŚĆ N_{ij} $\times 10^3$ [cykli]	$y_{ij} = \lg N_{ij}$	y_{ij}^2	$x_{ij} \cdot y_{ij}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PRÓBK SZLIFOWANE	1	1	1	20,6	510,76	435,0	5,6385	31,7927	116,1531
		2	2			513,7	5,7107	32,6121	117,6404
		3	3			725,1	5,8604	34,4429	120,7242
		4	4			757,2	5,8792	34,6499	121,1115
		5	5			826,9	5,9175	35,0168	121,9005
		6	6			958,2	5,9815	35,7783	123,2189
	$\sum_{j=1}^k$			123,6	2546,16		34,9878		
	2	7	1	18,6	345,96	1038,0	6,0162	36,1947	111,9013
		8	2			1141,1	6,0573	36,6909	112,6658
		9	3			1205,7	6,0812	36,9810	113,1103
		10	4			1524,8	6,1832	38,2320	115,0075
		11	5			1711,0	6,2333	38,8540	115,9394
		12	6			2052,9	6,3122	39,8439	117,4069
	$\sum_{j=1}^k$			111,6	2075,76		36,8834	226,7965	
	3	13	1	16,6	275,56	4625,0	6,6651	44,4236	110,6407
		14	2			5080,5	6,7069	44,9825	111,3345
		15	3			5405,3	6,7328	45,3306	111,7645
		16	4			5855,1	6,7676	45,8004	112,3422
		17	5			6121,4	6,9869	46,0620	112,6625
		18	6			9062,1	6,9574	48,4054	115,4928
	$\sum_{j=1}^k$			99,6	1653,36		40,6167		
	4	19	1	15,2	231,04	8766,8	6,9429	48,2039	105,5321
		20	2			14766,4	7,1693	51,3989	108,9934
		21	3			18744,1	7,2729	52,8951	110,5481
		22	4			21150,2	7,3253	53,6600	111,3446
		23	5			28360,2	7,4527	55,5427	113,2810
		24	6			32564,5	7,5127	56,4407	114,1930
	$\sum_{j=1}^k$			91,2	1386,24		43,6758		
	$\sum_{i=1}^p, \sum_{j=1}^k$			426,0	7661,52		156,1637	1024,2350	2744,8893

ciąg dalszy tabeli 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PRÓBKİ TOCZONE	1	1	1	22,6	510,76	11,0	4,0414	16,3329	91,3356
		2	2			31,3	4,4955	20,2095	101,5983
		3	3			35,2	4,5465	20,6707	102,7509
		4	4			41,6	4,6196	21,3407	104,4030
	$\sum_{j=1}^k$			90,4	2043,04		17,7030		
	2	5	1	20,6	424,36	151,8	5,1813	26,8459	106,7348
		6	2			420,3	5,6235	31,6238	115,8441
		7	3			439,5	5,6430	31,8434	116,2458
		8	4			827,2	5,9176	35,0180	121,9026
	$\sum_{j=1}^k$			82,4	1697,44		22,3654		
	3	9	1	18,6	345,96	412,3	5,6152	31,5305	104,4427
		10	2			699,3	5,8447	34,1605	108,7114
		11	3			941,7	5,9739	35,6875	111,1145
		12	4			1005,2	6,0023	36,0276	111,6428
	$\sum_{j=1}^k$			74,4	1383,84		23,4361		
	4	13	1	16,6	275,56	1808,4	6,2573	39,1538	103,8712
		14	2			2866,3	6,4573	41,6967	107,1912
		15	3			7184,5	6,8564	47,0102	113,8162
		16	4			8707,6	6,9399	48,1622	115,2023
	$\sum_{j=1}^k$			66,4	1102,24		26,5109		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			313,6	6226,56		90,0154	517,3139	1736,8074
PRÓBKİ DRAŻONE	1	1	1	20,6	424,36	133,3	5,1248	26,2636	105,5709
		2	2			199,4	5,2997	28,0868	109,1738
		3	3			238,7	5,3779	28,9218	110,7847
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,00		15,8024		
	2	4	1	18,6	345,96	457,6	5,6605	32,0413	105,2853
		5	2			486,4	5,6870	32,3420	105,7782
		6	3			566,7	5,7533	33,1005	107,0114
		7	4			815,4	5,9114	34,9446	109,9520
	$\sum_{j=1}^k$			74,4	1383,84		23,0122		
	3	8	1	16,6	275,56	1929,7	6,2855	39,5075	104,3393
		9	2			2297,4	6,3612	40,4649	105,5959
		10	3			3003,8	6,4777	41,9606	107,5298
	$\sum_{j=1}^k$			49,8	826,68		19,1244		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			186,0	3483,60		57,9390	337,6336	1071,0213

Tabela 6

Wyniki pomiarów żywotności oraz niektóre dane do obliczeń statystycznych.
Grupa próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.

RODZAJ PRÓBEK	DZNA CZ. POZIOMY, NAPRĘŻENIA "i"	LP OGÓLNA, PRÓBK "n"	DZNA CZ. PRÓBK NA, POZIOMIE NAPR. "i"	POZIOM NAPRĘŻENIA $\sigma_i = \alpha_{ij}$ [$\frac{daN}{mm^2}$]	α_{ij}^2	ŻYWOTNOŚĆ $N_{ij} \times 10^5$ [cykli]	$y_{ij} = \lg N_{ij}$	y_{ij}^2	$\alpha_{ij} \cdot y_{ij}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PRÓBK POWLEZONE POLIAMIDEM "M", - q = 0,02 mm	1	1	1	20,6	424,36	789,2	5,8972	34,7770	121,4823
		2	2			1520,8	6,1820	38,2171	127,3492
		3	3			3076,4	6,4879	42,0928	133,6507
		4	4			4342,0	6,6377	44,0591	136,7366
	$\sum_{j=1}^k$			82,4	1697,44		25,2048		
	2	5	1	18,6	345,96	1990,0	6,2989	39,6761	117,1595
		6	2			4750,0	6,6767	44,5783	124,1866
		7	3			4804,0	6,6816	44,6438	124,2778
		8	4			11552,0	7,0626	49,8803	131,3644
		9	5			30533,0	7,4847	56,0207	139,2154
		10	6			78711,0	7,9943	63,9088	148,6940
	$\sum_{j=1}^k$			111,6	2075,66		42,1988	298,7080	
	3	11	1	16,6	275,56	8000,0	6,4031	47,6526	114,5915
		12	2			81205,0	7,9096	62,5616	131,2994
		13	3			95195,0	7,9785	63,6565	132,4431
		14	4			103080,0	8,0128	64,2050	133,0125
	$\sum_{j=1}^k$			66,4	1102,24		30,8040		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			260,4	4875,44		98,2076	695,9302	1815,4630
PRÓBK POWLEZONE POLIAMIDEM "M", - q = 0,04 mm	1	1	1	20,6	424,36	649,8	5,8127	33,7875	119,7416
		2	2			2235,2	6,3493	40,3136	130,7956
		3	3			2638,7	6,4214	41,2344	132,2808
		4	4			3667,5	6,5644	43,0913	135,2266
	$\sum_{j=1}^k$			82,4	1697,44		25,1478		
	2	5	1	18,6	345,96	14995,8	7,1759	51,4935	133,4717
		6	2			21047,5	7,3231	53,6278	136,2097
		7	3			27596,4	7,4407	55,3640	138,3970
		8	4			34825,3	7,5419	56,8803	140,2793
		9	5			41525,3	7,6190	58,0492	141,7134
		10	6			59402,6	7,7738	60,4320	144,5927
	$\sum_{j=1}^k$			111,6	2075,76		44,8734	335,8468	

ciąg dalszy tabeli 6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PRÓBKİ POWLECZONE POLIAMIDEM $q=0,04$	3	11	1	16,6	275,56	61 666,1	7,7901	60,6857	129,3157
		12	2			64 838,7	7,8119	61,0258	129,6775
		13	3			109 848,4	8,0408	64,6545	133,4773
		14	4			133 599,0	8,1258	66,0286	134,8883
	$\sum_{j=1}^k$			66,4	1102,24		31,7686		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			260,4	4875,44		101,7898	746,6681	1880,0673
PRÓBKİ POWLECZONE POLIAMIDEM „M” - $q=0,08$ mm	1	1	1	22,6	510,76	300,0	5,4771	29,9986	123,7825
		2	2			463,0	5,6656	32,0990	128,0426
		3	3			475,0	5,6767	32,2249	128,2934
		4	4			1105,0	6,0434	36,5227	136,5808
		5	5			5491,0	6,7397	45,4235	152,3171
		6	6			5906,4	6,7713	45,8505	153,0314
	$\sum_{j=1}^k$			135,6	3064,56		36,3738		
	2	7	1	20,6	424,36	2319,1	6,3653	40,5170	131,1252
		8	2			3706,4	6,5689	43,1504	135,3193
		9	3			3832,4	6,5834	43,3412	135,6180
		10	4			8 625,0	6,9358	48,1053	142,8775
		11	5			13 050,0	7,1156	50,6318	146,5814
		12	6			17 090,6	7,2327	52,3119	148,9936
	$\sum_{j=1}^k$			123,6	2546,16		40,8017		
	3	13	1	18,6	345,96	7000,0	6,8451	46,8554	127,3189
		14	2			10 451,6	7,0191	49,2678	130,5553
		15	3			11 713,1	7,0686	49,9661	131,4760
		16	4			30 358,0	7,4822	55,9833	139,1689
		17	5			75 160,0	7,8759	62,0298	146,4919
		18	6			100 000,0	8,0000	64,0000	148,8000
	$\sum_{j=1}^k$			111,6	2075,76		44,2909	328,1024	
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			370,8	7686,48		121,4664	828,2784	2486,3736

Tabela 7

Wyniki pomiarów żywotności oraz niektóre dane do obliczeń statystycznych.
Grupa próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZ. POZIOMY NAPRĘŻENIA σ_i	IP OGÓLNA PRÓBEK σ_i	OZNACZ. PRÓBKI NA POZIOMIE NAPR. σ_i	POZIOM NAPRĘŻE- NIA $\sigma_i = x_{ij}$ [$\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$]	x_{ij}^2	ŻYWOTNOŚĆ $N_{ij} \times 10^3$ [cykli]	$\lg N_{ij} = y_{ij}$	y_{ij}^2	$x_{ij} \cdot y_{ij}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PRÓBKI POWLECZONE ŻYWICĄ, q=0,08 mm	1	1	1	20,6	424,36	207,9	5,3179	28,2801	109,5487
		2	2			270,8	5,4327	29,5142	111,9136
		3	3			924,0	5,9657	35,5896	122,8934
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,08		16,7163		
	2	4	1	18,6	345,96	637,0	5,8041	33,6876	107,9563
		5	2			692,7	5,8405	34,1114	108,6333
		6	3			1221,5	6,0869	37,0304	113,2163
		7	4			1372,6	6,1376	37,6701	114,1594
		8	5			1459,0	6,1641	37,9961	114,6523
		9	6			1958,1	6,2918	39,5867	117,0275
	$\sum_{j=1}^k$			111,6	2075,76		36,3250		
	3	10	1	16,6	275,56	6480,1	6,8116	46,3979	113,0726
		11	2			9598,5	6,9822	48,7511	115,9045
		12	3			17700,9	7,2480	52,5335	120,3168
	$\sum_{j=1}^k$			49,8	826,68		21,0418		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			223,2	4175,52		74,0831	461,1688	1369,2947
PRÓBKI POWLECZONE ŻYWICĄ, q=0,18 mm	1	1	1	22,6	510,76	600,3	5,7784	33,3899	130,5918
		2	2			893,5	5,9511	35,4156	134,4949
		3	3			968,7	5,9862	35,8346	135,2881
	$\sum_{j=1}^k$			67,8	1532,28		17,7157		
	2	4	1	20,6	424,36	1740,0	6,2405	38,9438	128,5543
		5	2			2650,6	6,4234	41,2601	132,3220
		6	3			3821,3	6,6822	43,3254	135,5933
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,08		19,2461		
		7	1	18,6	345,96	4879,6	6,6884	44,7347	124,4042
		8	2			10505,8	7,0214	49,3001	130,5980
		9	3			21412,8	7,3326	53,7670	136,3864
		10	4			25871,9	7,4128	54,9496	137,8781
		11	5			46663,4	7,6690	58,8136	142,6434
		12	6			54176,9	7,7338	59,8117	143,8487
	$\sum_{j=1}^k$			111,6	2075,76		43,8580		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			241,2	4881,12		80,8198	549,5460	1612,6033

Tabela 8

Wyniki pomiarów żywotności oraz niektóre dane do obliczeń statystycznych.
Grupa próbek toczonych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	OZNACZ. POZIOMU NAPREŻENIA "i"	LP OGÓLNA PRÓBK "n"	OZNACZ. PRÓBK NA POZIOMIE NAPR. "j"	POZIOM NAPREŻENIA $\sigma_i = \alpha_{ij}$ [$\frac{daN}{mm^2}$]	α_{ij}^2	ŻYWOTNOŚĆ N_{ij} $\times 10^3$ [cykli]	$y_{ij} = \lg N_{ij}$	y_{ij}^2	$\alpha_{ij} \cdot y_{ij}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
g = 0,02 mm	2	1	1	18,6	345,96	405,1	5,6075	31,4441	104,2995
		2	2			1669,9	6,2227	38,7220	115,7422
		3	3			3768,0	6,5761	43,2451	122,3155
		4	4			4065,2	6,6090	43,6789	122,9274
	$\sum_{j=1}^k$			74,4	1383,84		25,0154	157,0900	465,2846
g = 0,04 mm	2	1	1	18,6	345,96	1587,7	6,2008	38,4499	115,3369
		2	2			2800,5	6,4473	41,5677	119,9198
		3	3			5051,6	6,7035	44,9369	124,6851
		4	4			5102,4	6,7078	44,9946	124,7651
	$\sum_{j=1}^k$			74,4	1383,84		26,0594	169,9491	484,7048
g = 0,08 mm	1	1	1	20,6	424,36	184,2	5,2653	27,7234	108,4652
		2	2			467,6	5,6693	32,1410	116,7876
		3	3			600,2	5,7783	33,3888	119,0330
		4	4			1712,2	6,2335	38,8565	128,4101
	$\sum_{j=1}^k$			82,4	1697,44		22,9464		
	2	5	1	18,6	345,96	1793,5	6,2537	39,1088	116,3188
		6	2			3885,6	6,5895	43,4215	122,5647
		7	3			4058,4	6,6084	43,6710	122,9162
		8	4			4286,0	6,6320	43,9834	123,3552
	$\sum_{j=1}^k$			74,4	1383,84		26,0836	170,1847	
	3	9	1	16,6	275,56	5520,5	6,7420	45,4546	111,9172
		10	2			8608,6	6,9349	48,0928	115,1193
		11	3			13398,2	7,1270	50,7941	118,3082
		12	4			17377,1	7,2399	52,4162	120,1823
	$\sum_{j=1}^k$			66,4	1102,24		28,0368		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			223,2	4183,52		77,0668	499,0520	1423,3779

Tabela 9

Wyniki pomiarów żywotności oraz niektóre dane do obliczeń statystycznych.
Grupa próbek toczonych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	OZNACZ. POZIOMU NAPRĘŻENIA „i”	LP OGÓLNA PRÓBEK „n”	OZNACZ. PRÓBKI NA POZIOMIE NAPR.	POZIOM NAPRĘŻENIA $\sigma_i = x_{ij}$ [$\frac{daN}{mm^2}$]	x_{ij}^2	ŻYWOTNOŚĆ $N_{ij} \times 10^3$ [cykli]	$\lg N_{ij} = y_{ij}$	y_{ij}^2	$x_{ij} \cdot y_{ij}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q = 0,08 mm	1	1	1	22,4	510,76	275,2	5,4396	29,5892	122,9350
		2	2			437,5	5,6410	31,8209	127,4866
		3	3			952,2	5,9787	35,7448	135,1186
	$\sum_{j=1}^k$			67,8	1532,28		17,0593		
	2	4	1	20,6	424,36	1295,6	6,1129	37,3675	125,9257
		5	2			2527,6	6,4028	40,9958	131,8977
		6	3			3711,2	6,5625	43,1583	135,3317
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,08		19,0852		
	3	7	1	18,6	345,96	7369,4	6,8674	47,1612	127,7336
		8	2			12159,4	7,0849	50,1958	131,7791
		9	3			15189,1	7,1816	51,5754	133,5778
		10	4			48585,1	7,6865	59,0823	142,9689
	$\sum_{j=1}^k$			74,4	1383,84		28,8204		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			204,0	4189,20		64,9649	426,6914	1314,7547
q = 0,18 mm	1	1	1	22,6	510,76	3175,0	6,5018	42,2734	146,9407
		2	2			3560,9	6,6515	42,5965	148,0639
		3	3			6942,8	6,8416	46,8075	154,6202
	$\sum_{j=1}^k$			67,8	1532,28		19,8949		
	2	4	1	20,6	424,36	6259,0	6,7965	46,1924	140,0079
		5	2			9106,3	6,9503	48,4319	143,3816
		6	3			40896,9	7,6117	57,9380	156,8010
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,08		21,3675		
	3	7	1	18,6	345,96	35430,1	7,5494	56,9934	140,4188
		8	2			43283,6	7,6363	58,3131	142,0352
		9	3			49210,7	7,6921	59,1684	143,0731
		10	4			71167,3	7,8523	61,6586	146,0528
	$\sum_{j=1}^k$			74,4	1383,84		30,7301		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			204,0	4189,20		71,9925	520,3732	1461,3751

Tabela 10

Wyniki pomiarów żywotności oraz niektóre dane do obliczeń statystycznych.
Grupa próbek drążonych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI SPOSÓB NAKŁADANIA	OZNACZ. POZIOMU NAPRĘŻENIA "i"	LP OGÓLNA PRÓBK "n"	OZNACZ. PRÓBK NA POZIOMIE NAPR.	POZIOM NAPRĘŻE- NIA $\sigma_i = \alpha_{ij}$ $\left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]$	α_{ij}^2	ŻYWOTNOŚĆ $N_{ij} \times 10^3$ [cykli]	$y_{ij} = \lg N_{ij}$	y_{ij}^2	$\alpha_{ij} \cdot y_{ij}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q = 0,02 mm NA ZEWNĄTRZ	2	1	1	18,6	345,96	487,3	5,6878	32,3511	105,7931
		2	2			1432,2	6,1559	37,8951	114,4997
		3	3			12799,5	7,1072	50,5123	132,1939
	$\sum_{j=1}^k$			55,8	1037,88		18,9509	120,7585	352,4867
q = 0,04 mm NA ZEWNĄTRZ	2	1	1	18,6	345,96	5300,6	6,7244	45,2176	125,0738
		2	2			6274,8	6,7976	46,2074	126,4354
		3	3			11691,8	7,0678	49,9538	131,4611
	$\sum_{j=1}^k$			55,8	1037,88		20,5898	141,3787	382,9703
q = 0,08 mm NA ZEWNĄTRZ	1	1	1	20,6	424,36	2180,7	6,3387	40,1791	130,5772
		2	2			2402,7	6,3807	40,7133	131,4424
		3	3			3240,7	6,5106	42,3879	134,1184
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,00		19,2290		
	2	4	1	18,6	345,96	12136,0	7,0841	50,1845	131,7643
		5	2			19146,4	7,2821	53,0290	135,4471
		6	3			27750,6	7,4433	55,4027	138,4454
	$\sum_{j=1}^k$			55,8	1037,88		21,8095	158,6162	
	3	7	1	16,6	275,56	35873,2	7,5548	57,0750	125,4097
		8	2			64037,0	7,8064	60,9399	129,5862
		9	3			103500,0	8,0149	64,2386	133,0473
	$\sum_{j=1}^k$			49,8	826,68		23,3761		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			167,4	3137,56		64,4146	464,1500	1189,8380

ciąg dalszy tabeli 10.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q=0,08 mm NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ	1	1	1	20,6	424,36	480,5	5,6817	32,2817	117,0430
		2	2			538,5	5,7312	32,8467	118,0627
		3	3			641,8	5,8077	33,7294	119,6386
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,00		17,2206		
	2	4	1	18,6	345,96	1205,4	6,0811	36,9798	113,1085
		5	2			1819,0	6,2598	39,1851	116,4323
		6	3			2297,8	6,3613	40,4661	118,3202
	$\sum_{j=1}^k$			55,8	1037,88		18,7022	116,6310	
	3	7	1	16,6	275,56	8125,5	6,9099	47,7467	114,7043
		8	2			13804,3	7,1400	50,9796	118,5240
		9	3			23224,3	7,3659	54,2565	122,2739
	$\sum_{j=1}^k$			49,8	826,68		21,4158		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			167,4	3137,56		57,3386	368,4716	1058,1076

Tabela 11

Wyniki pomiarów żywotności oraz niektóre dane do obliczeń statystycznych.
Grupa próbek drążonych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ POWŁOKI (SPOSÓB NAKŁADANIA)	OZNACZ. POZIOMU NAPRĘŻENIA "i"	LP. OGÓLNA PRÓBEK "n"	OZNACZ. PRÓBK. NA POZIOMIE NAPR. "j"	POZIOM NAPRĘŻENIA $\sigma_i = \alpha_{ij}$ [$\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$]		ŻYWOTNOŚĆ $N_{ij} \times 10^3$ [cykli]			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
g = 0,08 mm NA ZEWNĄTRZ	1	1	1	20,6	424,36	69,7	4, 8432	23, 4566	99, 7699
		2	2			73,4	4, 8657	23, 6750	100, 2334
		3	3			97,4	4, 9886	24, 8861	102, 7652
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,08		14, 6975		
	2	4	1	18,6	345,96	161,0	5, 2071	27, 1139	96, 8521
		5	2			187,1	5, 2718	27, 7919	98, 0555
		6	3			203,7	5, 3090	28, 1855	98, 7474
	$\sum_{j=1}^k$			55,8	1037,88		15, 7879		
	3	7	1	16,6	275,56	1071,0	6, 0298	36, 3585	100, 0947
		8	2			1899,4	6, 2786	39, 4208	104, 2248
		9	3			2137,0	6, 3298	40, 0664	105, 0747
	$\sum_{j=1}^k$			49,8	826,68		18, 6382		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			167,4	3137,64		49, 1236	270, 9547	905, 8176
g = 0,18 mm NA ZEWNĄTRZ	1	1	1	20,6	424,36	18,1	4, 2577	18, 1280	87, 7086
		2	2			250,8	5, 3993	29, 1524	111, 2256
		3	3			652,4	5, 8145	33, 8084	119, 7787
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,08		15, 4715		
	2	4	1	18,6	345,96	1016,0	6, 0069	36, 0829	111, 7283
		5	2			3391,4	6, 5302	42, 6435	121, 4617
		6	3			4610,3	6, 6637	44, 4049	123, 9448
	$\sum_{j=1}^k$			55,8	1037,88		19, 2008		
	3	7	1	16,6	275,56	23 126,6	7, 3642	54, 2314	122, 2457
		8	2			25 573,7	7, 4077	54, 8740	122, 9678
		9	3			34 191,9	7, 5339	56, 7596	125, 0627
	$\sum_{j=1}^k$			49,8	826,68		22, 3058		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			167,4	3137,64		56, 9781	370, 0852	1046, 1241

ciąg dalszy tabeli 11.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ	1	1	1	20,6	424,36	535,0	5,7284	32,8146	118,0050
		2	2			1770,0	6,2480	39,0375	128,7088
		3	3			2083,8	6,3187	39,9260	130,1652
	$\sum_{j=1}^k$			61,8	1273,88		18,2961		
	2	4	1	18,6	345,96	1861,7	6,2697	39,3091	116,6164
		5	2			9071,7	6,9577	48,4096	129,4132
		6	3			9213,6	6,9645	48,5043	129,5397
	$\sum_{j=1}^k$			55,8	1037,08		20,1919		
	3	7	1	16,6	275,56	30671,0	7,4867	56,0507	124,2792
		8	2			41392,2	7,6169	58,0172	126,4405
		9	3			62045,8	7,7927	60,7262	129,3588
	$\sum_{j=1}^k$			49,8	826,68		22,8963		
	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k$			167,4	3137,64		61,3833	422,7950	1132,5270

Tabela 12

Weryfikacja logarytmo-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	OZNACZENIE POZIOMU NAPRĘŻENIA	L.P. PRÓBEK NA POZIO- MIE NAPRĘŻENIA	CZĘSTOŚĆ SUMARYCZNA	PODZIAŁKA LINIOWA		LOGARYTM ŻYWOTNOŚCI		
			P_m [%]	y	y^2	$\lg N_{ij} = x$	x^2	$x \cdot y$
g = 0,02 mm	3	1	20	4,16	17,3056	6,4031	47,6528	28,7169
		2	40	4,75	22,5625	7,4096	62,5618	37,5706
		3	60	5,25	27,5625	7,9785	63,6565	41,8871
		4	80	5,84	34,1056	8,0128	64,2050	46,7948
	$\sum_{j=1}^k$			20,00	101,5362	30,8040	238,0761	154,9694
	$\sum' x^2$		0,8545		r	0,8287		
	$\sum' y^2$		1,5362		B	0,6867		
	$\sum' xy$		0,9494		WNIOSEK	korelacja jest istotna na poziomie $\alpha > 0,1$		
g = 0,08 mm	1	1	14,3	3,93	15,4449	5,4771	29,9986	21,5250
		2	28,6	4,44	19,7136	5,6656	32,0990	25,1553
		3	42,8	4,82	23,2324	5,6767	32,2249	27,3617
		4	57,5	5,19	26,9361	6,0434	36,5227	31,3652
		5	71,8	5,57	31,0249	6,7397	45,4235	37,5401
		6	86,1	6,08	36,9664	6,7713	45,8505	41,1695
	$\sum_{j=1}^k$			30,03	163,3183	36,3738	222,1192	184,1168
	$\sum' x^2$		1,6103		r	0,9371		
	$\sum' y^2$		3,0181		B	0,8782		
	$\sum' xy$		2,0659		WNIOSEK	korelacja jest istotna na poziomie $\alpha > 0,1$		

Tabela 13

Weryfikacja logarytmo-normalnego rozkładu wyników pomiarów żywotności.
Grupa próbek toczonych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	OZNACZENIE POZIOMU NAPRĘŻENIA "i"	LP PRÓBKII NA POZIOMIE NAPRĘŻENIA "j"	CZĘSTOŚĆ SUMARYCZNA p_m [%]	PODZIAŁKA LINIOWA y	y^2	LOGARYTM ŻYWOTNOŚCI $\lg N_{ij} = x$	x^2	xy
g = 0,02 mm	2	1	20	4,16	17,3056	5,6075	31,4441	23,3272
		2	40	4,75	22,5625	6,2227	38,7220	29,5578
		3	60	5,25	27,5625	6,5761	43,2451	34,5245
		4	80	5,84	34,1056	6,6090	43,6789	38,5966
	$\sum_{j=1}^k$			20,00	101,5362	25,0154	157,0900	126,0061
	$\sum' x^2$		0,8632		r	0,8068		
	$\sum' y^2$		1,5362		B	0,6510		
	$\sum' xy$		0,9291		WNIOSEK	korelacja jest istotna na poziomie $\alpha > 0,2$		
g = 0,08 mm	2	1	20	4,16	17,3056	6,2537	39,1088	26,0154
		2	40	4,75	22,5625	6,5895	43,4215	31,3001
		3	60	5,25	27,5625	6,6084	43,6710	34,6941
		4	80	5,84	34,1056	6,6320	43,9834	38,7309
	$\sum_{j=1}^k$			20,00	101,5362	26,0836	170,1847	130,7405
	$\sum' x^2$		0,1280		r	0,7272		
	$\sum' y^2$		1,5362		B	0,5289		
	$\sum' xy$		0,3225		WNIOSEK	korelacja jest istotna na poziomie $\alpha > 0,2$		

Tabela 14

Wyznaczenie równań prostych regresji i współczynników korelacji dla grupy próbek niepowlekanych.

LP	OZNACZENIE	RODZAJ PRÓBEK		
		SZLIFOWANE	TOCZONE	DRAŻONE
1	p	4	4	3
2	k _i	6; 6; 6; 6	4; 4; 4; 4	3; 4; 3
3	n	24	16	10
4	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}$	426,0	313,6	186,0
5	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	7661,52	6226,56	3483,6
6	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	156,1637	90,0154	57,9390
7	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	1024,2350	517,3139	337,6336
8	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$	2744,8893	1736,8074	1071,0213
9	$\bar{x}$	17,75	19,6	18,6
10	$\bar{y}$	6,5068	5,6260	5,7939
11	$\sum' x^2$	100,02	80,0	24,0
12	$\sum' y^2$	8,1058	10,8907	1,9408
13	$\sum' xy$	-27,0164	-27,4944	-6,6441
14	b	-0,2701	-0,3437	-0,2768
15	a	11,3013	12,3621	10,9424
16	RÓWNAŃ PROSTYCH REGRESJI	$\hat{y}_i = 11,3013 - 0,2701 \hat{x}_i$ $\lg N_i = 11,3013 - 0,2701 \delta_i$	$\hat{y}_i = 12,3621 - 0,3437 \hat{x}_i$ $\lg N_i = 12,3621 - 0,3437 \delta_i$	$\hat{y}_i = 10,9424 - 0,2768 \hat{x}_i$ $\lg N_i = 10,9424 - 0,2768 \delta_i$
17	r	-0,9488	-0,9314	-0,9735
18	B	0,9003	0,8676	0,9477

Tabela 15

Wyznaczenie równań prostych regresji i współczynników korelacji dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.

LP	OZNACZENIE	RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)		
		$g = 0,02 \text{ mm}$	$g = 0,04 \text{ mm}$	$g = 0,08 \text{ mm}$
1	p	3	3	3
2	k_i	4; 6; 4	4; 6; 4	6; 6; 6
3	n	14	14	18
4	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}$	260,4	260,14	370,8
5	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	4 875,44	4 875,44	7686,48
6	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	98,2076	101,7898	121,4664
7	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	695,9302	746,6681	828,2784
8	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$	1815,4630	1880,0673	2486,3736
9	$\bar{x}$	18,6	18,6	20,6
10	$\bar{y}$	7,0148	7,2707	6,7481
11	$\sum' x^2$	32,0	32,0	48,0
12	$\sum' y^2$	7,0207	6,5851	8,6069
13	$\sum' x y$	-11,1984	-13,2229	-15,8342
14	b	-0,3500	-0,4132	-0,3299
15	a	13,5239	14,9565	13,5436
16	RÓWNAŃE PROSTEJ REGRESJI	$\hat{y}_i = 13,5239 - 0,3500 \hat{x}_i$	$\hat{y}_i = 14,9565 - 0,4132 \hat{x}_i$	$\hat{y}_i = 13,5436 - 0,3299 \hat{x}_i$
		$\lg N_i = 13,5239 - 0,3500 \lg N_i$	$\lg N_i = 14,9565 - 0,4132 \lg N_i$	$\lg N_i = 13,5436 - 0,3299 \lg N_i$
17	r	-0,7471	-0,9109	-0,7790
18	B	0,5582	0,8297	0,6069

Tabela 16

Wyznaczenie równań prostych regresji i współczynników korelacji dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1.

LP	OZNACZENIE	RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	
		q = 0,08	q = 0,18
1	p	3	3
2	k _i	3; 6; 3	3; 3; 6
3	n	12	12
4	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}$	223,2	241,2
5	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	4175,52	4881,12
6	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	74,0831	80,8198
7	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	461,1688	549,5460
8	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$	1369,2947	1612,6033
9	$\bar{x}$	18,6	20,1
10	$\bar{y}$	6,1736	6,7350
11	$\sum' x^2$	24,0	33,0
12	$\sum' y^2$	3,8100	5,2260
13	$\sum' xy$	-8,6510	-11,8747
14	b	-0,3605	-0,3598
15	a	12,8781	13,9678
16	RÓWNAŃE PROSTEJ REGRESJI	$\hat{y}_i = 12,8781 - 0,3605 \hat{x}_i$ $\lg N_i = 12,8781 - 0,3605 \lg i$	$\hat{y}_i = 13,9678 - 0,3598 \hat{x}_i$ $\lg N_i = 13,9678 - 0,3598 \lg i$
17	r	-0,9047	-0,9042
18	B	0,8185	0,8176

Tabela 17

Wyznaczenie równań prostych regresji i współczynników korelacji dla grupy próbek toczonych powlekanych Poliamidem M.

LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ	LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ
1	p	3	9	$\bar{x}$	18,6
2	k_i	4, 4, 4	10	$\bar{y}$	6,4222
3	n	12	11	$\sum x^2$	32,0
4	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}$	232,2	12	$\sum y^2$	4,1111
5	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	4183,52	13	$\sum xy$	-10,0646
6	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	77,0668	14	b	-0,3145
7	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	499,0520	15	a	12,2722
8	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$	1423,3779	16	$r; B$	-0,8775 ; 0,7700
RÓWNANIE PROSTEJ REGRESJI		$\hat{y}_i = 12,2722 - 0,3145 \hat{x}_i ; \lg N_i = 12,2722 - 0,3145 B_i$			

Tabela 18

Wyznaczenie równań prostych regresji i współczynników korelacji dla grupy próbek toczonych powlekanych Epidianem 1.

LP	OZNACZENIE	RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	
		$q = 0,08 \text{ mm}$	$q = 0,18 \text{ mm}$
1	p	3	3
2	k_i	3; 3; 4	3; 3; 4
3	n	10	10
4	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}$	204,0	204,0
5	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	4189,20	4189,20
6	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	64,9649	71,9925
7	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	426,6914	520,3732
8	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$	1314,7547	1461,3751
9	$\bar{x}$	20,4	20,4
10	$\bar{y}$	6,4965	7,1993
11	$\sum' x^2$	27,6	27,6
12	$\sum' y^2$	4,6476	2,0812
13	$\sum' xy$	-10,5293	-7,2719
14	b	-0,3815	-0,2635
15	a	14,2790	12,5242
16	RÓWNAŃ PROSTYCH REGRESJI	$\hat{y}_i = 14,2790 - 0,3815 \hat{x}_i$ $\lg N_i = 14,2790 - 0,3815 \hat{G}_i$	$\hat{y}_i = 12,5242 - 0,2635 \hat{x}_i$ $\lg N_i = 12,5242 - 0,2635 \hat{G}_i$
17	r	-0,9297	-0,9595
18	δ	0,8643	0,9206

Tabela 19

Wyznaczenie równań prostych regresji i współczynników korelacji dla grupy próbek drażonych powlekanych Poliamidem M.

LP	OZNACZENIE	RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	
		g = 0,08 mm POKRYTE NA ZEWNĄTRZ	g = 0,08 mm POKRYTE NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ
1	P	3	3
2	k _i	3, 3, 3	3, 3, 3
3	n	9	9
4	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}$	167,4	167,4
5	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	3137,56	3137,56
6	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}$	64,4146	57,3386
7	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	464,1500	368,4716
8	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} y_{ij}$	1189,8380	1058,1076
9	$\bar{x}$	18,6	18,6
10	$\bar{y}$	7,1572	6,3710
11	$\sum' x^2$	23,92	23,92
12	$\sum' y^2$	3,1233	3,1699
13	$\sum' xy$	-8,2736	-8,3904
14	b	-0,3459	-0,3508
15	a	13,5909	12,8953
16	RÓWNANIE PROSTEJ REGRESJI	$\hat{y}_i = 13,5909 - 0,3459 \hat{x}_i$	$\hat{y}_i = 12,8953 - 0,3508 \hat{x}_i$
		$\lg N_i = 13,5909 - 0,3459 \hat{b}_i$	$\lg N_i = 12,8953 - 0,3508 \hat{b}_i$
17	r	-0,9572	-0,9636
18	B	0,9162	0,9285

Tabela 20

Wyznaczenie równań prostych regresji i współczynników korelacji dla grupy próbek drażonych powlekanych Epidianem 1.

LP	OZNACZENIE	RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)		
		g=0,08 mm NA ZEWNĄTRZ	g=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ	g=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ
1	ρ	3	3	3
2	k_i	3; 3; 3	3; 3; 3	3; 3; 3
3	n	9	9	9
4	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}$	167,4	167,4	167,4
5	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	3137,4	3137,4	3137,4
6	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	49,1236	56,9781	61,3833
7	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	270,9547	370,0852	422,7950
8	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$	905,8176	1046,1241	1132,5270
9	$\bar{x}$	18,6	18,6	18,6
10	$\bar{y}$	5,4582	6,3309	6,8204
11	$\sum' x^2$	24,0	24,0	24,0
12	$\sum' y^2$	2,8294	9,3625	4,1384
13	$\sum' xy$	-8,1120	-13,6686	-9,2024
14	b	-0,3380	-0,5695	-0,3824
15	a	11,7450	16,9236	13,9516
16	RÓWNAŃ PROSTEJ REGRESJI	$\hat{y}_i = 11,7450 - 0,3380 \hat{x}_i$	$\hat{y}_i = 16,9236 - 0,5695 \hat{x}_i$	$\hat{y}_i = 13,9516 - 0,3824 \hat{x}_i$
		$\lg N_i = 11,7450 - 0,3380 \delta_i$	$\lg N_i = 16,9236 - 0,5695 \delta_i$	$\lg N_i = 13,9516 - 0,3824 \delta_i$
17	r	-0,9844	-0,9119	-0,9234
18	β	0,9691	0,8315	0,8526

Tabela 21

Sprawdzenie istotności korelacji liniowej dla grupy próbek niepowlekanych.

RODZAJ PRÓBEK	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA							
		Σ'	j	S^2	$F_1^0 = \frac{S_c^2}{S_b^2}$	$F_2^0 = \frac{S_a^2}{S_b^2}$	$F_{j_1, j_2; 0,05}$	WNIOSKI				
PRÓBKI SZLIFOWANE	$\Sigma' c^2$	7,2974		7,2974	244,060	3,520	$F_{1;20;0,05} = 4,35$ $F_{2;20;0,05} = 3,49$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Istnieje pewna zmienność nie wywołana ani korelacją ani błędem pomiarów				
	j _c		1									
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,2104		0,1052								
	j _r		2	0,0299								
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,5980										
	j _b		20	0,3524								
	$\Sigma' y^2$	8,1058										
j _o		25										
PRÓBKI TOCZONE	$\Sigma' c^2$	9,4493		9,4493	127,349	3,699	$F_{1;12;0,05} = 4,75$ $F_{2;12;0,05} = 3,88$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna 2. Różnica między wariancjami $\hat{y}^2$ i $\hat{y}_b^2$ jest nieistotna				
	j _c		1						0,2745			
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,5490										
	j _r		2	0,0742								
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,8924										
	j _b		12	0,7260								
	$\Sigma' y^2$	10,8907										
j _o		15										
PRÓBKI DRAŻONE	$\Sigma' c^2$	1,8393		1,8393	142,581	1,162	$F_{1;7;0,05} = 5,59$ $F_{2;7;0,05} = 5,59$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna 2. Różnica między wariancjami $\hat{y}^2$ i $\hat{y}_b^2$ jest nieistotna				
	j _c		1						0,0111			
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,0111										
	j _r		1	0,0129								
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,0904										
	j _b		7	0,2156								
	$\Sigma' y^2$	1,9408										
j _o		9										

Tabela 22

Sprawdzenie istotności korelacji liniowej dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA			
		Σ'	j	S^2	$F_1^0 = \frac{S_c^2}{S_b^2}$	$F_2^0 = \frac{S_a^2}{S_b^2}$	$F_{j_1, j_2; 0,05}$	WNIOSKI
q = 0.02 mm	$\Sigma' c^2$	3, 9189		3, 9189	13, 912	80, 486	$F_{1; 11; 0,05} = 4, 84$ $F_{11; 1; 0,05} = 243$	1. Przyjęta korelacja jest istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami S_c^2 i S_b^2 jest nieistotna
	j _c		1					
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0, 0035		0, 0035				
	j _R		1					
	$\Sigma \Sigma' y^2$	3, 0983		0, 2817				
	j _b		11					
	$\Sigma' y^2$	7, 0207		0, 5401				
j _o		13						
q = 0.04 mm	$\Sigma' c^2$	5, 4639		5, 4639	92, 462	7, 9645	$F_{1; 11; 0,05} = 4, 84$ $F_{11; 1; 0,05} = 4, 84$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Istnieje pewna zmienność nie wywołana ani korelacją, ani błędem pomiarów
	j _c		1					
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0, 4707		0, 4707				
	j _R		1					
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0, 6505		0, 0591				
	j _b		11					
	$\Sigma' y^2$	6, 5851		0, 5065				
j _o		13						
q = 0.08 mm	$\Sigma' c^2$	5, 2234		5, 2234	23, 329	9, 176	$F_{1; 15; 0,05} = 4, 54$ $F_{15; 1; 0,05} = 245$	1. Przyjęta korelacja jest istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami S_c^2 i S_b^2 jest nieistotna
	j _c		1					
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0, 0244		0, 0244				
	j _R		1					
	$\Sigma \Sigma' y^2$	3, 3591		0, 2239				
	j _b		15					
	$\Sigma' y^2$	8, 6069		0, 5063				
j _o		17						

Tabela 23

Sprawdzenie istotności korelacji liniowej dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA			
		Σ'	j	s^2	$F_1^0 =$ $S_C^2 : S_b^2$	$F_2^0 =$ $S_R^2 : S_b^2$	$F_{j_1, j_2; 0,05}$	WNIOSEKI
g = 0,08 mm	$\Sigma' C^2$	3,1183			53,950	2,962	$F_{1;9;0,05} = 5,12$ $F_{1;9;0,05} = 5,12$	1. Przyjęta korelacja jest bar- dzo istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancja- mi S_C^2 i S_b^2 jest nieistotna.
	j _c		1	3,1183				
	$\Sigma' G^2$	0,1712						
	j _R		1	0,1712				
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,5205						
	j _b		9	0,0578				
	$\Sigma' y^2$	3,8100						
g = 0,18 mm	j _o		11	0,3464	44,097	1,204	$F_{1;9;0,05} = 5,12$ $F_{1;9;0,05} = 5,12$	1. Przyjęta korelacja jest bar- dzo istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancja- mi S_R^2 i S_b^2 jest nieistotna.
	$\Sigma' C^2$	4,2730						
	j _c		1	4,2730				
	$\Sigma' G^2$	0,0805						
	j _R		1	0,0805				
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,8725						
	j _b		9	0,0969				
	$\Sigma' y^2$	5,2260						
	j _o		11	0,4751				

Tabela 24

Sprawdzenie istotności korelacji liniowej dla grupy próbek toczonych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA			
		Σ'	j	s^2	$F_1^0 = \frac{S_C^2}{S_b^2}$	$F_2^0 = \frac{S_R^2}{S_b^2}$	$F_{j_1; j_2; 0,05}$	WNIOSKI
g = 0,08 mm	$\Sigma' c^2$	3,1655		3,1655	35,017	1,460	$F_{1;9;0,05} = 5,12$ $F_{1;9;0,05} = 5,12$	1. Przyjęta korelacja jest istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami S_R^2 i S_b^2 jest nieistotna
	j_c		1					
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,1320		0,1320				
	j_2		1					
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,8136		0,0904				
	j_b		9					
	$\Sigma' y^2$	4,1111		0,3737				
j_0		11						

Tabela 25

Sprawdzenie istotności korelacji liniowej dla grupy próbek toczonych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA			
		Σ'	j	S^2	$F_1^0 = \frac{S_c^2}{S_b^2}$	$F_2^0 = \frac{S_g^2}{S_b^2}$	$F_{j_1; j_2; 0,05}$	WNIOSKI
q = 0,08 mm	$\Sigma' c^2$	4,0169		4,0169	45,6466	5,9864	$F_{1;7;0,05} = 5,59$ $F_{7;7;0,05} = 237$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Nie ma istotnej różnicy między S_b^2 i S_g^2
	j _c		1					
	$\Sigma' g^2$	0,0147		0,0147				
	j _g		1					
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,6160		0,0880				
	j _b		7					
	$\Sigma' y^2$	4,6476		0,5164				
	j _o		9					
q = 0,18 mm	$\Sigma' c^2$	1,9160		1,9160	82,5862	9,28	$F_{1;7;0,05} = 5,59$ $F_{7;7;0,05} = 237$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Nie ma istotnej różnicy między S_b^2 i S_g^2
	j _c		1					
	$\Sigma' g^2$	0,0025		0,0025				
	j _g		1					
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,1627		0,0232				
	j _b		7					
	$\Sigma' y^2$	2,0812		0,2312				
	j _o		9					

Tabela 26

Sprawdzenie istotności korelacji liniowej dla grupy próbek drążonych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA			
		Σ'	j	S^2	$F_1^0 = \frac{S_c^2}{S_b^2}$	$F_2^0 = \frac{S_R^2}{S_b^2}$	$F_{j_1, j_2; 0.05}$	WNIOSEKI
g=0,08 mm POKRYTE NA ZEWNĄTRZ	$\Sigma' c^2$	2,8617		2,8617	85,937	1,859	$F_{1,6;0,05} = 5,99$ $F_{1,6;0,05} = 5,99$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami S_R^2 i S_b^2 jest nieistotna
	j _c		1					
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,0619		0,0619				
	j _R		1					
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,1997		0,0333				
	j _b		6					
	$\Sigma' y^2$	3,1233		0,3904				
g=0,08 mm POKRYTE NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ	j _o		8		115,820	2,933	$F_{1,6;0,05} = 5,99$ $F_{1,6;0,05} = 5,99$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami S_R^2 i S_b^2 jest nieistotna
	$\Sigma' c^2$	2,9431		2,9431				
	j _c		1					
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,0745		0,0745				
	j _R		1					
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,1523		0,0254				
	j _b		6					
	$\Sigma' y^2$	3,1699		0,3962				
	j _o		8					

Tabela 27

Sprawdzenie istotności korelacji liniowej dla grupy próbek drażnionych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA							
		Σ'	j	s^2	$F_1^0 = \frac{s_c^2}{s_b^2}$	$F_2^0 = \frac{s_r^2}{s_b^2}$	$F_{j,i;j,2;0,05}$	WNIOSKI				
q=0,08 mm NA ZEWNĄTRZ	$\Sigma' c^2$	2,7419		2,7419	238,426	1,6	$F_{1;6;0,05} = 5,99$ $F_{1;6;0,05} = 5,99$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami s_c^2 i s_b^2 jest nieistotna.				
	j _c		1									
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,0184		0,0184								
	j _r		1									
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,0691		0,0115								
	j _b		6									
q=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ	$\Sigma' y^2$	2,8294		0,3537	30,010	12,009	$F_{1;6;0,05} = 5,99$ $F_{6;1;0,05} = 234,0$	1. Przyjęta korelacja jest istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami s_c^2 i s_b^2 jest nieistotna.				
	j _o		8									
	$\Sigma' c^2$	7,7846		7,7846								
	j _c		1									
	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,0216		0,0216								
	j _r		1									
q=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ I WENĄTRZ	$\Sigma \Sigma' y^2$	1,5563		0,2594	36,909	2,634	$F_{1;6;0,05} = 5,99$ $F_{6;1;0,05} = 234,0$	1. Przyjęta korelacja jest istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami s_c^2 i s_b^2 jest nieistotna.				
	j _b		6									
	$\Sigma' y^2$	9,3625		1,1703								
	j _o		8									
	$\Sigma' c^2$	3,5285		3,5285								
	j _c		1									
q=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ I WENĄTRZ	$\Sigma' \hat{y}^2$	0,0363		0,0363	36,909	2,634	$F_{1;6;0,05} = 5,99$ $F_{6;1;0,05} = 234,0$	1. Przyjęta korelacja jest istotna. 2. Różnica pomiędzy wariancjami s_c^2 i s_b^2 jest nieistotna.				
	j _r		1									
	$\Sigma \Sigma' y^2$	0,5736		0,0956								
	j _b		6									
	$\Sigma' y^2$	4,1384		0,5173								
	j _o		8									

Tabela 28

Obliczenie wariancji oszacowania oraz 1/2 PU dla grupy próbek niepowlekanych.

RODZAJ PRÓBK	POZIOM NAPREŻENIA $\hat{x}_i = \bar{x}$		LOGARYTM ŻYWIOTNOŚCI WG RÓWNIANIA REGRESJI $\hat{y}_i = \lg N_i$		WARIANCJA OSZACOWANIA				1/2 PRZEDZIAŁU UFNOŚCI			
					$s^2(\hat{y})$	$s^2(b)$	$s^2(\hat{y}_i)$	$s^2(\hat{Y})$	$t_{n-2, \alpha}$	$t_{n-2, \alpha} \cdot s(b)$	$t_{n-2, \alpha} \cdot s(\hat{y}_i)$	$t_{n-2, \alpha} \cdot s(\hat{Y}_i)$
PRÓBK SZLIFOWANE	x_0	22.6	y_0	5.1970	0.0367	0.000367	0.0102	0.0469	$t_{22, 0.05} = 2.074$	0.0398	0.2090	0.4492
	x_1	20.6	y_1	5.7373			0.0045	0.0412			0.1394	0.4212
	x_2	18.6	y_2	6.2775			0.0018	0.0385			0.0879	0.4071
	$\bar{x}$	17.75	$\bar{y}$	6.5068			0.0015	0.0382			0.0803	0.4054
	x_3	16.6	y_3	6.8177			0.0020	0.0388			0.0931	0.4084
	x_4	15.2	y_4	7.1958			0.0039	0.0407			0.1298	0.4181
PRÓBK TOCZONE	x_1	22.6	y_1	4.5945	0.1030	0.001287	0.0180	0.1210	$t_{14, 0.05} = 2.131$	0.0764	0.2859	0.7413
	x_2	20.6	y_2	5.2819			0.0077	0.1107			0.1870	0.7090
	$\bar{x}$	19.6	$\bar{y}$	5.6260			0.0064	0.1094			0.1705	0.7048
	x_3	18.6	y_3	5.9693			0.0077	0.1107			0.1870	0.7090
	x_4	16.6	y_4	6.6567			0.0180	0.1210			0.2859	0.7413
PRÓBK DRAŻONE	x_0	22.6	y_0	4.6867	0.01269	0.000529	0.0097	0.0224	$t_{8, 0.05} = 2.306$	0.0530	0.2274	0.3452
	x_1	20.6	y_1	5.2403			0.0034	0.0161			0.1341	0.2923
	$\bar{x} = x_2$	18.6	$\bar{y} = y_2$	5.7939			0.0013	0.0140			0.0821	0.2724
	x_3	16.6	y_3	6.3475			0.0034	0.0161			0.1341	0.2923

Tabela 29

Obliczenie wariancji oszacowania oraz 1/2 PU dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	POZIOM NAPRĘŻENIA $\hat{x}_i = 5$	LOGARYTM ŻYWIOTNOŚCI WG RÓWN. REGRESJI $\hat{y}_i = \lg N_i$	WARIANCJA OSZACOWANIA				$\frac{1}{2}$ PRZEDZIAŁU UFNOŚCI			
							$t_{n-2;\alpha}$	$t_{n-2;\alpha} \cdot S(b)$	$t_{n-2;\alpha} \cdot S(\hat{y}_i)$	$t_{n-2;\alpha} \cdot S(\hat{y}_i)$
q = 0,02 mm	x_0	22,6	y_0	5, 6139	0,2585	0,008112	$t_{12;0,05} = 2,179$	0,1961	0,8385	1,3895
	x_1	20,6	y_1	6, 3139					0,4916	1,2120
	$\bar{x} = x_2$	18,6	$\bar{y} = y_2$	7, 0139					0,2963	1,1468
	x_3	16,6	y_3	7, 7139					0,4916	1,2120
q = 0,04 mm	x_0	22,6	y_0	5, 6182	0,0934	0,002911	$t_{12;0,05} = 2,179$	0,1178	0,5036	0,8350
	x_1	20,6	y_1	6, 4446					0,2953	0,7287
	$\bar{x} = x_2$	18,6	$\bar{y} = y_2$	7, 2710					0,1780	0,6894
	x_3	16,6	y_3	8, 0974					0,2953	0,7287
q = 0,08 mm	x_1	22,6	y_1	6, 0879	0,1658	0,003500	$t_{16;0,05} = 2,120$	0,1255	0,3224	0,9216
	$\bar{x} = x_2$	20,6	$\bar{y} = y_2$	6, 7477					0,2033	0,8868
	x_3	18,6	y_3	7, 4075					0,3229	0,9216
	x_4	16,6	y_4	8, 0673					0,5412	1,0189

Tabela 30

Obliczenie wariancji oszacowania oraz 1/2 PU dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	POZIOM NAPRĘŻENIA $\hat{x}_i = 6$		LOGARYTM ŻYWIOTNOŚCI WG RÓWN. REGRESJI $\hat{y}_i = \lg N_i$		WARIANCJA OSZACOWANIA				1/2 PRZEDZIAŁU UFNOŚCI			
					$s^2(\hat{y})$	$s^2(b)$	$s^2(\hat{y}_i)$	$s^2(Y_i)$	$t_{n-2;\alpha}$	$t_{n-2;\alpha} \cdot s(b)$	$t_{n-2;\alpha} \cdot s(\hat{y}_i)$	$t_{n-2;\alpha} \cdot s(\hat{Y}_i)$
q = 0,08 mm	x_0	22,6	y_0	4,7308	0,0692	0,002882	0,0519	0,1211	$t_{10;0,05} = 2,228$	0,1196	0,5075	0,7753
	x_1	20,6	y_1	5,4518			0,0173	0,0865			0,2930	0,6553
	$\bar{x} = x_2$	18,6	$\bar{y} = y_2$	6,1728			0,0058	0,0750			0,1698	0,6102
	x_3	16,6	y_3	6,8938			0,0173	0,0865			0,2930	0,6553
q = 0,18 mm	x_1	22,6	y_1	5,8363	0,0953	0,002888	0,0260	0,1213	$t_{10;0,05} = 2,228$	0,1196	0,3592	0,7760
	x_2	20,6	y_2	6,5559			0,0086	0,1039			0,2065	0,7181
	$\bar{x}$	20,1	$\bar{y}$	6,7350			0,0080	0,1023			0,1992	0,7130
	x_3	18,6	y_3	7,2755			0,0144	0,1097			0,2674	0,7379
	x_4	16,6	y_4	7,9951			0,0433	0,1386			0,4636	0,8295

Tabela 31

Obliczenie wariancji oszacowania oraz 1/2 PU dla grupy próbek toczonych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	POZIOM NAPRĘŻENIA $\hat{x}_i = 6$		LOGARYTM ŻYWIOTNOŚCI WG RÓWN. REGRESJI $\hat{y}_i = \lg N_i$		WARIANCJA OSZACOWANIA				1/2 PRZEDZIAKU UFNOŚCI			
					$s^2(\hat{y})$	$s^2(b)$	$s^2(\hat{y}_i)$	$s^2(\hat{Y}_i)$	$t_{n-2; \alpha}$	$t_{n-2; \alpha} \cdot s(b)$	$t_{n-2; \alpha} \cdot s(\hat{y}_i)$	$t_{n-2; \alpha} \cdot s(\hat{Y}_i)$
q=0,02	x_2	18,6	y_2	6,2539	—	—	0,0537	0,2158	$t_{3;0,05}=3,182$	—	0,7376	1,4860
q=0,04	x_2	18,6	y_2	6,5149	—	—	0,0147	0,0587	$t_{3;0,05}=3,182$	—	0,1270	0,7716
q=0,08 mm	x_0	22,6	y_0	5,1645	0,0946	0,002921	0,0543	0,1489	$t_{10;0,05}=2,201$	0,1185	0,5129	0,8493
	x_1	20,6	y_1	5,7935			0,0195	0,1141			0,3074	0,7435
	$\bar{x}=x_2$	18,6	$\bar{y}=y_2$	6,4225			0,0079	0,1025			0,1956	0,7047
	x_3	16,6	y_3	7,0515			0,0195	0,1141			0,3074	0,7435

Tabela 32

Obliczenie wariancji oszacowania oraz 1/2 PU dla grupy próbek toczonych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ PÓWKI	POZIOM NAPRĘŻENIA		LOGARYTM ŻYWIOTNOŚCI WG RÓWNIANIA REGRESJI		WARIANCJA OSZACOWANIA				1/2 PRZEDZIAŁU UFNOŚCI			
					$s^2(\hat{q})$	$s^2(b)$	$s^2(\hat{y}_i)$	$s^2(\hat{Y}_i)$	$t_{n-2, \alpha}$	$t_{n-2, \alpha} \cdot s(b)$	$t_{n-2, \alpha} \cdot s(\hat{y}_i)$	$t_{n-2, \alpha} \cdot s(\hat{Y}_i)$
q = 0,08 mm	x_1	22,6	y_1	5,6571	0,0788	0,002855	0,0217	0,1005	$t_{8;0,05} = 2,306$	0,1232	0,3397	0,7310
	x_2	20,6	y_2	6,4201			0,0080	0,0868			0,2062	0,6793
	$\bar{x}$	20,4	$\bar{y}$	6,4965			0,0079	0,0867			0,2050	0,6790
	x_3	18,6	y_3	7,1831			0,0172	0,0960			0,3023	0,7144
	x_4	16,6	y_4	7,9461			0,0491	0,1279			0,5110	0,8246
q = 0,18 mm	x_1	22,6	y_1	6,5691	0,0207	0,000748	0,0057	0,0264	$t_{8;0,05} = 2,306$	0,0631	0,1384	0,3747
	x_2	20,6	y_2	7,0961			0,0021	0,0228			0,1057	0,3482
	$\bar{x}$	20,4	$\bar{y}$	7,1993			0,0021	0,0228			0,1057	0,3482
	x_3	18,6	y_3	7,6231			0,0045	0,0252			0,1547	0,3660
	x_4	16,6	y_4	8,1501			0,0129	0,0336			0,2620	0,4227

Tabela 33

Obliczenie wariancji oszacowania oraz 1/2 PU dla grupy próbek drążonych powlekanych Poliamidem M.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)		POZIOM NAPRĘŻENIA $\hat{x}_i = 6$		LOGARYTM ŻYWIOTNOŚCI WG RÓWN. REGRESJI $\hat{y}_i = \lg N_i$		WARIANCJA OSZACOWANIA				$\frac{1}{2}$ PRZEDZIAŁU UFNOŚCI			
						$s^2(y)$	$s^2(b)$	$s^2(\hat{y}_i)$	$s^2(Y_i)$	$t_{n-2; \alpha}$	$t_{n-2; \alpha} \cdot s(b)$	$t_{n-2; \alpha} \cdot s(\hat{y}_i)$	$t_{n-2; \alpha} \cdot s(Y_i)$
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ	0,02	x_2	18,6	y_2	6,3170	—	—	0,1744	0,5232	$t_{2; 0,05} = 4,303$	—	1,7970	3,1125
	0,04	x_2	18,6	y_2	6,8633	—	—	0,0109	0,0327		—	0,4492	0,7781
	g = 0,08 mm	x_0	22,6	y_0	5,7736	0,0374	0,001564	0,0292	0,0666	$t_{7; 0,05} = 2,365$	0,0934	0,4041	0,6104
		x_1	20,6	y_1	6,4654			0,0104	0,0478			0,2412	0,5170
		$\bar{x} = x_2$	18,6	$\bar{y} = y_2$	7,1572			0,0042	0,0416			0,1533	0,4825
		x_3	16,6	y_3	7,8490			0,0104	0,0478			0,2412	0,5170
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ g = 0,08 mm	g = 0,08 mm	x_0	22,6	y_0	4,9672	0,0324	0,001353	0,0253	0,0577	$t_{7; 0,05} = 2,365$	0,0871	0,3762	0,5681
		x_1	20,6	y_1	5,6688			0,0090	0,0414			0,2244	0,4812
		$\bar{x} = x_2$	18,6	$\bar{y} = y_2$	6,3710			0,0036	0,0360			0,1419	0,4487
		x_3	16,6	y_3	7,0720			0,0090	0,0414			0,2244	0,4812

Tabela 34

Obliczenie wariancji oszacowania oraz $1/2$ PU dla grupy próbek drażonych powlekanych Epidianem 1.

RODZAJ PRÓBEK	POZIOM NAPRĘŻENIA		LOGARYTM ŻYWIOTNOŚCI WG RÓWN. REGRESJI		WARIANCJA OSZACOWANIA				$1/2$ PRZEDZIAŁU UFNOŚCI			
	$\hat{x}_i = \sigma$		$\hat{y}_i = \lg N_i$		$s^2(\hat{y})$	$s^2(b)$	$s^2(\hat{y}_i)$	$s^2(Y_i)$	$t_{n-2;\alpha}$	$t_{n-2;\alpha} \cdot s(b)$	$t_{n-2;\alpha} \cdot s(\hat{y}_i)$	$t_{n-2;\alpha} \cdot s(Y_i)$
g=0,08 mm NA ZEWNĄTRZ	x_0	22,6	y_0	4,1062	0,0125	0,000521	0,0097	0,0222	$t_{7;0,05} = 2,365$	0,0540	0,2329	0,3524
	x_1	20,6	y_1	4,7822			0,0035	0,0160			0,1399	0,2992
	$\bar{x} = x_2$	18,6	$\bar{y} = y_2$	5,4582			0,0014	0,0139			0,0885	0,2788
	x_3	16,6	y_3	6,1342			0,0035	0,0160			0,1399	0,2992
g=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ	x_0	22,6	y_0	4,0529	0,2254	0,009392	0,1753	0,4007	$t_{7;0,05} = 2,365$	0,2292	0,9902	1,4971
	x_1	20,6	y_1	5,1919			0,0626	0,2880			0,5917	1,2692
	$\bar{x} = x_2$	18,6	$\bar{y} = y_2$	6,3309			0,0250	0,2504			0,3739	1,1834
	x_3	16,6	y_3	7,4699			0,0626	0,2880			0,5917	1,2692
g=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ	x_0	22,6	y_0	5,2868	0,0871	0,003630	0,0678	0,1549	$t_{7;0,05} = 2,365$	0,1425	0,6158	0,9308
	x_1	20,6	y_1	6,0536			0,0242	0,1113			0,3679	0,7890
	$\bar{x} = x_2$	18,6	$\bar{y} = y_2$	6,8204			0,0097	0,0968			0,2329	0,7358
	x_3	16,6	y_3	7,5872			0,0242	0,1113			0,3679	0,7890

Tabela 35

95%-owe przedziały ufności wartości oczekiwanej i pojedynczego zdarzenia dla grupy próbek niepowlekanych.

RODZAJ PRÓBEK	POZIOM NAPRĘŻENIA	ŻYWIOTNOŚĆ WG RÓWNANIA REGRESJI		95% - owe PRZEDZIAŁY UFNOŚCI									
				$b \pm 1/2 \text{ PU}(b)$		$\hat{y}_i \pm 1/2 \text{ PU}(\hat{y}_i)$				$\hat{y}_i \pm 1/2 \text{ PU}(\hat{y}_i)$			
				b_g	b_d	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$
PRÓBK SZLIFOWANE	22,6	5,1970	157,4	- 0,3099	- 0,2303	5,4060	4,9880	254,7	97,3	5,6462	4,7478	442,8	55,9
	20,6	5,7373	546,1			5,8767	5,5979	753,0	396,1	6,1585	5,3161	1444,0	207,0
	18,6	6,2775	1894,5			6,3654	6,1896	2913,0	1583,0	6,6846	5,8704	4838,0	742,0
	17,75	6,5068	3212,0			6,5871	6,4265	3864,0	2670,0	6,9122	6,1014	8170,0	1263,0
	16,6	6,8177	6571,0			6,9108	6,7246	8143,0	5304,0	7,2261	6,4093	16830,0	2566,0
	15,2	7,1958	1570,0			7,3256	7,0660	21160,0	11640,0	7,6139	6,7777	41210,0	5993,0
PRÓBK TOCZONE	22,6	4,5945	39,3	- 0,4201	- 0,2673	4,8804	4,3086	75,9	20,4	5,3358	3,8532	216,6	7,1
	20,6	5,2819	191,4			5,4689	5,0949	294,4	124,4	5,9909	4,5729	979,1	37,4
	19,6	5,6260	422,7			5,7965	5,4555	626,0	285,5	6,3308	4,9212	2142,0	83,4
	18,6	5,9693	932,0			6,1563	5,7823	1433,0	605,7	6,6783	5,2603	4768,0	182,1
	16,6	6,6567	4642,0			6,9426	6,3708	8761,0	2348,0	7,3980	5,9154	25010,0	823,0
PRÓBK DRAŻONE	22,6	4,6867	48,6	- 0,3298	- 0,2238	4,9141	4,4593	82,0	28,8	5,0319	4,3415	107,6	21,9
	20,6	5,2403	173,9			5,3744	5,1062	236,8	127,7	5,5326	4,9480	340,9	88,7
	18,6	5,7939	622,2			5,8760	5,7118	751,7	515,0	6,0663	5,5215	1165,0	332,3
	16,6	6,3475	2225,0			6,4816	6,2134	3032,0	1634,0	6,6398	6,0552	4363,0	1135,5

Tabela 36

95%-owe przedziały ufności wartości oczekiwanej i pojedynczego zdarzenia dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	POZIOM NAPRĘŻENIA	ŻYWIOTNOŚĆ WG RÓWNIANIA REGRESJI		95 %-owe PRZEDZIAŁY UFNOŚCI									
				$b \pm 1/2 PU(b)$		$\hat{y}_i \pm 1/2 PU(\hat{y}_i)$				$\hat{y}_i \pm 1/2 PU(\hat{y}_i)$			
				$\hat{x}_i$	$\hat{y}_i$	$\hat{N}_i \times 10^3$	b_g	b_d	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$	$\hat{y}_{ig}$
g = 0,02 mm	22,6	5, 6139	411,0	-0,5461	-0,1539	6, 4524	4, 7754	2834,0	59,6	7, 0034	4, 2244	10080,0	16,8
	20,6	6, 3139	2060,0			6, 8055	5, 8223	6390,0	664,0	7, 5259	5, 1019	33560,0	126,4
	18,6	7, 0139	10320,0			7, 3102	6, 7176	20430,0	5220,0	8, 1607	5, 8671	144800,0	737,0
	16,6	7, 7139	51700,0			8, 2055	7, 2223	160400,0	16680,0	8, 9259	6, 5019	843000,0	3176,0
g = 0,04 mm	22,6	5, 6182	415,0	-0, 5310	-0, 2954	6, 1218	5, 1146	1323,6	130,2	6, 4532	4, 7832	2840,0	60,7
	20,6	6, 4446	2784,0			6, 7399	6, 1493	5494,0	1410,0	7, 1733	5, 7159	14900,0	519,0
	18,6	7, 2710	18666,6			7, 4490	7, 0930	28120,0	12389,0	7, 9604	6, 5816	91290,0	3816,0
	16,6	8, 0974	125100,0			8, 3927	7, 8021	247000,0	63400,0	8, 8261	7, 3687	670000,0	23370,0
g = 0,08 mm	22,6	6, 0879	1224,0	-0, 4554	-0, 2044	6, 4108	5, 7650	2574,0	582,0	7, 0095	5, 1663	10220,0	146,6
	20,6	6, 7477	5594,0			6, 9510	6, 5444	8930,0	3502,0	7, 6345	5, 8609	43100,0	726,0
	18,6	7, 4075	25560,0			7, 7304	7, 0846	53750,0	12150,0	8, 3291	6, 4859	213400,0	3060,0
	16,6	8, 0673	116800,0			8, 6085	7, 5261	406000,0	33600,0	9, 0862	7, 0484	1219000,0	11180,0

Tabela 37

95%-owe przedziały ufności wartości oczekiwanej i pojedynczego zdarzenia dla grupy próbek szlifowanych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	POZIOM NAPRĘŻENIA	ŻYWOTNOŚĆ WG RÓWNAŃ REGRESJI		95%-owe PRZEDZIAŁY UFNOŚCI									
				$b \pm \frac{1}{2} PU(b)$		$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$				$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$			
				b_g	b_d	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$
g = 0,08 mm	22,6	4,7308	53,8	-0,4801	-0,2409	5,2383	4,2233	173,1	16,7	5,5061	3,9555	320,7	9,0
	20,6	5,4518	283,0			5,7448	5,1588	555,6	144,1	6,1071	4,7965	1280,0	62,6
	18,6	6,1728	1488,6			6,3426	6,0030	2201,0	1007,0	6,7830	5,5626	6067,0	365,2
	16,6	6,8938	7830,0			7,1868	6,6008	15370,0	3988,0	7,5491	6,2385	35410,0	1732,0
g = 0,18 mm	22,6	5,8363	686,0	-0,1794	-0,2402	6,1955	5,4771	1569,0	300,0	6,6123	5,0603	4094,0	114,9
	20,6	6,5559	3591,5			6,7624	6,3494	5810,0	2288,0	7,2740	5,8378	18790,0	688,3
	20,1	6,7350	5432,0			6,9342	6,5358	8595,0	3434,0	7,4480	6,0220	28050,0	1052,0
	18,6	7,2755	18860,0			7,5429	7,0081	34900,0	10190,0	8,0134	6,5376	103100,0	3443,0
	16,6	7,9951	98860,0			8,4587	7,5315	287500,0	34000,0	8,8246	7,1656	667700,0	14640,0

Tabela 38

95%-owe przedziały ufności wartości oczekiwanej i pojedynczego zdarzenia dla grupy próbek toczonych powlekanych Poliamidem N.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	POZIOM NAPRĘŻE- NIA $\hat{x}_i$	ŻYWOTNOŚĆ WG RÓWNANIA REGRESJI $\hat{y}_i$ $\hat{N}_i \times 10^3$		95%-owe PRZEDZIAŁY UFNOŚCI									
				$b \pm \frac{1}{2} PU(b)$		$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$				$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$			
				b_g	b_d	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$
$q=0,02$	18,6	6,2539	1794,0	—	—	6,9915	5,5163	9806,0	328,3	7,7399	4,7679	54940,0	58,6
$q=0,04$	18,6	6,5149	3273,0	—	—	6,6419	6,3879	4384,0	2443,0	7,2865	5,7433	19340,0	553,8
$q=0,08$ mm	22,6	5,1645	146,0	-0,4330	-0,1960	5,6774	4,6516	475,8	44,8	6,0138	4,3152	1032,0	20,6
	20,6	5,7935	621,6			6,1009	5,4861	1261,0	306,3	6,5370	5,0500	3443,0	112,2
	18,6	6,4225	2645,0			6,6181	6,2269	4150,0	1686,0	7,1272	5,7178	13400,0	522,0
	16,6	7,0515	11260,0			7,3589	6,7441	22850,0	5548,0	7,7950	6,3080	62370,0	2033,0

Tabela 39

95%-owe przedziały ufności wartości oczekiwanej i pojedynczego zdarzenia dla grupy próbek toczonych powlekanych Epidianem 1.

GRUBOŚĆ POWŁOKI	POZIOM NAPRĘŻENIA	ŻYWIOTNOŚĆ WG R. REGRESJI		95%-owe PRZEDZIAŁY UFNOŚCI									
				$b \pm \frac{1}{2} PU(b)$		$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$				$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$			
				b_q	b_d	$\hat{y}_{iq}$	$\hat{y}_{id}$	$N_{iq} \times 10^3$	$N_{id} \times 10^3$	$\hat{y}_{iq}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{iq} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$
g = 0,08 mm	22,6	5,6571	454,0	-0,5047	-0,2583	5,9968	5,3174	993,0	208,0	6,3881	4,9261	2444,0	84,0
	20,6	6,4201	2630,0			6,6263	6,2139	4230,0	1636,0	7,0994	5,7408	12570,0	551,0
	20,4	6,4965	3137,0			6,7015	6,2915	5030,0	1957,0	7,1755	5,8175	14980,0	657,0
	18,6	7,1831	15240,0			7,4854	6,8808	30590,0	7600,0	7,8975	6,4687	78980,0	2943,0
	16,6	7,9461	88320,0			8,4571	7,4351	286500,0	27230,0	8,7707	7,1215	589800,0	13230,0
g = 0,18 mm	22,6	6,5691	3708,0	-0,3266	-0,2004	6,7075	6,4307	5100,0	2795,0	6,9438	6,1944	8785,0	1565,0
	20,6	7,0961	12480,0			7,2018	6,9904	15910,0	9780,0	7,4443	6,7479	27820,0	5591,0
	20,4	7,1993	15820,0			7,3050	7,0936	20180,0	12410,0	7,5475	6,8511	35280,0	7099,0
	18,6	7,6231	42000,0			7,7778	7,4684	59960,0	29400,0	7,9891	7,2571	97520,0	18080,0
	16,6	8,1501	141300,0			8,4121	7,8881	258300,0	77390,0	8,5728	7,7274	374000,0	53390,0

Tabela 40

95%-owe przedziały ufności wartości oczekiwanej i pojedynczego zdarzenia dla grupy próbek drążonych powlekanych Poliamidem M.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)		POZIOM NAPRĘŻENIA	ŻYWIOTNOŚĆ WG RÓWNAŃA REGRESJI		95%-owe PRZEDZIAŁY UFNOŚCI									
					$b \pm \frac{1}{2} PU(b)$		$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$				$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(Y_i)$			
					b_g	b_d	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$	Y_{ig}	Y_{id}	$N_{ig} \times 10^3$	$N_{id} \times 10^3$
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ	0,02	18,6	6,3170	2075,0	—	—	8,1140	4,5200	130 000,0	33,1	9,4295	3,2045	2688000,0	1,6
	0,04	18,6	6,8633	7300,0	—	—	7,3125	6,4141	20 540,0	2599,0	7,6414	6,0852	43800,0	1217,0
	q = 0,08 mm	22,6	5,7736	593,7	-0,4393	-0,2525	6,1777	5,3695	1506,0	234,1	6,3840	5,1632	2421,0	145,6
		20,6	6,4654	2920,0			6,7066	6,2242	5088,0	1676,0	6,9824	5,9484	9602,0	888,0
		18,6	7,1572	14 360,0			7,3105	7,0039	20 440,0	10 090,0	7,6397	6,6747	43620,0	4729,0
		16,6	7,8490	70 630,0			8,0902	7,6078	123 100,0	40 530,0	8,3660	7,3320	232 200,0	21 480,0
	q = 0,08 mm	22,6	4,9672	92,7	-0,4379	-0,2637	5,3434	4,5910	220,5	39,0	5,5353	4,3991	343,0	25,1
20,6		5,6688	466,4	5,8932			5,4444	782,0	278,3	6,1500	5,1876	1413,0	154,0	
18,6		6,3710	2349,0	6,5129			6,2291	3252,0	1695,0	6,8197	5,9223	6603,0	836,1	
16,6		7,0720	11800,0	7,2964			6,8476	19 790,0	7040,0	7,5532	6,5908	35 740,0	3898,0	

Tabela 41.

95%-owe przedziały ufności wartości oczekiwanej i pojedynczego zdarzenia dla grupy próbek drażonych powlekanych Epidianem 1.

RODZAJ PRÓBEK	POZIOM NAPRĘŻENIA	ŻYWIOTNOŚĆ WG RÓWNANIA REGRESJI		95 %-owe PRZEDZIAŁY UFNOŚCI									
				$b \pm \frac{1}{2} PU(b)$		$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$				$\hat{y}_i \pm \frac{1}{2} PU(\hat{y}_i)$			
				b_g	b_d	$\hat{y}_{ig}$	$\hat{y}_{id}$	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$	$\hat{y}_{ig}$	y_{id}	$\hat{N}_{ig} \times 10^3$	$\hat{N}_{id} \times 10^3$
q=0,08 mm NA ZEWNĄTRZ	22,6	4, 1062	12,7	- 0,3920	- 0,2840	4, 3391	3, 8733	21,8	7,5	4, 4586	3, 7538	28,8	5,7
	20,6	4, 7822	60,6			4, 9221	4, 6423	83,6	43,9	5, 0814	4, 4830	120,6	30,4
	18,6	5, 4582	287,2			5, 5467	5, 3697	352,2	234,3	5, 7370	5, 1794	545,7	151,1
	16,6	6, 1342	1362,0			6, 2741	5, 9943	1879,5	987,0	6, 4334	5, 8350	2712,0	683,9
q=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ	22,6	4, 0529	11,3	- 0,7987	- 0,3403	5, 0431	3, 0627	110,4	1,1	5, 5500	2, 5558	354,8	0,4
	20,6	5, 1919	158,2			5, 7836	4, 6002	607,5	39,8	6, 4611	3, 9227	2891,0	8,4
	18,6	6, 3309	2143,0			6, 7048	5, 9570	5186,0	909,9	7, 5143	5, 1475	32680,0	140,4
	16,6	7, 4699	29510,0			8, 0616	6, 8782	115200,0	7545,0	8, 7391	6, 2007	548400,0	1587,0
q=0,18 mm NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ	22,6	5, 2868	193,6	- 0,5249	- 0,2399	5, 9026	4, 6710	799,0	46,9	6, 2176	4, 3560	1650,0	22,7
	20,6	6, 0536	1113,3			6, 4215	5, 6857	2640,0	485,0	6, 8426	5, 2646	6960,0	183,9
	18,6	6, 8204	6613,0			7, 0533	6, 5875	11310,0	3868,0	7, 5562	6, 0846	35990,0	1215,0
	16,6	7, 5872	38650,0			7, 9551	7, 2193	90190,0	16570,0	8, 3762	6, 7982	237800,0	6282,0

Tabela 42

Parametry stabilizacji.

PARAMETRY	STABILIZACJA W PRÓŻNI	STABILIZACJA W WODZIE DESTYLOWANEJ
POWŁOKA	poliamid $q=0.08\text{ mm}$	
TEMPERATURA	$t = 90^{\circ}\text{C}$	
CZAS WYGRZEWANIA	$\tau = 5\text{ godz}$	
CHŁODZENIE	$\tau = 24\text{ godz.}$ razem z suszarką próżniową	$\tau = 24\text{ godz.}$ razem z suszarką
CISNIENIE	10^{-1} ata	atmosferyczne
POCZĄTEK STABILIZACJI	1 godz. po pokryciu	
PRZECHOWYWANIE	eksykator + żel kizemionkowy	woda destylowana
CZAS BADANIA	natychmiastowe	

Tabela 43

Wyniki pomiarów żywotności oraz niektóre dane do obliczeń statystycznych próbek stabilizowanych w wodzie i w próżni.

STABILIZOWANE W PRÓŻNI			STABILIZOWANE W WODZIE		
$N_i \times 10^3$ CYKLI	$y = \lg N_i$	y^2	$N_i \times 10^3$ CYKLI	$y = \lg N_i$	y^2
8 171,2	6, 9122	47, 7785	40 606,2	7, 6086	57, 8908
26 189,7	7, 4181	55, 0282	51 360,0	7, 7107	59, 4549
28 353,1	7, 4526	55, 5412	62 643,3	7, 7969	60, 7916
Σ^3	21, 7828	158, 3479	Σ^3	23, 1162	178, 1373

Tabela 44

Obliczenie wariancji oszacowania próbek stabilizowanych.

OZNACZENIE	NIEPOKRYTE	POKRYTE NIESTABILIZOWANE	POKRYTE STABILIZOWANE W PRÓŻNI	POKRYTE STABILIZOWANE W WODZIE	POKRYTE STABILIZOWANE WYNIKI ŁĄCZNIE
n	6,0	6,0	3,0	3,0	6,0
Σy	36, 8834	44, 2909	21, 7829	23, 1162	44, 8991
$\bar{y}$	6, 1472	7, 3818	7, 2610	7, 7054	7, 4832
Σy^2	226, 7965	328, 1024	158, 3479	179, 1373	336, 4852
$\Sigma' y^2$	0, 0656	1, 1551	0, 1830	0, 0178	0, 4970
s^2	0, 0131	0, 2310	0, 0915	0, 0089	0, 0994

Tabela 45

Analiza wariancyjna wpływu stabilizacji powłoki
na żywotność zmęczeniową.

WARIANCJA BADANIA S_1^2 UZYSKANA DLA PRÓBEK	WARIANCJA WZORCOWA S_2^2 UZYSKANA DLA PRÓBEK	$S_1^2 : S_2^2$	$F_{\alpha=0,05; i; j}$	RÓŻNICA MIĘDZY WARIANCJAMI
POWLEKANYCH NIESTABILIZOWANYCH	NIEPOWLEKANYCH	17,634	$F_{5;5;0,05} = 5,05$	różnica istotna
POWLEKANYCH STABILIZOWANYCH W PRÓŻNI		6,985	$F_{2;5;0,05} = 5,79$	różnica istotna
	POWLEKANYCH NIESTABILIZOWANYCH	2,525		różnica nieistotna
POWLEKANYCH STABILIZOWANYCH W WODZIE	NIEPOWLEKANYCH	1,472	$F_{5;2;0,05} = 19,30$	różnica nieistotna
	POWLEKANYCH NIESTABILIZOWANYCH	25,955		różnica istotna
POWLEKANYCH STABILIZOWANYCH WYNIKI ŁĄCZNE	NIEPOWLEKANYCH	7,588	$F_{5;5;0,05} = 5,05$	różnica istotna
	POWLEKANYCH NIESTABILIZOWANYCH	2,324		różnica nieistotna

Tabela 46

Analiza wpływu rodzaju próbki na żywotność.
Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności
wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_a + j_b$	WARIANCJA OSZACO- WYWANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
SZLIFOWANE	24	0,8084	22	0,0367	-1,4353	-31,5766	0,0455
TOCZONE	16	1,4414	14	0,1030	-0,9872	-13,8208	0,0714
DRAŻONE	10	0,1015	8	0,0177	-1,8692	-15,1696	0,1250
$\sum_{j=1}^3$	50	2,3513	44		-4,3187	-60,5670	0,2419
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	c	χ_c^2	$\chi_{0,001;2}^2$	WNIOSEK	
0,0534	-1,2725	10,5390	1,0365	10,1676	13,815	Wariancje jednordne	

Tabela 47

Analiza wpływu rodzaju próbki na żywotność

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZ. GRUPY E	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n_E	$\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^K y_{ij}$	$\sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^K y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{jWG; 0,05}$	WNIOSKI
SZLIFOWANE	3	24	156,1637	1024,2350	6,5068	8,4889	20,9373	$j_{MG} = 2$ $j_{WG} = 47$	4,2445	0,4454	9,5275	3,185	Rodzaj próbki istotnie wpływa na żywotność
TOCZONE	1	16	90,0154	517,3139	5,6260								
DRAŻONE	2	10	57,9390	337,6336	5,7939								
$\sum_{i=1}^m$	3	50	304,1181	1879,1825	17,9267								

B

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZ. GRUPY m	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	j_{WG}	S_{WG}^2	$D_{0,05; p; j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSKI
TOCZONE	1	5,6260	47	0,4454	$D_{0,05; 2; 47} = 2,85$ $D_{0,05; 3; 47} = 3,00$	$R'_2 = 1,9020$ $R'_3 = 2,0021$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_2$	0,1679	0,5422	Różnica nieistotna
DRAŻONE	2	5,7939					$\bar{y}_1 ; \bar{y}_3$	0,8808	0,4569	Różnica istotna
SZLIFOWANE	3	6,5068					$\bar{y}_2 ; \bar{y}_3$	0,7129	0,5062	Różnica istotna
							$\bar{y}_1$	$\bar{y}_2$	$\bar{y}_3$	

Tabela 48

Analiza wpływu rodzaju próbki na zmianę współczynnika regresji

A.B - zestawienie danych oraz obliczenia częściowe,

C - analiza wariancyjna istotności wpływu.

A

m	RODZAJ PROBEK	n_m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} y_{ij}$
1	TOCZONE	16	313,6	6226,56	40,0154	517,3139	1736,6074
2	DRAZONE	10	186,0	3483,60	57,4390	337,6336	1071,0213
3	SZLIFOWANE	24	426,0	7661,52	156,1637	1024,2350	2744,8893
$\sum_{l=1}^m$		50	925,6	17371,68	304,1181	1879,1825	5552,7180

B

m	RODZAJ PROBIEK	$\sum'x^2$	$\sum'y^2$	$\sum'xy$	$\sum'c^2$	$\sum'ij^2 + \sum\sum'y^2$	b
1	TOCZONE	80,00	10,8907	-27,4944	9,4493	1,4414	-0,3437
2	DRAŻONE	24,00	1,9408	-6,6441	1,8393	0,1015	-0,2768
3	SZLIFOWANE	100,02	8,1058	-27,0164	7,2974	0,8084	-0,2701
$\sum l_i^m$		204,02	20,9373	-46,1549	18,5860	2,3513	
OGÓŁEM		236,9728	29,4261	-77,1163	25,0953	4,3307	-0,3254
ŚREDNIE		32,9528	8,4888	-15,9614	7,7312	0,7576	-0,4844
RÓŻNICA		204,0200	20,9373	-61,1549	18,3312	2,6061	-0,2998

C

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI			STOPNIE SWOBODY	OSZACOWA- NIE WARIANCJI	$F_1^0 =$ $S_{MN}^2 : S_b^2$	$F_2^0 =$ $S_m^2 : S_b^2$	$F_3^0 =$ $S_R^2 : S_b^2$
OPIS	OZNACZENIE	WARTOŚĆ			$S_{MN}^2 : S_b^2$	$S_m^2 : S_b^2$	$S_R^2 : S_b^2$
K. ŚREDNICH	$\Sigma \hat{y}_m^2$	0,7576	1	0,7576	2,7603	14,1872	18,1086
RÓŻNICA	$\Sigma \hat{y}_R^2$	0,9670	1	0,9670			
MIEDZY NACHYLENIAMI	$\Sigma \hat{y}_{MN}^2$	0,2548	2	0,1474			
BŁĄD	$\Sigma \hat{y}_b^2$	2,3513	44	0,0534			
OGÓŁEM	$\Sigma \hat{y}^2$	4,3307	48	0,0902			

$F_{2;44;0,05} = 3,21$
 $F_{1;44;0,05} = 4,06$

WNIOSEK

1) Proste są równoległe ze współcz. korelacji $b_L = -0,2498$. 2) Przesunięcie prostych na osi $y = \lg N$ wysoka istotność

Tabela 49

Wyznaczenie łącznego równania prostej regresji dla próbek toczonych i drażonych.

A - zestawienie danych i obliczenia.

B - analiza wariancyjna współczynnika korelacji.

A

LP	OZNACZENIE	RODZAJ PRÓBEK		ŁĄCZNIE	
		TOCZONE	DRAŻONE		
1	p	4	3	4	
2	k _i	4; 4; 4; 4	3; 4; 3	4; 7; 8; 7	
3	n	16	10	26	
4	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}$	313,6	186,0	499,6	
5	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	6226,56	3483,6	9710,16	
6	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	90,0154	57,9390	147,9544	
7	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	517,3139	337,6336	854,9475	
8	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$	1736,8074	1071,0213	2807,8207	
9	$\bar{x}$	19,2154	14	b _L *)	- 0,2998
10	$\bar{y}$	5,6906	15	a *)	11,4514
11	$\sum' x^2$	110,1538	16	RÓWN. PROSTEJ	$\hat{y}_i = 11,4514 - 0,2998 \hat{x}_i$
12	$\sum' y^2$	13,0050	17	r	- 0,9293
13	$\sum' xy$	- 35,1720	18	B	0,8635

*) Przyjęto z analizy wariancyjnej współcz. korelacji

B

RODZAJ PRÓBEK	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA			
		$\sum'$	j	s^2	$F_1^0 = \frac{S_c^2}{S_b^2}$	$F_2^0 = \frac{S_R^2}{S_b^2}$	$F_{j_1; j_2; 0,05}$	WNIOSKI
TOCZONE I DRAŻONE	$\sum' c^2$	11,2304		11,2304	190,6689	4,0730	$F_{1; 22; 0,05} = 4,30$ $F_{2; 22; 0,05} = 3,44$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Istnieje pewna zmienność nie wywołana korelacją ani błędem pomiarów
	j_c		1					
	$\sum' \hat{y}^2$	0,4798		0,2399				
	j_R		2					
	$\sum \sum' y^2$	1,2948		0,0589				
	j_b		22					
	$\sum' y^2$	13,0050		0,5202				
	j_o		25					

Tabela 50

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M oraz jej grubości na żywotność próbek szlifowanych.
Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_R + j_b$	WARIANCJA OSZACOWYWANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
$q = 0.00$	24	0,8084	22	0,0367	-1,4353	-31,5766	0,0455
$q = 0.02$	14	3,1018	12	0,2585	-0,5875	-7,0500	0,0833
$q = 0.04$	14	1,1212	12	0,0934	-1,0297	-12,3564	0,0833
$q = 0.08$	18	3,3835	16	0,2115	-0,6747	-10,7452	0,0625
$\sum_{j=1}^3$	70	8,4149	62	0,6001	-3,7272	-61,7782	0,2746
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	c	χ_c^2	$\chi_{0.001;3}^2$	WNIOSEK	
0,1357	-0,6674	18,4194	1,1587	15,8966	16,268	Wariancje jednorodne	

Tabela 51

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M oraz jej grubość na żywotność próbek szlifowanych

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	OZNACZENIE GRUPY $\bar{m}$	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n^E	$\sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\bar{y}_m = \hat{y}_i$	$\sum' y_{MG}^2$	$\sum' y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{jWG; jMG; 0,05}$	WNIOSKI
g = 0,00	1	6	36,8834	226,7965	6,2775	6,6181	3,3821	j _{MG} = 3 j _{WG} = 20	2,2060	0,1691	13,0467	3,10	Powłoka w istotny sposób wpływa na żywotność
g = 0,02	2	6	42,1988	298,7080	7,0139								
g = 0,04	3	6	44,8734	335,8468	7,2710								
g = 0,08	4	6	44,2909	328,1024	7,4075								
$\sum_{i=1}^m$	4	24	168,2465	1189,4537	27,9699								

B.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	OZNACZENIE GRUPY m	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	j_{WG}	S_{WG}^2	$D_{0,05; p; j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSKI
$g = 0,00$	1	$\hat{\bar{y}}_1 = 6,2775$	20	0,1691	$D_{0,05; 2; 20} = 2,95$ $D_{0,05; 3; 20} = 3,10$ $D_{0,05; 4; 20} = 3,18$	$R'_2 = 1,2131$ $R'_3 = 1,2748$ $R'_4 = 1,3077$	$\hat{\bar{y}}_1 ; \hat{\bar{y}}_2$	0,7364	0,4952	Różnica istotna
$g = 0,02$	2	$\hat{\bar{y}}_2 = 7,0139$					$\hat{\bar{y}}_1 ; \hat{\bar{y}}_3$	0,9935	0,5204	Różnica istotna
$g = 0,04$	3	$\hat{\bar{y}}_3 = 7,2710$					$\hat{\bar{y}}_1 ; \hat{\bar{y}}_4$	1,1300	0,5339	Różnica istotna
$g = 0,08$	4	$\hat{\bar{y}}_4 = 7,4075$					$\hat{\bar{y}}_2 ; \hat{\bar{y}}_3$	0,2571	0,4952	Różnica nieistotna
							$\hat{\bar{y}}_2 ; \hat{\bar{y}}_4$	0,3936	0,5204	Różnica nieistotna
							$\hat{\bar{y}}_3 ; \hat{\bar{y}}_4$	0,1365	0,4952	Różnica nieistotna

Tabela 52

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M i jej grubości na zmianę współczynnika regresji próbek szlifowanych
A, B - zestawienie danych oraz obliczenia częściowe,
C - analiza wariancyjna istotności wpływu.

A.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	m	n _m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$
g = 0,00	1	24	426,0	7661,52	156,1637	1024,2350	2744,8893
g = 0,02	2	14	260,4	4875,44	98,2076	695,9302	1815,4630
g = 0,04	3	14	260,4	4875,44	101,7898	746,6681	1880,0673
g = 0,08	4	18	370,8	7686,48	121,4664	828,2784	2486,3736
$\sum_{i=1}^m$		70	1317,6	25098,88	477,6275	3295,1117	8926,7932

B.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	$\sum' x^2$	$\sum' y^2$	$\sum' xy$	$\sum' c^2$	$\sum' \hat{y}^2 + \sum \sum' y^2$	b
g = 0,00	100,02	8,1058	-27,0164	7,2974	0,8084	-0,2701
g = 0,02	32,0	7,0207	-11,1984	3,9189	3,1018	-0,3500
g = 0,04	32,0	6,5851	-13,2229	5,4639	1,1212	-0,4132
g = 0,08	48,0	8,6069	-15,8342	5,2234	3,3835	-0,3299
$\sum_{i=1}^m$	212,02	30,3185	-67,2719	21,9036	8,4149	
OGÓŁEM	297,88	36,1399	-63,5210	13,5454	22,5945	-0,2132
ŚREDNIE	85,86	5,8214	3,7509	0,1639	5,6575	+0,0437
RÓŻNICA	212,02	30,3185	-67,2719	21,3447	8,9738	-0,3173

C.

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI			OSZACOWANIE WARIANCJI		$F_1^0 =$	$F_2^0 =$	$F_3^0 =$
OPIS	OZNACZENIE	WARTOŚĆ			$S_b^2 : S_{MN}^2$	$S_m^2 : S_b^2$	$S_R^2 : S_b^2$
K. ŚREDNICH	$\sum' \hat{y}_m^2$	5,6575	2	2,8288	1,3729	20,8460	58,6824
RÓŻNICA	$\sum' \hat{y}_R^2$	7,9632	1	7,9632			
M. NACHYLENIAMI	$\sum' \hat{y}_{MN}^2$	0,5589	3	0,1863			
BŁĄD	$\sum' \hat{y}_b^2$	8,4149	62	0,1357			
OGÓŁEM	$\sum' \hat{y}^2$	22,5945	68	0,3323			
$F_{3;62;0,05} = 2,76$			WNIOSKI	1. Proste są równoległe ze współ. korelacji $b_L = -0,3173$; 2. Przesunięcie prostych na osi y = lg N wysoce istotne.			
$F_{2;62;0,05} = 3,15$							
$F_{1;62;0,05} = 4,00$							

Tabela 53

Wyznaczenie łącznego równania prostej regresji dla próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M o grubości $g = 0,02 - 0,08 \text{ mm}$
 A - zestawienie danych i obliczenia,
 B - analiza wariancyjna współczynnika korelacji.

A.

LP	OZNACZENIE	RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)			ŁĄCZNIE
		$g = 0.02 \text{ mm}$	$g = 0.04 \text{ mm}$	$g = 0.08 \text{ mm}$	
1	p	3	3	3	4
2	k_i	4; 6; 4	4; 6; 4	6; 6; 6	6; 14; 18; 8
3	n	14	14	18	46
4	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}$	260,4	260,4	370,8	891,6
5	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	4875,44	4875,44	7686,48	17437,36
6	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	98,2076	101,7898	121,4664	321,4638
7	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	695,9302	746,6681	828,2784	2270,8767
8	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} \cdot y_{ij}$	1815,4630	1880,0673	2486,3736	6181,9039
9	$\bar{x}$	19,3826	14	$b_L^{*1)}$	-0,3173
10	$\bar{y}$	6,9883	15	a	13,1384
11	$\sum x^2$	155,8261	16	RÓWN. PROSTEJ	$\hat{y}_i = 13,1384 - 0,3173 \hat{x}_i$
12	$\sum y^2$	24,3773	17	r	0,7935
13	$\sum xy$	-48,9031	18	B	0,6996

B.

SZLIFOWANE POKRYTE POLIAMIDEM	RODZAJ PRÓBEK	WIELKOŚĆ	WARTOŚĆ			ANALIZA			
			Σ'	j	S^2	$S_c^2 : S_b^2$	$S_b^2 : S_R^2$	$F_{j_1; j_2; 0,05}$	WNIOSEKI
		$\Sigma' c^2$	15, 3473		15, 3473	73, 5729	1, 5602	$F_{1; 42; 0,05} = 4, 07$ $F_{42; 2; 0,05} = 19, 47$	1. Przyjęta korelacja jest bardzo istotna. 2. Nie ma istotnej różnicy pomiędzy S_R^2 i S_b^2
		j _c		1					
		$\Sigma' g^2$	0, 2674		0, 1337				
		j _g		2					
		$\Sigma \Sigma' y^2$	8, 7626		0, 2086				
		j _y		42					
		$\Sigma' y^2$	24, 3773		0, 5417				
		j _y		45					

Tabela 54

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M oraz jej grubości na żywotność próbek toczonych.
Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI) [mm]	k_i	$\sum y_i^2$	$k_i - 1$	$s^2 = \frac{\sum y_i^2}{k_i - 1}$	$\lg s_i^2$	$(k_i - 1) \lg s_i^2$	$\frac{1}{k_i - 1}$
$q = 0.00$	8	0,1539	7	0,0220	-1,6576	-11,6032	0,1429
$q = 0.02$	4	0,6474	3	0,2158	-0,6660	-1,9980	0,3333
$q = 0.04$	4	0,1760	3	0,0587	-1,2314	-3,6942	0,3333
$q = 0.08$	4	0,0961	3	0,0320	-1,4949	-4,4847	0,3333
$\sum_{j=1}^4$	20	1,0734	16	0,3285	-5,0499	-21,7801	1,1428
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	c	χ^2_c	$\chi^2_{0,05;3}$	WNIOSEK	
0,0671	-1,1733	6,9246	1,1200	6,1827	7,815	Wariancje jednorodne	

Tabela 55

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M oraz jej grubości na żywotność próbek toczonych.

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

GRUBOŚĆ POWŁOKI g [mm]	OZNACZENIE GRUPY	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE k_i	$\sum_{j=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	$\bar{y}_i$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F_0 = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{jMG, jWG, \alpha}$	WNIOSEKI
0,00	1	8	46,4483	269,8345	5,8294	2,0539	1,0738	$j_{MG} = 3$ $j_{WG} = 16$	0,6846	0,0671	10,2032	$F_{3;12;0,05} = 3,24$	Grubość powłoki w istotny sposób wpływa na żywotność
0,02	2	4	25,0154	157,0900	6,2539								
0,04	3	4	26,0594	169,9491	6,5149								
0,08	4	4	26,0836	170,1847	6,5209								
$\sum_{i=1}^P$	4	20	123,6067	767,0583	25,1491								

ciąg dalszy tabeli 55.

B.

GRUBOŚĆ POWŁOKI q [mm]	k_i	ŚREDNIA $\bar{y}_i$	j_{wg}	S_{wg}^2	$D_{0,05; p; j_{wg}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSKI
0,00	8	$\bar{y}_1 = 5,8594$	16	0,0671	$D_{0,05; 2; 12} = 3,06$ $D_{0,05; 3; 12} = 3,15$ $D_{0,05; 4; 12} = 3,23$	$R'_2 = 0,7710$ $R'_3 = 0,8160$ $R'_4 = 0,8367$	$\bar{y}_1; \bar{y}_2$	0,3945	0,3339	Różnica istotna
0,02	4	$\bar{y}_2 = 6,2539$					$\bar{y}_1; \bar{y}_3$	0,6555	0,3533	Różnica istotna
0,04	4	$\bar{y}_3 = 6,5149$					$\bar{y}_1; \bar{y}_4$	0,6615	0,3623	Różnica istotna
0,08	4	$\bar{y}_4 = 6,5209$					$\bar{y}_2; \bar{y}_3$	0,2610	0,3855	Różnica nieistotna
$\bar{y}_1$ $\bar{y}_2$ $\bar{y}_3$ $\bar{y}_4$							$\bar{y}_2; \bar{y}_4$	0,2670	0,4080	Różnica nieistotna
							$\bar{y}_3; \bar{y}_4$	0,0060	0,3855	Różnica nieistotna

Tabela 56

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M oraz jej grubości na zmianę współczynnika regresji próbek toczonych.

LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ	
		NIEPOWLEKANE	POWLEKANE q=0,08 mm
1	n	26	12
2	$\sum' x^2$	110,1538	32,0
3	$\sum' xy$	-35,1720	-10,0646
4	b	-0,2998	-0,3145
5	$s^2(\hat{y})$	-0,0739	0,0946
6	$s^2(\hat{y})_k$	0,0780	
7	t	0,2620	
8	$t_{\alpha; n_1+n_2-4}$	$t_{0,05; 34} = 2,037$	
9	WNIOSEK	Różnica pomiędzy współczynnikami korelacji jest nieistotna	
10	b_k	-0,3182	
11	ZWERYFIKOWANE RÓWNANIE PROSTEJ REGRESJI	$\hat{y}_i = 11,8049 - 0,3182\hat{x}_i$	$\hat{y}_i = 12,3407 - 0,3182\hat{x}_i$

Tabela 58

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M oraz jej grubości na żywotność próbek drążonych powlekanych na zewnątrz. Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI) [mm]	k_i	$\sum y_i^2$	$k_i - 1$	$s^2 = \frac{\sum y_i^2}{k_i - 1}$	$\lg s_i^2$	$(k_i - 1) \lg s_i^2$	$\frac{1}{k_i - 1}$
$g = 0,00$	8	0,1539	7	0,0220	-1,6576	-11,6032	0,1429
$g = 0,02$	3	1,0463	2	0,5232	-0,2815	-0,5630	0,5000
$g = 0,04$	3	0,0654	2	0,0327	-1,4855	-2,9710	0,5000
$g = 0,08$	3	0,0746	2	0,0249	-1,6038	-3,2076	0,5000
$\sum_{j=1}^4$	17	1,3402	13		-5,0284	-18,3448	1,1429
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	C	χ^2_c	$\chi^2_{0,001;3}$	WNIOSZEK	
0,1031	-0,9867	12,7051	1,1184	11,3601	16,268	Wariancje jednorodne	

Tabela 59

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M oraz jej grubości na żywotność próbek
drażonych powlekanych na zewnątrz.

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

GRUBOŚĆ POWŁOKI q [mm]	OZNACZENIE GRUPY	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE k_i	$\sum_{j=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	$\bar{y}_i$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F^0 = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{jMG; jWG; \alpha}$	WNIOSKI
0.00	1	8	46,4483	269,8345	5.8294	5,6977	1,3304	$j_{MG} = 3$ $j_{WG} = 13$	1,8992	0,1023	18,5653	$F_{3;13;0.05} = 3,41$	Grubość powłoki w istotny sposób wpływa na żywotność
0.02	2	3	18,9509	120,7585	6,3170								
0.04	3	3	20,5898	141,3767	6,8633								
0.08	4	3	21,8095	158,6162	7,2698								
$\sum_{i=1}^p$	4	17	107,7985	690,5879	26,2795								

ciąg dalszy tabeli 59.

B.

GRUBOŚĆ POWŁOKI g [mm]	k_i	ŚREDNIA $\bar{y}_i$	j_{WG}	S_{WG}^2	$D_{0,05; p; j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSEK
0.00	8	$\bar{y}_1 = 5.8294$	13	0.1023	$D_{0,05; 2; 13} = 3.06$ $D_{0,05; 3; 13} = 3.21$ $D_{0,05; 4; 13} = 3.30$	$R'_2 = 0.9787$ $R'_3 = 1.0267$ $R'_4 = 1.0555$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_2$	0.4876	0.4685	Różnica istotna
0.02	3	$\bar{y}_2 = 6.3170$					$\bar{y}_1 ; \bar{y}_3$	1.0339	0.4915	Różnica istotna
0.04	3	$\bar{y}_3 = 6.8633$					$\bar{y}_1 ; \bar{y}_4$	1.4404	0.5053	Różnica istotna
0.08	3	$\bar{y}_4 = 7.2698$					$\bar{y}_2 ; \bar{y}_3$	0.5463	0.5651	Różnica nieistotna
$\bar{y}_1$ $\bar{y}_2$ $\bar{y}_3$ $\bar{y}_4$							$\bar{y}_2 ; \bar{y}_4$	0.9528	0.5928	Różnica istotna
							$\bar{y}_3 ; \bar{y}_4$	0.5065	0.5651	Różnica nieistotna

Tabela 60

Analiza wpływu powłoki z Poliamidu M oraz jej grubości na zmianę współczynnika regresji próbek drażnionych powlekanych na zewnątrz.

LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ	
		NIEPOWLEKANE	POWLEKANE $g=0.08$
1	n	26	9
2	$\sum x^2$	110,1538	23,92
3	$\sum xy$	-35,1720	-8,2736
4	b	-0,2998	-0,3459
5	$s^2(\hat{y})$	0,0739	0,0374
6	$s^2(\hat{y})_t$	0,0657	
7	t	0,7973	
8	$t_{\alpha; n_1+n_2-4}$	$t_{0.05; 31} = 2,040$	
9	WNIOSEK	Różnica pomiędzy współczynnikami korelacji jest nieistotna	
10	b_t	0,3240	
11	ZWERYFIKOWANE RÓWNANIE PROSTEJ REGRESJI	$\hat{y}_i = 11,9172 - 0,3240 \hat{x}_i$	$\hat{y}_i = 13,1836 - 0,3240 \hat{x}_i$

Tabela 61

Analiza wpływu powłoki z Epidianu 1 oraz jej grubości na żywotność próbek szlifowanych. Obliczenia pomocnicze - analiza jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_k + j_b$	WARIANCJA OSZACOWYWANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
0,00	24	0,8084	22	0,0367	-1,4353	-31,5766	0,0455
0,08	12	0,6912	10	0,0691	-1,1605	-11,6050	0,1000
0,18	12	0,9530	10	0,0953	-1,0209	-10,2090	0,1000
$\sum_{j=1}^3$	48	2,4526	42	0,2011	-3,6167	-53,3906	0,2455
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	c	χ^2_c	$\chi^2_{0,001;2}$	WNIOSEK	
0,0584	-1,2336	3,6367	1,0369	3,5073	13,815	Wariancje jednorodne	

Tabela 62

Analiza wpływu powłoki z Epidianu 1 oraz jej grubości na żywotność próbek szlifowanych.

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	OZNACZENIE GRUPY m	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n	$\sum_{j=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\bar{y}_i$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{MG}^2$	j	s_{MG}^2	s_{MG}^2	$F = s_{MG}^2 : s_{WG}^2$	$F_{jMG; jWG; 0.05}$	WNIOSKI
q = 0,08 mm	1	6	36,3250	220,1023	6,1728	5,8724	1,0397	j _{MG} = 2 j _{WG} = 15	2,9362	0,0693	42,3694	3,68	Powłoka istotnie wpływa na żywotność
q = 0,00 mm	2	6	36,8834	226,7965	6,2775								
q = 0,18 mm	3	6	43,8580	321,3767	7,2755								
$\sum_{i=1}^3$	3	18	117,0664	768,2755	19,7258								

B.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	OZNACZENIE GRUPY m	ŚREDNIA $\hat{y}_i$	j _{WG}	s _{WG} ²	D _{0,05; p; j_{WG}}	R' _p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R _p	WNIOSKI
q = 0,08 mm	1	6,1728	15	0,0693	D _{0,05; 2; 15} = 3,01	R' ₂ = 0,7924	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_2$	0,1047	0,3235	Różnica nieistotna
q = 0,00 mm	2	6,2775			D _{0,05; 3; 15} = 3,16	R' ₃ = 0,8319	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_3$	1,1027	0,3396	Różnica istotna
q = 0,18 mm	3	7,2755					$\bar{y}_2 ; \bar{y}_3$	0,9980	0,3235	Różnica istotna
$\bar{y}_1$ $\bar{y}_2$ $\bar{y}_3$										

Tabela 64

Analiza wpływu powłoki z Epidianu 1 oraz jej grubości na żywotność próbek toczonych. Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_e + j_b$	WARIANCJA OSZACOWYWANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
$q = 0,00$	26	1,7746	24	0,0739	-1,1314	-27,1536	0,0417
$q = 0,08$	10	0,6307	8	0,0788	-1,1035	-8,8280	0,1250
$q = 0,18$	10	0,1652	8	0,0207	-1,6840	-13,4720	0,1250
$\sum_{l=1}^3$	46	2,5705	40	0,1734	-3,9189	-49,4536	0,2917
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	c	χ^2_c	$\chi^2_{0,001;2}$	WNIOSEK	
0,0643	-1,1918	4,1023	1,0445	3,9275	13,815	Wariancje jednorodne	

Tabela 65

Analiza wpływu powłoki z Epidianu I oraz jej grubości na żywotność próbek toczonych.

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	OZNACZENIE GRUPY m	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n_m	$\sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\hat{\bar{y}}_i$	$\sum' y_{MG}^2$	$\sum' y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{jMG; jWG; 0,05}$	WNIOSKI
g = 0,00 mm	1	8	46,4483	269,8345	5,8294	11,1851	0,5635	$j_{MG} = 2$ $j_{WG} = 13$	5,5925	0,0433	129,1570	3,80	Powłoka istotnie wpływa na żywotność
g = 0,08 mm	2	4	28,8204	208,0147	7,1831								
g = 0,18 mm	3	4	30,7301	236,1335	7,6231								
$\sum_{i=1}^3$	3	16	105,9988	713,9827	20,6356								

B.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	OZNACZENIE GRUPY m	ŚREDNIA $\hat{\bar{y}}_i$	j_{WG}	S^2_{WG}	$D_{0,05; p; j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSKI
g= 0,00 mm	1	5,8294	13	0,0433	$D_{0,05; 2; 13} = 3,06$	$R'_2 = 0,6367$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_2$	1,3537	0,2757	Różnica istotna
g= 0,08 mm	2	7,1831					$\bar{y}_1 ; \bar{y}_3$	1,7937	0,2892	Różnica istotna
g= 0,18 mm	3	7,6231					$\bar{y}_2 ; \bar{y}_3$	0,4400	0,3183	Różnica istotna
$\bar{y}_1$ $\bar{y}_2$ $\bar{y}_3$										

Tabela 66

Analiza wpływu powłoki z Epidianu 1 oraz jej grubości na zmianę współczynnika regresji próbek toczonech

AB - zestawienie danych oraz obliczenia częściowe.

C - analiza wariancyjna istotności wpływu.

A.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	m	n_m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} y_{ij}$
g = 0,00	1	26	499,6	9710,16	147,9541	854,9475	2807,8287
g = 0,08	2	10	204,0	4189,20	64,9649	426,6914	1314,7547
g = 0,18	3	10	204,0	4189,20	71,9925	520,3732	1461,3751
$\sum_{i=1}^m$		46	907,6	18088,56	284,9118	1802,0121	5583,9585

B.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	$\Sigma'x^2$	$\Sigma'y^2$	$\Sigma'xy$	$\Sigma'c^2$	$\Sigma\hat{y}^2 + \Sigma\Sigma y^2$	b
q=0,00	110,1538	13,0050	-35,1720	11,2304	1,7746	-0,2998
q=0,08	27,6000	4,6476	-10,5293	4,0169	0,6307	-0,3815
q=0,18	27,6000	2,0812	-7,2719	1,9160	0,1652	-0,2635
$\Sigma_{i=1}^m$	165,3538	19,7338	-52,9732	17,1633	2,5705	
OGÓŁEM	181,2174	37,3440	-37,4752	7,7148	29,5942	-0,2068
ŚREDNIE	15,8636	17,6102	15,4980	15,1408	2,4694	+0,9770
RÓŻNICA	165,3538	19,7338	-52,9732	16,9706	2,7652	-0,3204

c.

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI			STOPNIE SWOBODY	OSZACOWA- NIE WARIANCJI	$F_1^0 =$	$F_2^0 =$	$F_3^0 =$
OPIS	OZNACZENIE	WARTOŚĆ			$S_{MN}^2 : S_b^2$	$S_m^2 : S_b^2$	$S_r^2 : S_b^2$
K.ŚREDNICH	$\Sigma \hat{y}_m^2$	2,4694	1	2,4694	1,4977	38,4044	378,8740
RÓŻNICA	$\Sigma \hat{y}_r^2$	24,3616	1	24,3616			
MIEDZY NACHYLEN.	$\Sigma \hat{y}_{MN}^2$	0,1927	2	0,0963			
BŁĄD	$\Sigma \hat{y}_b^2$	2,5705	40	0,0643			
OGÓŁEM	$\Sigma \hat{y}^2$	29,5942	44	0,6726			

$F_{2;40;0.05} = 3,23$
 $F_{1;40;0.05} = 4,08$

WNIOSKI

1. Proste są równoległe ze współ. korelacji
 $b_L = -0,3204$. 2. Przesunięcie prostych
 na osi $y = \lg N$ wysoce istotne.

Tabela 67

Analiza wpływu powłoki z Epidianu I oraz jej grubości na żywotność próbek drażonych powlekanych na zewnątrz.
Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \hat{y}^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_a + j_b$	WARIANCJA OSZACOWYWANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
0.00	26	1.7746	24	0.0739	-1.1314	-27.1536	0.0417
0.08	9	0.0875	7	0.0125	-1.9031	-13.3217	0.1429
0.18	9	1.5779	7	0.2254	-0.6470	-4.5290	0.1429
$\sum_{i=1}^3$	44	3.4400	38	0.3118	-3.6815	-45.0043	0.3275
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	C	χ_c^2	$\chi_{0.001; 2}^2$	WNIOSEK	
0.0905	-1.0434	12.3307	1.0502	11.7413	13.815	Wariancje jednorodne	

Tabela 68

Analiza wpływu powłoki z Epidianu 1 oraz jej grubości na żywotność próbek drażnionych powlekanych na zewnątrz.

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	OZNACZENIE GRUPY m	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n_m	$\sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\bar{y}_i$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{MG : jWG ; 0,05}$	WNIOSEKI
q = 0,08	1	3	15,7879	83,0913	5,4582	1,9435	0,4004	j _{WG} = 2 j _{WG} = 11	0,9708	0,0364	26,6978	3,98	Powłoka istotnie wpływa na żywotność
q = 0,00	2	8	46,4483	269,8345	5,8294								
q = 0,18	3	3	19,2008	123,1313	6,3309								
$\sum_{i=1}^3$	3	14	81,4370	476,0571	17,6185								

B.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	OZNACZENIE GRUPY m	ŚREDNIA $\hat{y}_i$	j_{WG}	S^2_{WG}	$D_{0,05; p; j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOŚKI
q= 0,08	1	5,4582	11	0,0364	$D_{0,05; 2; 11} = 3,11$	$R'_2 = 0,5934$ $R'_3 = 0,6239$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_2$	0,3712	0,2841	Różnica istotna
q=0,00	2	5,8294			$\bar{y}_1 ; \bar{y}_3$		0,8727	0,2941	Różnica istotna	
q=0,18	3	6,3309			$\bar{y}_2 ; \bar{y}_3$		0,5015	0,2841	Różnica istotna	
$\bar{y}_1$ $\bar{y}_2$ $\bar{y}_3$										

Tabela 69

Analiza wpływu powłoki z Epidianu 1 na współczynnik regresji próbek drażnionych powlekanych na zewnątrz.

A,B - zestawienie danych oraz obliczenia częściowe.

C - analiza wariancyjna istotności wpływu.

A.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOK)	m	n_m	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij} y_{ij}$
q= 0,00	1	26	499,6	9710,16	147,9544	854,9475	2807,8287
q= 0,08	2	9	167,4	3137,64	49,1236	270,4547	905,8176
q= 0,18	3	9	167,4	3137,64	56,9781	370,0852	1046,1241
$\sum_{i=1}^m$		44	834,4	15985,44	254,0561	1495,4869	4759,7704

B.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	$\sum x^2$	$\sum y^2$	$\sum xy$	$\sum c^2$	$\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2$	b
g = 0,00	110,1538	13,0050	-35,1720	11,2304	1,7746	-0,2998
g = 0,08	24,0000	2,8294	-8,1120	2,7419	0,0875	-0,3380
g = 0,18	24,0000	9,3625	-13,6686	7,7846	1,5779	-0,5695
$\sum_{i=1}^m$	158,1538	25,1969	-56,9526	21,7569	3,4400	
OGÓŁEM	161,3418	29,0664	-58,0571	20,8912	8,1752	-0,3598
ŚREDNIE	3,1880	3,8695	-1,1045	0,3827	3,4868	-0,3465
RÓŻNICA	158,1538	25,1969	-56,9526	20,5091	4,6878	-0,3601

C.

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI			STOPNIE SWOBODY	OSZACOWA- NIE WARIANCJI	$F_1^0 =$	$F_2^0 =$	$F_3^0 =$
OPIS	OZNACZENIE	WARTOŚĆ			$S_{MN}^2 : S_b^2$	$S_m^2 : S_b^2$	$S_R^2 : S_b^2$
K. ŚREDNICH	$\Sigma \hat{U}_m^2$	3, 4868	1	3, 4868	6, 8939	38, 5282	150, 8333
RÓŻNICA	$\Sigma \hat{U}_R^2$	0, 0006	1	0, 0006			
M. NACHYLENIAMI	$\Sigma \hat{U}_{MN}^2$	1, 2478	2	0, 6239			
BŁĄD	$\Sigma \hat{U}_b^2$	3, 4400	38	0, 0905			
OGÓŁEM	$\Sigma \hat{U}^2$	8, 1752	42	0, 1946			

$F_2; 38; 0,05 = 3,25$

$F_1; 38; 0,05 = 4,10$

WNIOSKI

- Proste nie są równoległe.
- Przesunięcie prostych na osi $y = \lg N$ wysoce istotne.

Tabela 70

Analiza wpływu zwiększonej objętości powłoki z Poliamidu M oraz sposobu powlekania na żywotność próbek drążonych. Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \hat{y}'^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_r + j_b$	WARIANCJA OSZACO- WYWANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
NIEPOWLE- KANE	26	1,7746	24	0,0739	-1,1314	-27,1536	0,0417
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ	9	0,2616	7	0,0374	-1,4271	-9,9897	0,1428
POWL.NA ZEWN. I WEWN.	9	0,2268	7	0,0324	-1,4895	-10,4265	0,1428
$\sum_{j=1}^3$	44	2,2630	38	0,1437	-4,0480	-47,5598	0,3274
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	c	χ^2_c	$\chi^2_{0,001;2}$	WNIOSEK	
0,0596	-1,2248	2,3657	1,0590	2,2339	13,815	Wariancje jednorodne	

Tabela 71

Analiza wpływu zwiększonej objętości powłoki z Poliamidu M oraz sposobu powlekania na żywotność próbek drażnionych.

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZENIE GRUPY m	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n_m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{WG}^2$	J	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{JWG; 0,05}$	WNIOSKI
NIEPOWLEKANE	1	26	147,9544	854,9475	5,6906	15,0393	19,2982	$J_{WG} = 2$ $J_{WG} = 41$	7,5197	0,4707	15,9755	3,225	Sposób powlekania istotnie wpływa na żywotność.
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ	2	9	57,3386	368,4716	6,3710								
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ	3	9	64,4146	464,1500	7,1572								
$\sum_{i=1}^m$	3	44	269,7076	1687,5691	19,2188								

B.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZENIE GRUPY m	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	j_{WG}	S_{WG}^2	$D_{0,05; p; j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSKI
NIEPOWLEKANE	1	5,6906	41	0,4707	$D_{0,05; 2; 41} = 2,86$ $D_{0,05; 3; 41} = 3,01$	$R'_2 = 1,9622$ $R'_3 = 2,0651$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_2$	0,6804	0,5367	Różnica istotna
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ I WEWNĄTRZ	2	6,3710					$\bar{y}_1 ; \bar{y}_3$	1,4666	0,5648	Różnica istotna
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ	3	7,1572					$\bar{y}_2 ; \bar{y}_3$	0,7862	0,6541	Różnica istotna
							$\bar{y}_1$	$\bar{y}_2$	$\bar{y}_3$	

Tabela 72

Analiza wpływu zwiększonej objętości powłoki z Poliamidu M oraz sposobu powlekania na zmianę współczynnika regresji próbek drażnionych.

A, B - zestawienie danych oraz obliczenia częściowe,

C - analiza wariancyjna istotności wpływu.

A.

RODZAJ PRÓBEK	m	n _m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} y_{ij}$
NIEPOWLEKANE	1	26	499,6	9710,16	147,9544	854,9475	2807,8287
POWLEKANE NA ZEWN. I WEWN.	2	9	167,4	3137,56	57,3386	368,4716	1058,1076
POWLEKANE NA ZEWNATRZ	3	9	167,4	3137,56	64,4146	464,1500	1189,8380
$\sum_{i=1}^m$		44	834,4	15985,28	269,7076	1687,5691	5055,7743

B.

RODZAJ PRÓBEK	m	$\sum x^2$	$\sum y^2$	$\sum xy$	$\sum c^2$	$\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2$	b
NIEPOWLEKANE	1	110,1538	13,0050	-35,1720	11,2304	1,7746	-0,2998
POWLEKANE NA ZEWN. I WEWN.	2	23,9200	3,1699	-8,3904	2,9431	0,2268	-0,3508
POWLEKANE NA ZEWNATRZ	3	23,9200	3,1233	-8,2736	2,8617	0,2616	-0,3459
$\sum_{i=1}^m$		157,9938	19,2982	-51,8360	17,0352	2,2630	
OGÓŁEM		162,0218	34,3375	-58,8626	21,3848	12,9527	-0,3633
ŚREDNIE		4,0280	15,0393	-7,0266	12,2575	2,7818	-1,7871
RÓŻNICA		157,9938	19,2982	-51,8360	17,0068	2,2914	-0,3281

C.

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI			STOPNIE SWOBODY	OSZACOWANIE WARIANCJI	$F_1^0 = S_b^2 : S_{MN}^2$	$F_2^0 = S_m^2 : S_b^2$	$F_3^0 = S_R^2 : S_b^2$
OPIS	OZNACZENIE	WARTOŚĆ					
K. ŚREDNICH	$\sum \hat{y}_m^2$	2,7818	1	2,7818	4,2270	46,6745	132,2064
RÓŻNICA	$\sum \hat{y}_R^2$	7,8795	1	7,8795			
MIEDZY NACHYLENIAMI	$\sum \hat{y}_{MN}^2$	0,0284	2	0,0141			
BŁĄD	$\sum \hat{y}_b^2$	2,2630	38	0,0596			
OGÓŁEM	$\sum \hat{y}^2$	12,9527	42	0,3084			
$F_{38; 2; 0,05} = 19,465$ $F_{1; 38; 0,05} = 4,100$			WNIOSKI 1. Proste są równoległe ze współ. korelacji: $b_L = -0,3281$. 2. Przemieszczenie prostych na osi y = lg N wysocy istotne. 3. Istnieje zależność liniowa f. żywotność - sp. ngktactania				

Tabela 73

Analiza wpływu zwiększonej objętości powłoki z Epidianu I oraz sposobu powlekania na żywotność próbek drążonych.
Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_R + j_b$	WARIANCJA OSZACOWY- WANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
NIEPOWLEKANE	26	1,7746	24	0,0739	-1,1314	-27,1536	0,0417
POWLEKANE NA ZEWN.	9	1,5779	7	0,2254	-0,6470	-4,5290	0,1429
POWL. NA ZEWN. I WEWN.	9	0,6099	7	0,0871	-1,0600	-7,4200	0,1429
$\sum_1^3$	44	3,9624	38	0,3864	-2,8384	-39,1026	0,3275
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	ϵ	χ_c^2	$\chi_{0,05;2}^2$	WNIOSEK	
0,1043	-0,9813	4,1751	1,0502	3,9755	5,991	Wariancje jednorodne	

Tabela 74

Analiza wpływu zwiększonej objętości powłoki z Epidianu 1 oraz sposobu powlekania na żywotność próbek drążonych.

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZENIE GRUPY m	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^p y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{jMG; jWG; 0.05}$	WNIOSKI
NIEPOWLEKANE	1	8	46, 4483	269, 8345	5, 8294	2, 1410	0, 7137	$j_{MG} = 2$ $j_{WG} = 11$	1, 0705	0, 0649	16, 4946	3, 98	Sposób powlekania istotnie wpływa na żywotność
POWLEK. NA ZEWNĄTRZ	2	3	19, 2008	123, 1313	6, 3309								
POWL. NA ZEWN. I WEWN.	3	3	20, 1919	136, 2230	6, 8204								
$\sum_{i=1}^m$	3	14	85, 8410	529, 1888	18, 9807								

B.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZENIE GRUPY n	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	j_{WG}	S^2_{WG}	$D_{0,05;p;j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSKI
NIEPOWLEKANE	1	5,8294	11	0,0649	$D_{0,05;2;11} = 3,11$	$R'_2 = 0,7923$	$\bar{y}_1; \bar{y}_2$	0,5015	0,3793	Różnica istotna
POWLEK. NA ZEWNĄTRZ	2	6,3309			$D_{0,05;3;11} = 3,27$	$R'_3 = 0,8330$	$\bar{y}_1; \bar{y}_3$	0,9910	0,3989	Różnica istotna
POWL. NA ZEWN. I WEWN.	3	6,8204			$\bar{y}_2; \bar{y}_3$	0,4895	0,4574	Różnica istotna		
$\bar{y}_1$ $\bar{y}_2$ $\bar{y}_3$										

Tabela 75

Analiza wpływu zwiększonej objętości powłoki z Epidianu 1 oraz sposobu powlekania na zmianę współczynnika regresji próbek drażonych.

A, B - zestawienie danych oraz obliczenia częściowe,
C - analiza wariancyjna istotności wpływu.

A.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	m	n_m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} y_{ij}$
NIEPOWLEKANE	1	26	499,6	9710,16	147,9544	854,9475	2807,8287
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ	2	9	167,4	3137,64	56,9781	370,0852	1046,1241
POWLEKANE NA ZEWN. I WEWN.	3	9	167,4	3137,64	61,3833	422,7950	1132,5270
$\sum_{i=1}^m$		44	834,4	15985,44	266,3158	1647,8277	4986,4798

B.

RODZAJ PRÓBEK (GRUBOŚĆ POWŁOKI)	$\sum' x^2$	$\sum' y^2$	$\sum' xy$	$\sum' c^2$	$\sum' \hat{y}^2 + \sum \sum' y^2$	b
NIEPOWLEKANE	110,1538	13,0050	-35,1720	11,2304	1,7746	-0,2998
POWLEKANE NA ZEWNĄTRZ	24,0000	9,3625	-15,6686	7,7846	1,5779	-0,5695
POWLEKANE NA ZEWN. I WEWN.	24,0000	4,1384	-9,2024	3,5285	0,6099	-0,3824
$\sum_{i=1}^m$	158,1538	26,5059	-58,0430	22,5435	3,9624	
OGÓŁEM	162,1818	35,9162	-63,8362	25,1265	10,7897	-0,3936
ŚREDNIE	4,0280	9,4103	-5,7932	8,3320	1,0783	-1,4382
RÓŻNICA	158,1538	26,5059	-58,0430	21,3020	5,2039	-0,3670

C.

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI				OSZACOWANIE WARIANCJI	$F_1^0 =$ $s_{MN}^2 : s_b^2$	$F_2^0 =$ $s_m^2 : s_b^2$	$F_3^0 =$ $s_R^2 : s_b^2$
OPIS	OZNACZENIE	WARTOŚĆ					
K.ŚREDNICH	$\sum' \hat{y}_m^2$	1,0783	1	1,0783	5,9521	10,3384	43,2168
RÓŻNICA	$\sum' y_R^2$	4,5075	1	4,5075			
M.NACHYLENIAMI	$\sum' y_{MN}^2$	1,2415	2	0,6208			
BŁĄD	$\sum' \hat{y}_b^2$	3,9624	38	0,1043			
OGÓŁEM	$\sum' \hat{y}^2$	10,7897	42	0,2569			
$F_{2,38;0,05} = 3,25$ $F_{1,38;0,05} = 4,10$			WNIOSEK	1. Proste nie są równoległe. 2. Przesunięcie prostych na osi $y = \lg N$ wysoce istotne.			

Tabela 76

Analiza wpływu stanu warstwy powierzchniowej i powłoki z Poliamidu M na żywotność. Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \Sigma' y^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_R + j_B$	WARIANCJA OSZACOWYWANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
TOCZONE NIEPOWLEKANE	26	1,7746	24	0,0739	-1,1314	-27,1536	0,0417
TOCZONE POWLEKANE	20	1,9109	18	0,1062	-0,9747	-17,5446	0,0556
SZLIFOWANE NIEPOWLEKANE	24	0,8084	22	0,0367	-1,4353	-31,5766	0,0455
SZLIFOWANE POWLEKANE	46	9,0300	44	0,2052	-0,6879	-30,2676	0,0227
Σ_i^3	116	13,5239	108	0,4220	-4,2293	102,5424	0,1655
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	C	χ^2_c	$\chi^2_{0,001;3}$	WNIOSEK	
0,1252	-0,8024	11,7046	1,0174	11,5044	16,268	Wariancje jednorodne	

Tabela 77

Analiza wpływu stanu warstwy powierzchniowej i powłoki z Poliamidu M na żywotność.

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZENIE GRUPY m	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n _m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{jMG; jWG; 0,05}$	WNIOSKI
TOCZONE NIEPOWLEKANE	1	8	46, 4483	269, 8345	5, 8294	15, 3408	5, 3010	$j_{MG} = 3$ $j_{WG} = 40$	5, 1136	0, 1325	38, 5931	$F_{3; 40; 0,05} = 2,84$	Powłoka i obróbka skrawaniem w istotny sposób wpływa na żywotność
SZLIFOWANE NIEPOWLEKANE	2	6	36, 8834	226, 7965	6, 2775								
TOCZONE POWLEKANE	3	12	77, 1584	497, 2238	6, 4299								
SZLIFOWANE POWLEKANE	4	18	131, 3631	962, 6572	7, 2980								
$\sum_{i=1}^m$	4	44	291, 8532	1956, 5120	25, 8348								

B.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZENIE GRUPY m	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	j_{WG}	S^2_{WG}	$D_{0,05;p;j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSKI
TOCZONE NIEPOWLEKANE	1	$\bar{y}_1 = 5,8294$	40	0,1325	$D_{0,05;2;40} = 2,86$ $D_{0,05;3;40} = 3,01$ $D_{0,05;4;40} = 3,10$	$R'_2 = 1,0411$ $R'_3 = 1,0957$ $R'_4 = 1,1284$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_2$	0,4481	0,3976	Różnica istotna
SZLIFOWANE NIEPOWLEKANE	2	$\bar{y}_2 = 6,2775$					$\bar{y}_1 ; \bar{y}_3$	0,6005	0,3536	Różnica istotna
TOCZONE POWLEKANE	3	$\bar{y}_3 = 6,4299$					$\bar{y}_1 ; \bar{y}_4$	1,4686	0,3390	Różnica istotna
SZLIFOWANE POWLEKANE	4	$\bar{y}_4 = 7,2980$					$\bar{y}_2 ; \bar{y}_3$	0,1524	0,3681	Różnica nieistotna
							$\bar{y}_2 ; \bar{y}_4$	1,0205	0,3761	Różnica istotna
							$\bar{y}_3 ; \bar{y}_4$	0,8681	0,2744	Różnica istotna

Tabela 78

Analiza wpływu stanu warstwy powierzchniowej i powłoki z Poliamidu M na zmianę współczynnika regresji:
A, B - zestawienie danych oraz obliczenia częściowe,
C - analiza wariancyjna istotności wpływu.

A.

RODZAJ PRÓBEK	m	n _m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k x_{ij} y_{ij}$
TOCZONE NIEPOWLEKANE	1	26	499,6	9710,16	147,9544	854,9475	2807,8287
TOCZONE POWLEKANE	2	20	372,0	6951,20	128,1416	826,0911	2373,3673
SZLIFOWANE NIEPOWLEKANE	3	24	426,0	7661,52	156,1637	1024,2350	2744,8893
SZLIFOWANE POWLEKANE	4	46	891,6	17437,36	321,4638	2270,8767	6181,9039
$\sum_{i=1}^m$		116	2189,2	41760,24	753,7235	4976,1503	14107,9892

B.

RODZAJ PRÓBEK	$\sum' x^2$	$\sum' y^2$	$\sum' xy$	$\sum' c^2$	$\sum' y^2 + \sum \sum' y$	b
TOCZONE NIEPOWLEKANE	110,1538	13,0050	-35,1720	11,2304	1,7746	-0,2998
TOCZONE POWLEKANE	32,00	5,0776	-10,0665	3,1667	1,9109	-0,3182
SZLIFOWANE NIEPOWLEKANE	100,02	8,1058	-27,0164	7,2974	0,8084	-0,2701
SZLIFOWANE POWLEKANE	155,8261	24,3773	-48,9031	15,3473	9,0300	-0,3173
$\sum_{i=1}^m$	397,9999	50,5657	-121,1580	37,0418	13,5239	
OGÓŁEM	444,7517	78,7441	-110,5926	27,5001	51,2440	-0,2487
ŚREDNIE	46,7518	28,1784	+10,5654	2,3877	25,7907	+0,2260
RÓŻNICA	397,9999	50,5657	-121,1580	36,8826	13,6831	-0,3044

C.

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI			STOPNIE SWOBODY	OSZACOWANIE WARIANCJI	$F_1^0 = \frac{s_b^2}{s_{MN}^2}$	$F_2^0 = \frac{s_M^2}{s_b^2}$	$F_3^0 = \frac{s_R^2}{s_b^2}$
OPIS	OZNACZENIE	WARTOŚĆ					
K. ŚREDNICH	$\sum' \hat{y}_m^2$	25,7907	2	12,8954	2,3578	102,9984	313,6605
RÓŻNICA	$\sum' \hat{y}_R^2$	39,2703	1	39,2703			
M. NACHYLENIAMI	$\sum' \hat{y}_{MN}^2$	0,1592	3	0,0531			
BŁĄD	$\sum' \hat{y}_b^2$	13,5239	108	0,1252			
OGÓŁEM	$\sum' \hat{y}^2$	78,7441	114	0,6907			
$F_{108;3;0,05} = 8,56$ $F_{1;108;0,05} = 3,94$ $F_{2;108;0,05} = 3,09$			WNIOSKI 1. Proste są równoległe ze współcz. korelacji $b_k = -0,3044$ 2. Przesunięcie prostych na Osi $y = \lg N$ wysoce istotne				

Tabela 79

Analiza wpływu stanu warstwy powierzchniowej i powłoki z Epidianu 1 na żywotność. Obliczenia pomocnicze - sprawdzenie jednorodności wariancji oszacowywania.

RODZAJ PRÓBEK	LICZBA PRÓBEK n	$\sum \hat{y}^2 + \sum \sum y^2$	STOPNIE SWOBODY $j = j_R + j_B$	WARIANCJA OSZACO- WYWANIA $s^2(\hat{y})$	$\lg s^2(\hat{y})$	$j \lg s^2(\hat{y})$	$\frac{1}{j}$
TOCZONE NIEPOWL.	26	1,7746	24	0,0739	-1,1314	-27,1536	0,0417
TOCZONE POWLEKANE	10	0,1652	8	0,0207	-1,6840	-13,4720	0,1250
SZLIFOWANE NIEPOWLEK.	24	0,8084	22	0,0367	-1,4353	-31,5766	0,0455
SZLIFOWANE POWLEKANE	12	0,0530	10	0,0953	-1,0209	-10,2090	0,1000
$\sum_i$	72	3,7012	64		-5,2716	-82,4112	0,3122
$\bar{s}^2$	$\lg \bar{s}^2$	χ^2	ζ	χ_c^2	$\chi_{0,05;3}^2$	WNIOSEK	
0,0578	-1,2381	7,3057	1,0330	7,0723	7,815	Wariancje jednorodne	

Tabela 80

Analiza wpływu stanu warstwy powierzchniowej i powłoki z Epidianu 1 na żywotność:

A - analiza wariancyjna istotności wpływu,

B - określenie istotności różnic między średnimi żywotnościami.

A.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZENIE GRUPY m	LICZEBNOŚĆ W GRUPIE n _m	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}$	$\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^k y_{ij}^2$	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	$\sum y_{MG}^2$	$\sum y_{WG}^2$	j	S_{MG}^2	S_{WG}^2	$F = S_{MG}^2 : S_{WG}^2$	$F_{MG; jWG; 0.05}$	WNIOSKI
TOCZONE NIEPOWLEK.	1	8	46, 4483	269, 8345	5, 8294	13, 9726	1, 0576	$j_{MG} = 3$ $j_{WG} = 20$	4, 6575	0, 0529	88, 0441	3, 10	Powłoka i obr. skrawaniem w istotny sposób wpływają na żywotność.
SZLIFOWANE NIEPOWLEK.	2	6	36, 8834	226, 7965	6, 2775								
SZLIFOWANE POWLEKANE	3	6	43, 8580	321, 3767	7, 2755								
TOCZONE POWLEKANE	4	4	30, 7301	236, 1335	7, 6231								
$\sum_{i=1}^m$	4	24	157, 9198	1054, 1412	27, 0055								

B.

RODZAJ PRÓBEK	OZNACZENIE GRUPY m	ŚREDNIA $\bar{y}_m$	j_{WG}	S^2_{WG}	$Do_{0.05; p; j_{WG}}$	R'_p	ŚREDNIE	RÓŻNICA	R_p	WNIOSKI
TOCZONE NIEPOWLEK.	1	$\bar{y}_1 = 5,8294$	20	0,0529	$Do_{0.05; 2; 20} = 2,95$	$R'_2 = 0,6785$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_2$	0,4481	0,2591	Różnica istotna
SZLIFOWANE NIEPOWL.	2	$\bar{y}_2 = 6,2775$			$Do_{0.05; 3; 20} = 3,10$	$R'_3 = 0,7130$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_3$	1,4461	0,2723	Różnica istotna
SZLIFOWANE POWLEKANE	3	$\bar{y}_3 = 7,2755$			$Do_{0.05; 4; 20} = 3,18$	$R'_4 = 0,7314$	$\bar{y}_1 ; \bar{y}_4$	1,7937	0,3167	Różnica istotna
TOCZONE POWLEKANE	4	$\bar{y}_4 = 7,6231$					$\bar{y}_2 ; \bar{y}_3$	0,9980	0,2770	Różnica istotna
$\bar{y}_1 \quad \bar{y}_2 \quad \bar{y}_3 \quad \bar{y}_4$							$\bar{y}_2 ; \bar{y}_4$	1,3456	0,3254	Różnica istotna
							$\bar{y}_3 ; \bar{y}_4$	0,3476	0,3338	Różnica istotna

Tabela 81

Analiza wpływu stanu warstwy powierzchniowej i powłoki z Epidianu 1 na zmianę współczynnika regresji:
A, B - zestawienie danych oraz obliczenia częściowe,
C - analiza wariancyjna istotności wpływu.

A.

RODZAJ PRÓBEK	m	n_m	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k y_{ij}^2$	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^k x_{ij} y_{ij}$
TOCZONE NIEPOWL.	1	26	499,6	9710,16	1147,9544	854,9475	2807,8287
TOCZONE POWLEKANE	2	10	204,0	4189,20	71,9925	520,3732	1461,3751
SZLIFOWANE NIEPOWL.	3	24	426,0	7661,52	156,1637	1024,2350	2744,8893
SZLIFOWANE POWLEKANE	4	12	241,2	4881,12	80,8198	549,5460	1612,6033
$\sum_{i=1}^m$		72	1370,8	26442,0	1456,9304	2949,1017	8626,6964

B.

RODZAJ PRÓBEK	$\sum'x^2$	$\sum'y^2$	$\sum'xy$	$\sum'c^2$	$\sum'Q^2 + \sum'Y^2$	b
TOCZONE NIEPOWL.	110,1538	13,0050	-35,1720	11,2304	1,7746	-0,2998
TOCZONE POWLEKANE	27,6000	2,0812	-7,2719	1,9160	0,1652	-0,2635
SZLIFOWANE NIEPOWL.	100,0200	8,1058	-27,0164	7,2974	0,8084	-0,2701
SZLIFOWANE POWLEKANE	33,0000	5,2260	-11,8747	4,2730	0,9530	-0,3598
$\sum_{i=1}^m$	270,7738	28,4180	-81,3350	24,7168	3,7012	
OGÓŁEM	343,4911	49,3046	-72,7507	15,4084	33,8962	-0,2118
ŚREDNIE	72,7173	20,8866	-8,5843	1,0134	19,8732	-0,1181
RÓŻNICA	270,7738	28,4180	-81,3350	24,4314	3,9866	-0,3004

C.

ŹRÓDŁO ZMIENNOŚCI			STOPNIE SWOBODY	OSZACOWANIE WARIANCJI	$F_1^0 = \frac{s_{MN}^2}{s_b^2}$	$F_2^0 = \frac{s_m^2}{s_b^2}$	$F_3^0 = \frac{s_R^2}{s_b^2}$
OPIS	OZNACZENIE	WARTOŚĆ					
K. ŚREDNICH	$\sum q_m^2$	19,8732	2	9,9366	1,6453	171,9135	173,6401
RÓŻNICA	$\sum q_R^2$	10,0364	1	10,0364			
M. NACHYLENIAMI	$\sum q_{MN}^2$	0,2854	3	0,0951			
BŁĄD	$\sum q_b^2$	3,7012	64	0,0578			
OGÓŁEM	$\sum'Q^2$	33,8962	70	0,4842			
$F_{3;64;0,05} = 2,75$ $F_{2;64;0,05} = 3,14$			WNIOSEK		1. Proste są równoległe ze współczynnikiem korelacji $b_L = -0,3004$. 2. Przesunięcie prostych na osi $y = \lg N$ wysoce istotne.		

Tabela 82

Obliczenie funkcji żywotności dla próbek szlifowanych powlekanych Poliamidem M.

A - zestawienie danych i obliczenia pomocnicze,

B - wyznaczenie równania regresji krzywoliniowej.

A.

GRUBOŚĆ POWŁOKI $x_i: 100g [mm]$	x_i^2	$x_i x_i^2$	$(x_i^2)^2$	$x_i y_i$	$x_i^2 \cdot y_i$	WYRAZ WOLNY $a = y_i$	y_i^2
0	0	0	0	0	0	12, 1389	147, 3529
2	4	8	16	25, 8332	51, 6664	12, 9166	166, 8386
4	16	64	256	52, 6900	210, 7600	13, 1725	173, 5148
8	64	512	4096	106, 2760	850, 2080	13, 2845	176, 4779
$\Sigma_{i=1}^p$	84	584	4368	184, 7992	1112, 6344	51, 5125	664, 1841

B.

LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ	LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ
1	p	4,0	12	$\bar{y}$	12, 8781
2	$\Sigma_{i=1}^p x_i$	14,0	13	$\Sigma' x^2$	35,0
3	$\Sigma_{i=1}^p x_i^2$	84,0	14	$\Sigma' x x^2$	290,0
4	$\Sigma_{i=1}^p x_i x_i^2$	584,0	15	$\Sigma' (x^2)^2$	2604,0
5	$\Sigma_{i=1}^p (x_i^2)^2$	4368,0	16	$\Sigma' x y$	4, 5054
6	$\Sigma_{i=1}^p x_i \cdot y_i$	184, 7992	17	$\Sigma' x^2 y$	30, 8719
7	$\Sigma_{i=1}^p x_i^2 \cdot y_i$	1112, 6344	18	$\Sigma' y^2$	0, 7997
8	$\Sigma_{i=1}^p y_i$	51, 5125	19	b_0	0, 394774
9	$\Sigma_{i=1}^p y_i^2$	664, 1841	20	c_0	-0, 3210930
10	$\bar{x}$	3, 5	21	a_0	12, 1704
11	$(\bar{x}^2)$	21, 0	22	R^2	0, 9845
23	RÓWNANIE KRZYWEJ REGRESJI	$\hat{y} = 12,1704 + 0,394774 x_i - 0,03210930 x_i^2$			
24	ODKODOWANE RÓWNANIE KRZYWEJ REGRESJI	$\hat{a} = 12,1704 + 39,4774 g - 321,0930 g^2$			

Tabela 83

Obliczenie funkcji żywotności dla próbek toczonych powlekanych Poliamidem M.

A - zestawienie danych i obliczenia pomocnicze,

B - wyznaczenie równania regresji krzywoliniowej.

A.

głębokość powłoki $x_i = 100g$ [mm]	x_i^2	$x_i x_i^2$	$(x_i^2)^2$	$x_i \bar{y}_i$	$x_i^2 \bar{y}_i$	$\bar{y}_i$	$\bar{y}_i^2$
0	0	0	0	0	0	5,8594	34,3326
2	4	8	16	12,5078	25,0156	6,2539	39,1113
4	16	64	256	26,0596	104,2384	6,5149	42,4439
8	64	512	4096	52,1672	417,3376	6,5209	42,5221
$\sum_{i=1}^p$	84	584	4368	90,7346	546,5916	25,1491	158,4099

B.

LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ	LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ
1	p	4,0	12	$\bar{y}$	6,2872
2	$\sum_{i=1}^p x_i$	14,0	13	$\sum' x^2$	35,0
3	$\sum_{i=1}^p x_i^2$	84,0	14	$\sum' x \cdot x^2$	290,0
4	$\sum_{i=1}^p x_i x_i^2$	584,0	15	$\sum' (x^2)^2$	2604,0
5	$\sum_{i=1}^p (x_i^2)^2$	4368,0	16	$\sum' x y$	2,7128
6	$\sum_{i=1}^p x_i \bar{y}_i$	90,7346	17	$\sum' x^2 y$	18,4605
7	$\sum_{i=1}^p x_i^2 \bar{y}_i$	546,5916	18	$\sum' y^2$	0,2906
8	$\sum_{i=1}^p \bar{y}_i$	25,1491	19	b_0	0,242981
9	$\sum_{i=1}^p \bar{y}_i^2$	158,4099	20	c_0	-0,01997081
10	$\bar{x}$	3,5	21	a_0	5,8562
11	$(\bar{x}_2)$	21,0	22	R^2	0,9996
23	RÓWNANIE KRZYWEJ REGRESJI	$\hat{y} = 5,8562 + 0,242981 x - 0,01997081 x^2$			
24	ODKODOWANE RÓWNANIE KRZYWEJ REGRESJI	$\lg N = 5,8562 + 24,2981 g - 199,7081 g^2$			

Tabela 84

Obliczenie funkcji żywotności dla próbek drażonych powlekanych na zewnątrz Poliamidem M.

A - zestawienie danych i obliczenia pomocnicze,

B - wyznaczenie równania regresji krzywoliniowej.

A.

GRUBOŚĆ POWŁOKI $x_i = 100g [mm]$	x_i^2	$x_i x_i^2$	$(x_i^2)^2$	$x_i \bar{y}_i$	$x_i^2 \bar{y}_i$	$\bar{y}_i$	$\bar{y}_i^2$
0	0	0	0	0	0	5,8294	33,9819
2	4	8	16	12,6340	25,2680	6,3170	39,9045
4	16	64	256	27,4532	109,8128	6,8633	47,1049
8	64	512	4096	58,1584	465,2672	7,2698	52,8500
$\sum_{i=1}^p$	84	584	4368	98,2456	600,3480	26,2795	173,8413

B.

LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ	LP	OZNACZENIE	WARTOŚĆ
1	p	4,0	12	$\bar{y}$	6,5699
2	$\sum_{i=1}^p x_i$	14,0	13	$\sum' x^2$	35,0
3	$\sum_{i=1}^p x_i^2$	84,0	14	$\sum' x x^2$	290,0
4	$\sum_{i=1}^p x_i x_i^2$	584,0	15	$\sum' (x^2)^2$	2604,0
5	$\sum_{i=1}^p (x_i^2)^2$	4368,0	16	$\sum' x y$	6,2674
6	$\sum_{i=1}^p x_i \bar{y}_i$	98,2456	17	$\sum' x^2 y$	48,4785
7	$\sum_{i=1}^p x_i^2 \bar{y}_i$	600,3480	18	$\sum' y^2$	1,1883
8	$\sum_{i=1}^p \bar{y}_i$	26,2795	19	b_0	0,321242
9	$\sum_{i=1}^p \bar{y}_i^2$	173,8413	20	c_0	0,01715888
10	$\bar{x}$	3,5	21	a_0	5,8059
11	$(\bar{x}^2)$	21,0	22	R^2	0,9943
23	RÓWNANIE KRZYWEJ REGRESJI	$\hat{y} = 5,8059 + 0,321242 x - 0,01715888 x^2$			
24	ODKODOWANE RÓWNANIE KRZYWEJ REGRESJI	$lg N = 5,8059 + 32,1242 g - 171,5888 g^2$			