

Politechnika Wrocławska



Edward Stanisław Dżidowski

# Maszyny i urządzenia do obróbki plastycznej

Wrocław 1988

Instytut Technologii Budowy Maszyn

Skrypt do przedmiotu – *Maszyny i urządzenia do obróbki plastycznej*  
dla Wydziału Mechanicznego, semestr VII i VIII

Opiniodawcy

Krzysztof CHODNIKIEWICZ

Zbyszko J. WIŚNIEWSKI

Opracowanie redakcyjne

Alina KACZAK

Korekta

Maria IZBICKA



2589354 / 5

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1988

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Nakład 400 + 70 egz. Ark. wyd. 14,5. Ark. druk. 13½. Papier offset. kl. III, 70 g. B1.

Oddano do druku w czerwcu 1988 r. Druk ukończono w listopadzie 1988 r.

Zakład Graficzny Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 3301/88 – Cena zł 360,–

Alc 486/41



OD AUTORA

Skrypt zawiera kompendium wiedzy o pozahutniczych maszynach do obróbki plastycznej, a ponadto stanowi ogólne wprowadzenie do laboratorium z tego przedmiotu. Omówiono w skrypcie budowę, zasady działania, zastosowanie oraz ogólne zasady doboru i eksploatacji maszyn technologicznych.

Zasadniczym celem niniejszego opracowania jest zwarte przedstawienie podstawowych wiadomości o konstrukcji i zasadach doboru maszyn do obróbki plastycznej.

Do napisania skryptu skłoniła autora trudna dostępność i mała przydatność opracowań osiągalnych w bibliotekach Politechniki Wrocławskiej. Opracowania są przeważnie obszernymi monografiami, rozważającymi, każda osobna, ściśle określoną grupę maszyn. Ponadto, monografie te nie są ogół adresowane do technologów (użytkowników maszyn).

Stąd koncepcja napisania skryptu obejmującego całokształt zagadnień czysto użytkowych (działanie, dobór i eksploatacja) w odniesieniu do większości podstawowych grup maszyn do obróbki plastycznej. Realizacja tej koncepcji stanowi pewną nowość w warunkach krajowych. Dlatego też, autor będzie wdzięczny za uwagi krytyczne, które umożliwią dalsze udoskonalenie układu i treści skryptu.

Autor pragnie gorąco podziękować Recenzentom skryptu, a to profesorowi inż. Z. J. Wiśniewskiemu z Instytutu Obróbki Plastycznej w Poznaniu oraz doktorowi inż. K. Chodnikiewiczowi z Instytutu Technologii Bezwiórowych Politechniki Warszawskiej, za dyskusje i uwagi krytyczne pomocne przy opracowaniu rękopisu skryptu.

Autor

## 1. WPROWADZENIE

Obróbka plastyczna metali i ich stopów jest jedną z najmniej materiałochłonnych i energochłonnych technologii wytwarzania wyrobów. Rozwój tej technologii zależy w dużym stopniu od produkcji odpowiednich maszyn oraz ich racjonalnego wykorzystania.

W piśmiennictwie krajowym brakuje zwięzłego opracowania, przeznaczonego dla technologów - użytkowników maszyn. Dostępne monografie omawiają przede wszystkim zasady konstruowania podstawowych podzespołów wyłącznie określonego rodzaju maszyn lub zasady projektowania procesów technologicznych. Doszukanie się współzależności między cechami maszyn oraz cechami kształtowo-wymiarowymi i użytkowymi produkowanych wyrobów wymaga żmudnych studiów wybranych fragmentów wielu obszernych i trudno dostępnych pozycji książkowych.

Istnieje wiele sposobów klasyfikacji maszyn do obróbki plastycznej. Tradycyjnie dzieli się je w sposób sugerujący ściśle określone zastosowanie technologiczne. Podział taki sprawdza się w przypadku często stosowanego omawiania wybranej grupy maszyn. Próba omówienia wszystkich podstawowych grup maszyn w jednym opracowaniu wymaga odwołania się do innych kryteriów podziału. Nie można bowiem zakładać, że np. do kucia stosuje się wyłącznie młoty.

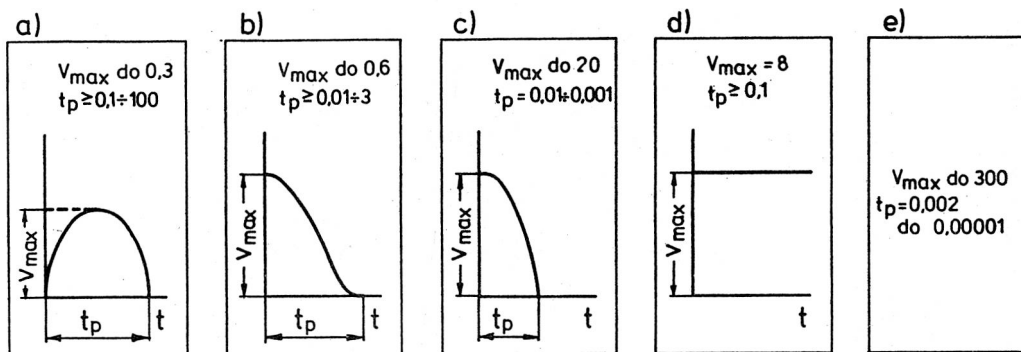
W niniejszym opracowaniu za podstawowe kryterium podziału przyjęto charakter zmian prędkości roboczych części w czasie roboczego cyklu maszyny (rys. 1.1).

1. Maszyny z napędem hydraulicznym (rys. 1.1a) charakteryzują się możliwością zmian prędkości części roboczych. Skok roboczy może zaczynać się z określoną lub zerową prędkością części roboczych. Maksymalna prędkość części roboczych pras hydraulicznych wynosi około 0,3 m/s.

2. Maszyny z napędem korbowym (rys. 1.1b). Krzywa zmian prędkości części roboczych tego rodzaju maszyn ma charakterystykę zależną od kinematyki napędu. Największa prędkość roboczych części dochodzi do około 0,6 m/s.

3. Maszyny rotacyjne (rys. 1.1d) charakteryzują się stałą prędkością obrotową części roboczych, dochodzącą do 8 m/s.

4. Młoty (rys. 1.1c) charakteryzuje możliwość zmian prędkości roboczych części maszyny. Czas cyklu roboczego i kształt krzywej zmian prędkości



Rys. 1.1. Wykresy prędkości  $v$  w funkcji czasu  $t$  nieobciążonych części roboczych maszyn: a - z napędem hydraulicznym, b - z napędem korbowym, c - młoty, d - maszyny rotacyjne, e - maszyny impulsowe

kości zależy w znacznym stopniu od operatora maszyny i od oporu plastycznego kształtowanego materiału. Do grupy tej zaliczyć można również prasy śrubowe, ponieważ mają podobną charakterystykę zmian prędkości, chociaż różnią się od młotów prędkością. Prędkość bijaka młotów dochodzi do 20 m/s, a suwaka pras śrubowych do 1,5 m/s.

5. Maszyny impulsowe do kształtowania wysokimi energiami charakteryzuje możliwość zmian prędkości części roboczych i bardzo krótki czas cyklu roboczego. Prędkość czynnika roboczego dochodzi do 300 m/s (rys. 1.1e).

W większości przypadków starano się powiązać podany podział z podstawowymi cechami podzespołów napędzających robocze części maszyn. Stąd mowa o maszynach z napędem hydraulicznym, korbowym, itp.

Przy wewnętrznych podziałach poszczególnych grup maszyn stosowano kryteria technologiczne związane z określonym stopniem specjalizacji maszyn (uniwersalne, specjalizowane, specjalne) i wiele kryteriów konstrukcyjnych.

Najwięcej uwagi poświęcono rozpowszechnionym maszynom z napędem korbowym i z napędem hydraulicznym. Założono przy tym, że student ma odpowiednie przygotowanie z podstaw konstrukcji, teorii mechanizmów i maszyn, hydrauliki, automatyki, teorii i technologii obróbki plastycznej metali. Pominięto natomiast rozważania szczegółowe przewidziane do omówienia w ramach wykładu i ćwiczeń laboratoryjnych.

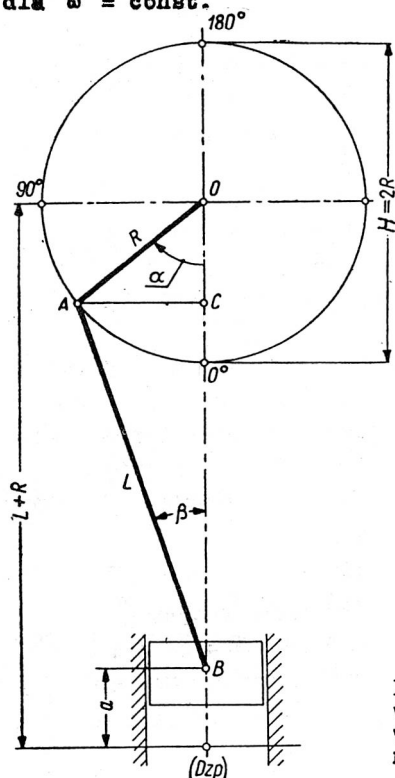
Całość rozważań podsumowano ogólnymi wytycznymi doboru maszyn w zależności od wymaganej dokładności wyrobu, wielkości produkcji, własności materiału, temperatury i prędkości kształtowania oraz siłowo-energetycznych i geometrycznych parametrów procesu technologicznego.

## 2. MASZyny Z NAPĘDEM KORBOwym

### 2.1. Zasada działania i klasyfikacja

Schemat mechanizmu korbowego pokazano na rys. 2.1. Mechanizm korbowy ma za zadanie przekształcenie ruchu obrotowego wału korbowego w posuwisto-zwrotny ruch suwaka.

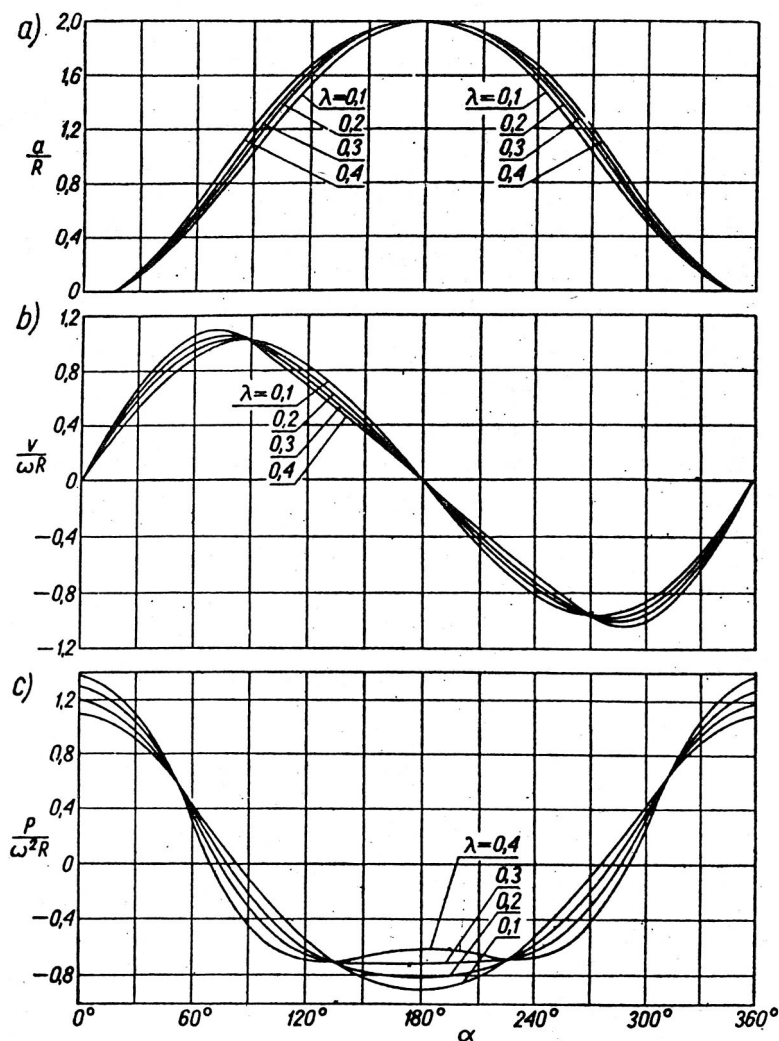
Zależność między względną odległością  $a/R$  suwaka od dolnego zwrotnego położenia, i kątem  $\alpha$  obrotu wału korbowego przedstawiono na rys. 2.2a. Na rysunku 2.2b,c przedstawiono odpowiednio wykresy względnej prędkości oraz przyspieszeń suwaka w funkcji kąta  $\alpha$  obrotu wału dla  $\omega = \text{const.}$



Charakterystyka ruchu mechanizmu korbowego jest zbliżona do charakterystyki ruchu harmonicznego prostego i nie zawsze odpowiada wymaganiom technologii. Bardzo często zachodzi potrzeba dostosowania prędkości suwaka do potrzeb technologii. Dlatego też, w maszynach z napędem korbowym stosuje się dodatkowe mechanizmy. Można rozróżnić cztery grupy mechanizmów odpowiadających określonym potrzebom (rys. 2.3).

Do I grupy zalicza się mechanizmy, od których wymaga się jedynie określonego skoku suwaka. Najbardziej rozpowszechnionym mechanizmem z tej grupy jest mechanizm korbowo-suwakowy I-1. Mechanizm przegubowy I-2 ma mniejsze zastosowanie. Występuje on

Rys. 2.1. Schemat mechanizmu korbowo-suwakowego [2]:  $\alpha$  - kąt wychYLENIA korby,  $\beta$  - kąt wychYLENIA korbowodu,  $R$  - długość wykorzystania,  $L$  - długość korbowodu,  $H$  - skok suwaka,  $a$  - odległość suwaka od DZP

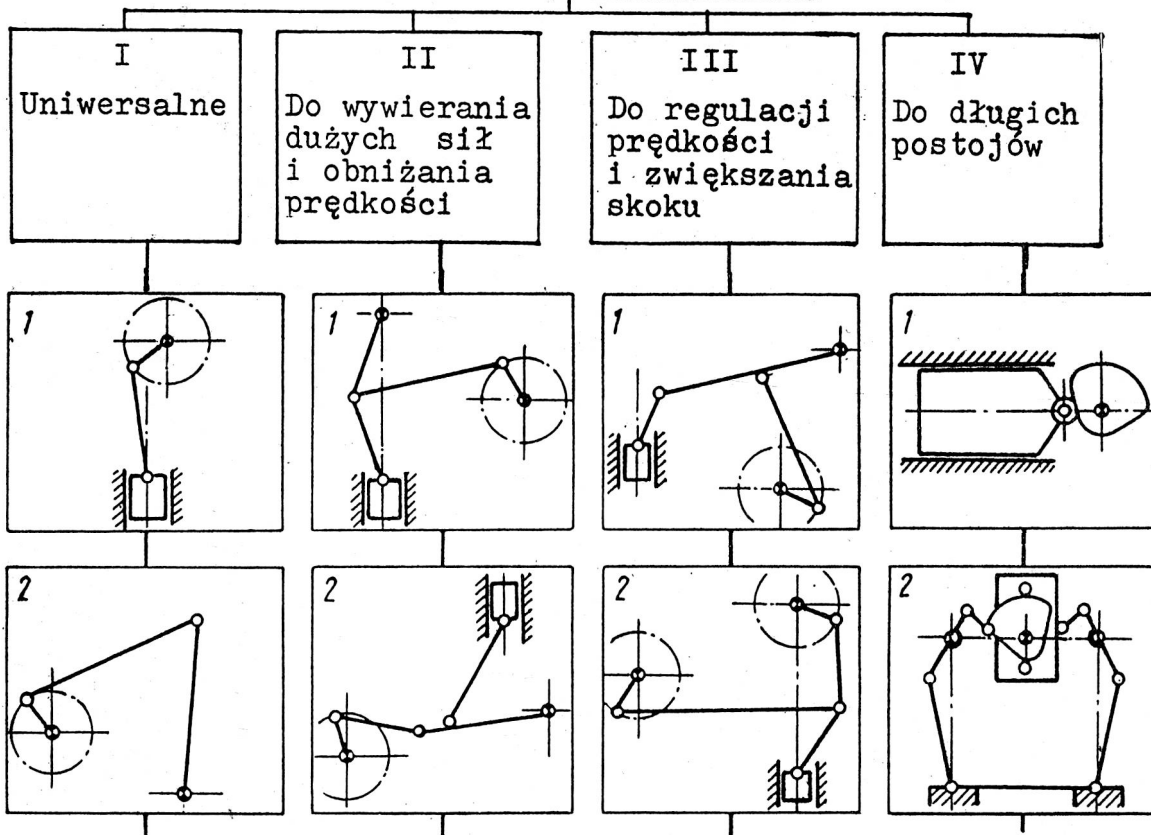


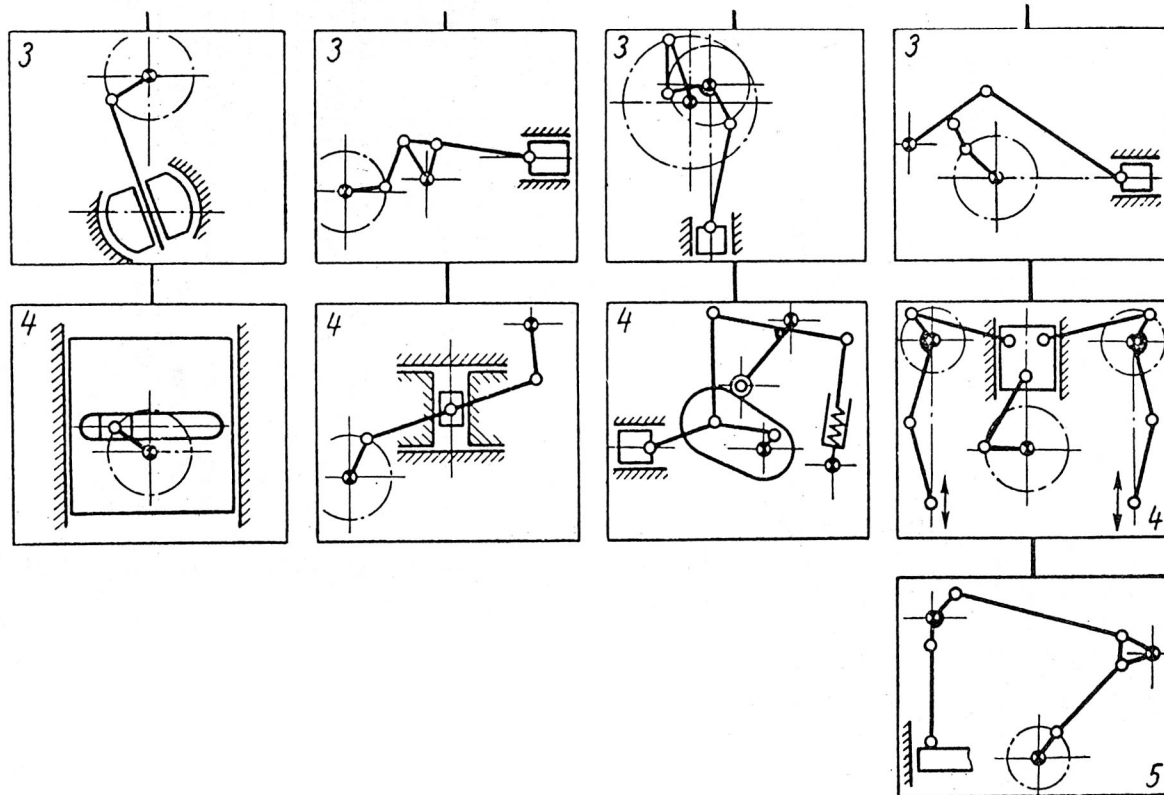
Rys. 2.2. Wykres drogi, prędkości i przyspieszeń suwaka symetrycznego mechanizmu korbowego dla różnych stosunków  $R/L = \lambda$ , przedstawione w wartościach względnych i w funkcji kąta wychylenia korby: a - wykres drogi, b - wykres prędkości, c - wykres przyspieszeń [6]

w nożycach małej i średniej mocy. Mechanizmy jarzmowe I-3 i I-4 stosuje się w kowarkach i automatach do wyciskania.

Mechanizmy II grupy zastosowano w maszynach przeznaczonych do operacji wymagających dużych sił na małym fragmencie skoku suwaka i małych prędkości suwaka w pobliżu jego dolnego zwrotnego położenia. Mechanizmy II-1 i II-2 spotyka się w prasach do wybijania, II-3 w automatach do

# MECHANIZMY ROBOCZE





Rys. 2.3. Mechanizmy robocze maszyn z napędem korbowym [1]

okrawania, a II-4 w automatach z "pływającym" suwakiem, którego ruch poziomy jest wykorzystywany do podawania materiału.

Mechanizmy III grupy służą do ograniczania prędkości suwaka w momencie kontaktu narzędzi z kształtowanym materiałem i podczas tego kształtowania. Prędkość ruchu jałowego jest przy tym zwiększona, a całkowity skok suwaka wydłużony. Mechanizm korbowo-dźwigniowy III-1 stosuje się w prasach ciągowych, podobnie jak dwukorbowy mechanizm III-2 zwiększający skok i powrotną prędkość suwaka. Mechanizm III-4 natomiast stosuje się przeważnie w automatach do wyciskania.

Do grupy IV zalicza się mechanizmy zapewniające postój suwaka w określonej fazie cyklu roboczego. Mechanizmy tej grupy stosuje się w kuźniarkach oraz prasach podwójnego i potrójnego działania przeznaczonych do głębokiego tłoczenia. Mechanizmy IV-1 i IV-2 zastosowano przy małych obciążeniach, poniżej 1000 kN.

W praktyce, często należy samemu określić prędkość suwaka. Maksymalną prędkość suwaka prasy korbowej można obliczyć z zależności, (m/s):

$$v_{\max} = \frac{0,00314 \, n_{\text{sk}} \, H}{60}, \quad (2.1)$$

gdzie:  $n_{\text{sk}}$  - liczba skoków, obr/min,

$H$  - skok suwaka, m,

lub zależności

$$v_{\max} \approx 1,6 \, v_{\text{śr}}, \quad (2.2)$$

gdzie:

$$v_{\text{śr}} = \frac{n_{\text{sk}} \, 2H}{60}. \quad (2.3)$$

Orientacyjną prędkość suwaka w funkcji jego odległości  $a$  od dolnego zwrotnego położenia można wyznaczyć ze wzoru (m/s):

$$v \approx R \frac{\pi \, n_{\text{sk}}}{30} \sin \alpha \approx 0,105 \, n_{\text{sk}} \sqrt{a(H-a)}, \quad (2.4)$$

gdzie:  $a$  - odległość od dolnego zwrotnego położenia suwaka, w m.

W prasach ciągowych lub wielostopniowych o regularnej liczbie skoków na minutę dobiera się natomiast maksymalną liczbę skoków  $n_{\max}$  w zależności od dopuszczalnej prędkości tłoczenia  $v_{\text{dop}}$

$$n_{\max} = 9,52 \frac{v_{\text{dop}}}{\sqrt{Ha - a^2}}. \quad (2.5)$$

Przybliżone wartości prędkości  $v_{\text{dop}}$  można znaleźć w tab. 2.1.



T a b e l a 2.1

Dopuszczalne prędkości ciągnięcia  $v_{\text{dop}}$   
dla najczęściej stosowanych metali [6]

| Materiał        | Prędkość ciągnięcia<br>na prasach<br>podwójnego działania,<br>m/s |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|
| Aluminium       | 0,50                                                              |
| Stopy aluminium | 0,15 do 0,20                                                      |
| Mosiądz         | 0,50                                                              |
| Miedź           | 0,43                                                              |
| Stal            | 0,18 do 0,25                                                      |

## 2.2. Rozkład sił w mechanizmie korbowym

Na rysunku 2.4 pokazano rozkład sił działających w mechanizmie korbowym w okresie wykonywania operacji technologicznej.

Siły działające w układzie korbowym określa się w zależności od siły  $P_s$  przyłożonej do suwaka prasy.

Siła w korbowodzie i czopie korby wyniesie

$$P_L = \frac{P_s}{\cos(\beta + \gamma) - \operatorname{tg} \rho \sin(\beta + \gamma)}, \quad (2.6)$$

gdzie:  $\rho$  - kąt tarcia na prowadnicach.

Jeżeli założymy, że ciężar suwaka i narzędzia równoważy siłę tarcia w prowadnicach, to siłę  $P_L$  można obliczyć z zależności

$$P_L \approx \frac{P_s}{\cos(\beta + \gamma)}. \quad (2.7)$$

Siłę  $P_p$  dociskającą suwak do prowadnic określa się z zależności

$$P_p = P_L \sin(\beta + \gamma) \approx P_s \operatorname{tg}(\beta + \gamma). \quad (2.8)$$

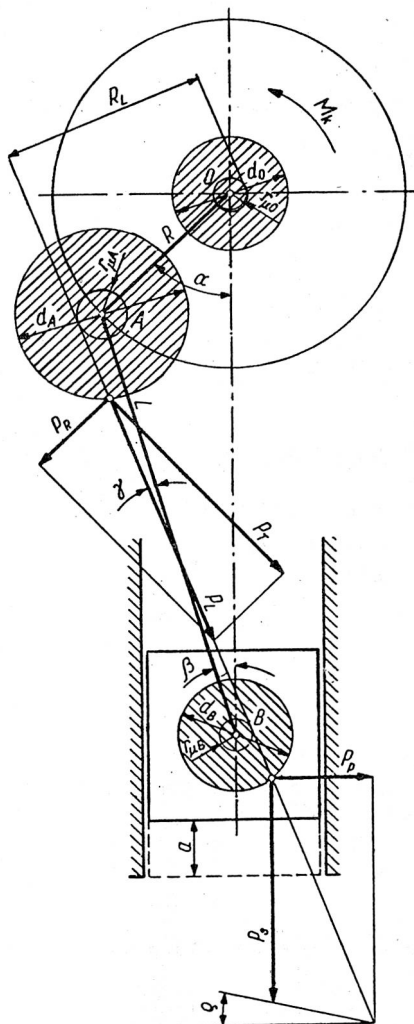
Składowe siły  $P_L$ , występujące na czopie wykorbienia, wyniosą odpowiednio:

a) w kierunku promienia korby

$$P_R = P_L \cos(\alpha + \beta + \gamma) \approx P_s \frac{\cos(\alpha + \beta + \gamma)}{\cos(\beta + \gamma)}, \quad (2.9)$$

b) w kierunku stycznej

$$P_T = P_L \sin(\alpha + \beta + \gamma) \approx P_s \frac{\sin(\alpha + \beta + \gamma)}{\cos(\beta + \gamma)}. \quad (2.10)$$



Rys. 2.4. Rozkład sił w mechanizmie korbowym:  $d_o$ ,  $d_A$ ,  $d_B$  - średnice czopów,  $r_{\mu O}$ ,  $r_{\mu A}$ ,  $r_{\mu B}$  - promienie tarcia,  $L$  - długość korbowodu,  $R$  - promień wykorbienia,  $P_s$  - pionowa składowa siły oddziaływania korbowodu na suwak [2]

### 2.3.1. Nacisk nominalny

Nacisk nominalny jest to największy, dozwolony w normalnych warunkach eksploatacji, nacisk (siła), jaką może wywierać (pokonywać) suwak prasy w czasie kształtowania obrabianego materiału.

Aby wyrzucić siłę  $P_L$  występującą w korbowodzie, trzeba przyłożyć na wale korbowym moment skręcający równy

$$M_k = P_L R_L, \quad (2.11)$$

$$R_L = R \sin(\alpha + \beta + \gamma) + r_{\mu O} + r_{\mu A}, \quad (2.12)$$

gdzie:  $r_{\mu O}$ ,  $r_{\mu A}$  - promienie tarcia w czopach.

Po dokonaniu kilku uproszczeń można określić  $M_k$  z zależności

$$M_k \approx P_s \left\{ R(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha) + 0,5\mu [d_o + (1 + \lambda) d_A + \lambda d_B] \right\}, \quad (2.13)$$

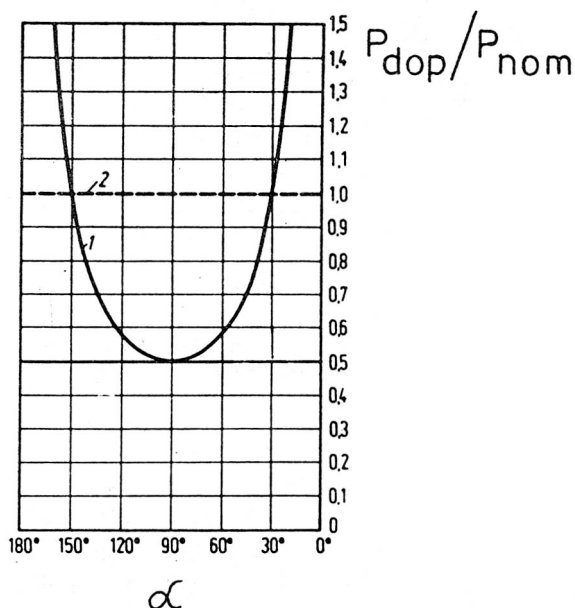
gdzie:  $d_o$ ,  $d_A$ ,  $d_B$  - średnice czopów,  $\lambda = R/L$  - stosunek promienia korby do długości korbowodu.

Wzór (2.13) jest słuszny dla dwustronnego, symetrycznego podparcia wału.

## 2.3. Podstawowe parametry

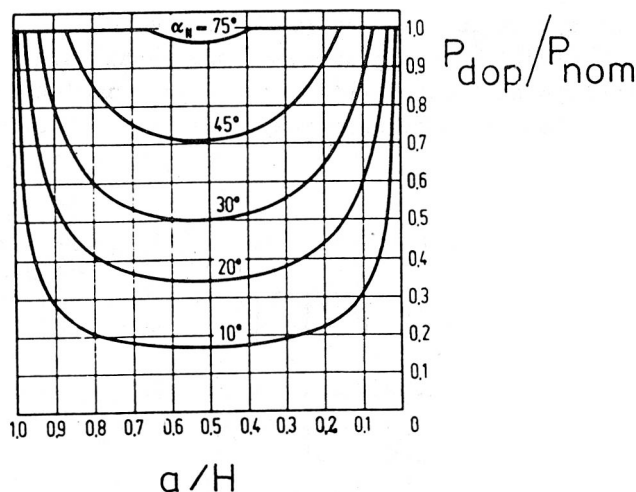
Do podstawowych parametrów maszyn z napędem korbowym zalicza się nacisk nominalny, nacisk dopuszczalny, energię użyteczną, skok suwaka, liczbę skoków suwaka na minutę, nastawne wartości skoków, wysokość przestrzeni roboczej i jej pozostałe wymiary, skok i siłę wypychacza.

Analiza wykresów sił kształtowania występujących w typowych operacjach obróbki plastycznej wykazuje, że w większości przypadków nie jest konieczne utrzymywanie nominalnego nacisku w całym przedziale kąta obrotu wału korbowego. Aby nie powiększać nadmiernie wymiarów wału korbowego i elementów przekładni, wystarczy utrzymać nacisk nominalny tylko w końcowej części skoku suwaka prasy (rys. 2.5). Odcinek skoku, na któ-



Rys. 2.5. Konstrukcja wykresu dopuszczalnego nacisku maszyny z napędem korbowym: 1 - krzywa wynikająca z dopuszczalnego obciążenia wału korbowego momentem skręcającym, 2 - wartość nacisku nominalnego [10]

rym suwak może wywierać nacisk równy nominalnemu nazywa się odcinkiem nacisku nominalnego  $a_n$ . Odcinek ten mierzy się od dolnego zwrotnego położenia suwaka. Wielkość odcinka  $a_n$  jest ważna dla technologów planujących wykonanie określonej operacji technologicznej. Odcinkowi  $a_n$  odpowiada określona wartość kąta  $\alpha_n$  wychylenia korby wału, zwana kątem nominalnym. W przypadku pras o zmiennym skoku kąt ten jest określany dla skoku maksymalnego. Kąt nominalny  $\alpha_n$  w prasach uniwersalnych wynosi na ogół  $30^\circ$ . W prasach specjalizowanych i specjalnych kąt ten może zmieniać się od 10 do 75 stopni w zależności od przeznaczenia prasy (rys. 2.6, tab. 2.2).



Rys. 2.6. Wykresy nacisków dopuszczalnych dla różnych wartości kąta nominalnego  $\alpha_n$  [10]

T a b e l a 2.2

Zestawienie ważniejszych parametrów maszyn korbowych specjalizowanych technologicznie [10]

| Przeznaczenie maszyny | $\alpha_n$ | $\frac{a_n}{H}$ | $\frac{P_{dop.min}}{P_{nom.}}$ | $M/M_{30^\circ}$ |
|-----------------------|------------|-----------------|--------------------------------|------------------|
| Kucie matrycowe       | $10^\circ$ | 0,008           | 0,17                           | 0,35             |
| Cięcie                | $20^\circ$ | 0,033           | 0,34                           | 0,68             |
| Uniwersalne           | $30^\circ$ | 0,073           | 0,50                           | 1,00             |
| Wyciskanie            | $45^\circ$ | 0,158           | 0,71                           | 1,41             |
| Ciągnienie            | $75^\circ$ | 0,398           | 0,97                           | 1,93             |

### 2.3.2. Nacisk dopuszczalny

Przyjęcie założenia, że do realizacji większości operacji obróbki plastycznej wystarcza utrzymanie stałego nacisku tylko na części odcinka skoku suwaka sprawia, że wykres nacisków dopuszczalnych można podzielić na dwa zakresy.

Pierwszy zakres -  $\alpha \leq \alpha_n$  decyduje o wytrzymałości korpusu, nacisk dopuszczalny  $P_{dop}$  jest równy naciskowi nominalnemu  $P_n$ .

W drugim zakresie, -  $\alpha > \alpha_n$  wytrzymałość mechanizmu napędowego decyduje o przebiegu krzywej nacisku dopuszczalnego  $P_{dop}$ , który w tym zakresie kąta obrotu jest mniejszy od nacisku  $P_{nom}$ .

Moment dopuszczalny zmienia się odwrotnie w obu wymienionych zakresach

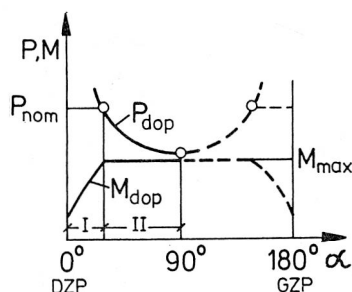
$$\alpha \leq \alpha_n, \quad M_{dop} < M_{max}, \quad (2.14)$$

$$\alpha > \alpha_n, \quad M_{dop} = M_{max}. \quad (2.15)$$

Przebieg momentu dopuszczalnego w funkcji kąta obrotu wału korbowego pokazano na rys.

2.7. Przebieg taki jest konsekwencją założenia, że  $P = P_{nom}$  w zakresie  $\alpha < \alpha_n$ , a  $M = M_{max}$  w zakresie  $\alpha > \alpha_n$ .

Wykresy nacisków dopuszczalnych pras mimośrodowych powstają ze złożenia wykresów nacisków dopuszczalnych dla poszczególnych skoków (rys. 2.8a). Jak wynika z rys. 2.8a najmniejszą wartość nacisku dopuszczalnego osiąga się przy maksymalnym skoku  $H_{max}$  i kącie obrotu wału  $\alpha = 90^\circ$ . Wartość tego nacisku wynosi około  $0,5 P_{nom}$  nacisku nominalnego. Na rysunku 2.8b przedstawiono wykres nacisków dopuszczalnych prasy mimośrodowej, który powstał przez odcięcie nacisków większych od  $P_{nom}$  i nałożenie otrzymanych fragmentów wykresów nacisków dopuszczalnych, odpowiadających poszczególnym wartościom skoków w ten sposób, aby rozpoczynały się one od jednego, wspólnego punktu. Punktem tym jest dolne zwrotne położenie suwaka. Nowo powstały wykres nacisków dopuszczalnych sporządzono we współrzędnych  $P_{dop}/P_{nom} = f(\alpha)$ , gdzie:  $\alpha$  - odległość od dolnego zwrotnego położenia suwaka.

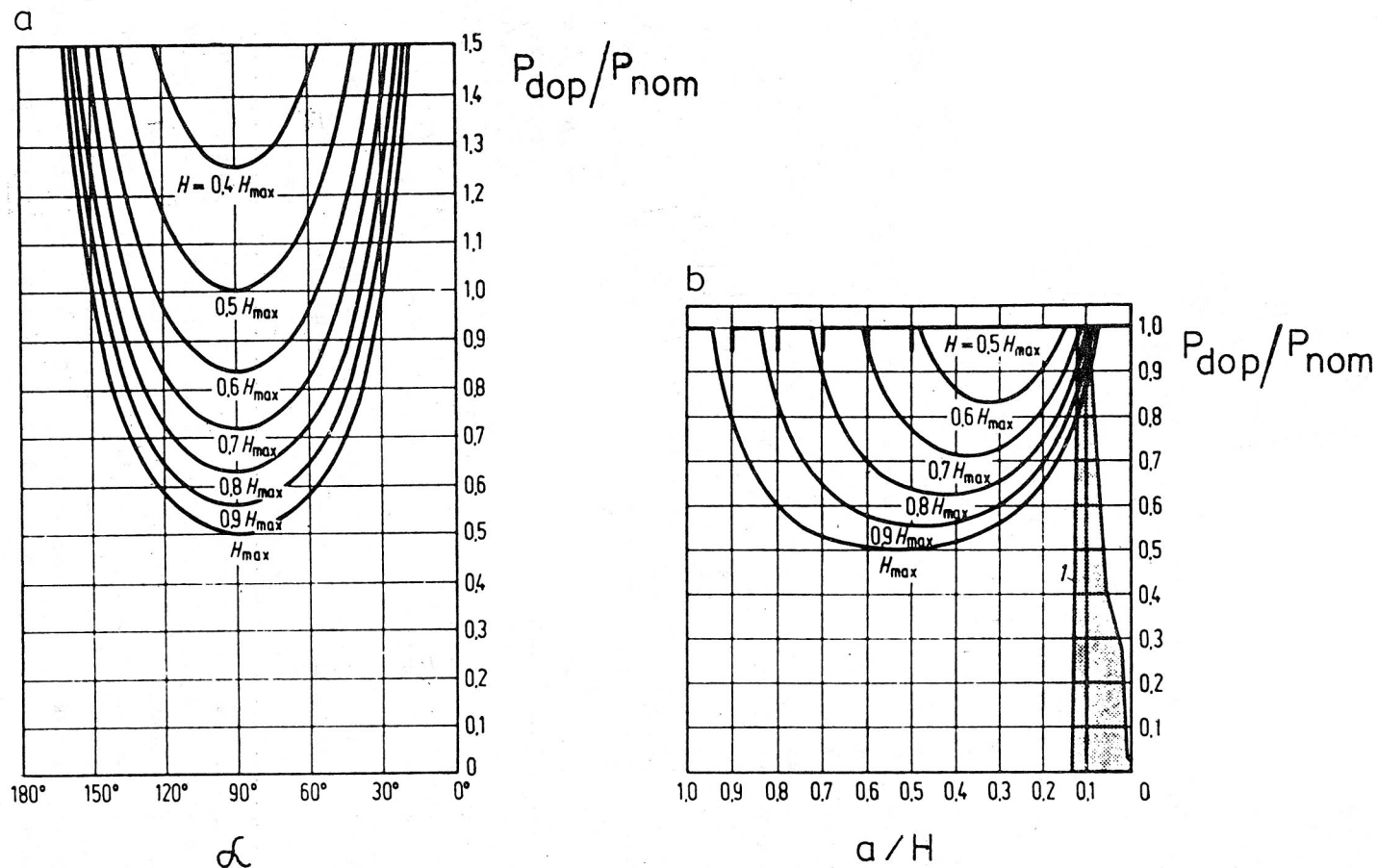


Rys. 2.7. Wykres dopuszczalnego nacisku i momentu w funkcji kąta obrotu korby [2]

### 2.3.3. Energia użyteczna

Termin energia użyteczna oznacza wartość pracy jaką może wykonać prasa podczas jednego skoku suwaka. Przekroczenie dopuszczalnej wartości energii użytecznej odbija się niekorzystnie nie tylko na pracy silnika elektrycznego, ale prowadzi do tak zwanego "utykania prasy".

Do napędu pras mechanicznych stosuje się silniki asynchroniczne z wirnikami klatkowymi lub pierścieniowymi. Moc instalowanych silników nie odpowiada maksymalnej mocy, która jest niezbędna do kształtowania przedmiotu. Czas pracy narzędzia jest stosunkowo krótki. Wynosi on od kilku do dwudziestu kilku procent [2] czasu pełnego cyklu pracy, podczas którego suwak prasy pokonuje drogę równą podwójnej wartości skoku  $H$ . Dostarczenie narzędziom odpowiednio dużej mocy chwilowej jest możli-



Rys. 2.8. Wykresy nacisków prasy mimośrodowej: a - wykresy wyjściowe, b - zbiorczy wykres nacisków dopuszczalnych w funkcji względnej odległości suwaka od jego dolnego zwrotnego położenia [10]: 1 - przebieg siły wykręcania w funkcji drogi

liwe dzięki zainstalowaniu koła zamachowego. Koło zamachowe pełni w tym przypadku rolę akumulatora energii kinetycznej, której zasób przekracza ilość pracy niezbędnej do wykonania jednej operacji technologicznej. Koło zamachowe instaluje się między silnikiem a mechanizmem napędu suwaka. Ubytek energii kinetycznej koła zamachowego, po wykonaniu pracy kształtowania, przejawia się zmniejszeniem liczby obrotów koła. Wartość energii kinetycznej  $E_u$  oddawanej przez koło zamachowe można obliczyć ze wzoru:

$$E_u = I \frac{\omega_p^2 - \omega_k^2}{2}, \quad (2.16)$$

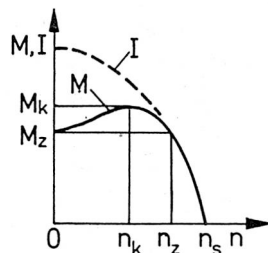
gdzie  $I$  - moment bezwładności koła zamachowego,

$\omega_p$  - początkowa prędkość kątowa,

$\omega_k$  - końcowa prędkość kątowa.

Względy konstrukcyjne przemawiają za zmniejszeniem momentu bezwładności, a więc wymiarów i masy koła zamachowego. Wymaga to jednak zmniejszenia liczby obrotów (zależność 2.16), na przeszkodzie czego stoją warunki dopuszczalnego obciążenia silnika.

Wykres momentu na wale i wykres natężenia prądu stojana w funkcji obrotów silnika asynchronicznego pokazano na rys. 2.9. Z wykresu tego wynika, że moment na wale silnika wzrasta dość szybko ze zmniejszeniem liczby obrotów. Odnosi się do zmniejszenia liczby obrotów nie przekraczającej poślizgu krytycznego  $S_k$ , przy którym silnik roz-



Rys. 2.9. Wykres momentu i prądu dla silnika asynchronicznego [2]:  $M$  - moment,  $I$  - natężenie prądu,  $S$  - poślizg, indeksy  $s$ ,  $z$ ,  $k$  - oznaczają kolejno wartości: synchroniczną, znamionową i krytyczną

wija moment maksymalny. Poślizg silnika mierzy się stosunkiem zmniejszenia liczby obrotów  $n_s - n$  do liczby obrotów synchronicznych  $n_s$

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}. \quad (2.17)$$

Z rysunku 2.9 wynika, że w pobliżu obrotów znamionowych  $n_z$  prąd pobierany przez silnik jest w przybliżeniu proporcjonalny do momentu na wale. W miarę zbliżania się wartości poślizgu  $S$  do wartości krytycznej  $S_k$  prąd wzrasta szybciej niż moment. Pociąga to za sobą obniżenie sprawności i silne rozgrzanie silnika. Ilość wydzielonego ciepła jest bowiem w przybliżeniu proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu. W związku z tym liczba obrotów nie powinna zbliżać się do poślizgu krytycznego, a zwłaszcza nie powinna go przekraczać.

Wartość energii (pracy) użytecznej jest podawana w katalogach. Pracę użyteczną prasy można obliczyć ze wzoru:

$$W_u = E_o \varphi \eta_m = E_u, \quad (2.18)$$

gdzie:  $W_u$  - praca użyteczna, w J,

$E_o$  - energia kinetyczna koła zamachowego, w J,

$\varphi$  - współczynnik zależny od sposobu pracy (ciągła, przerywana) i rodzaju zastosowanego silnika, czyli od poślizgu,

$\eta_m$  - sprawność mechaniczna.

Aby obliczyć całkowitą energię kinetyczną  $E_o$  występującą we wzorze (2.18), należy znać masę koła zamachowego, jego średnicę i liczbę obrotów:

$$E_o = \frac{GD^2}{7100} n^2, \quad (2.19)$$

gdzie:  $G$  - ciężar koła zamachowego, w kG,

$D$  - średnica zewnętrznego wieńca koła zamachowego, w m,

$n$  - liczba obrotów koła zamachowego, obr/min.

W zależności od względnego zmniejszenia liczby obrotów koła zamachowego rozróżnia się następujące warunki pracy:

a) poślizg normalny  $S = 0,15$  (brak poślizgu między częściami napędzającymi i napędzanymi),

b) zwiększony poślizg:  $S =$  od 0,2 do 0,4, dzięki wbudowaniu specjalnych mechanizmów lub podzespołów, np. sprzęgła cierne,

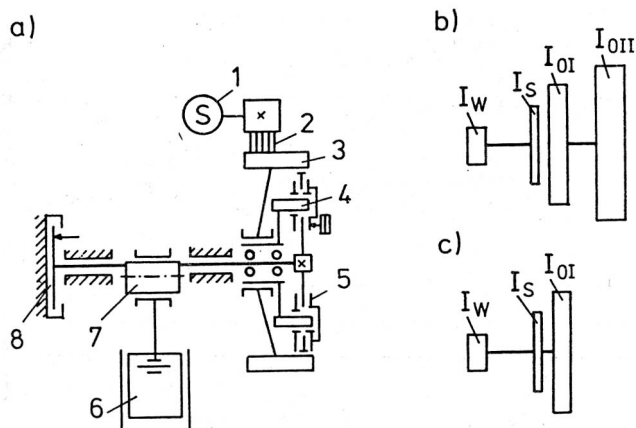
c) duży poślizg:  $S =$  od 0,5 do 0,7, dzięki zastosowaniu specjalnych napędów, np. z dwoma kołami zamachowymi.

W przypadku b i c mowa o poślizgu między dwiema częściami napędu: napędzającą i napędzaną. Częścią napędzającą nazywamy ciągle obracające się elementy napędu (wał silnika, przekładnia pasowa, koło zamachowe) usytuowane przed sprzęgłem; częścią napędzaną - elementy rozpędzane i zatrzymywane po jednym lub serii skoków.

Napędy ze zwiększonym poślizgiem są odpowiednie dla maszyn z dużymi stratami energii w czasie skoku roboczego. Do operacji tych można zaliczyć głębokie tłoczenie, wyciskanie, kucie. Napęd taki powinien być stosowany w ciężkich szybkobieżnych maszynach.

Na rysunku 2.10a pokazano przykład napędu prasy z dużym poślizgiem, jaki może wystąpić dzięki zainstalowaniu dwóch kół zamachowych: podstawowego 3 i roboczego 4. Połączenie tych kół ze sobą oraz głównym wałem 7 jest możliwe dzięki dwupozycyjnemu sprzęgłu 5. Moment bezwładności  $I_{oI}$  roboczego koła zamachowego 4 dobiera się w ten sposób, aby razem z momentem bezwładności części napędzanych  $I_{ws}$  (wał główny, sprzęgło) dawał zapas energii kinetycznej, wystarczający do wykonania operacji



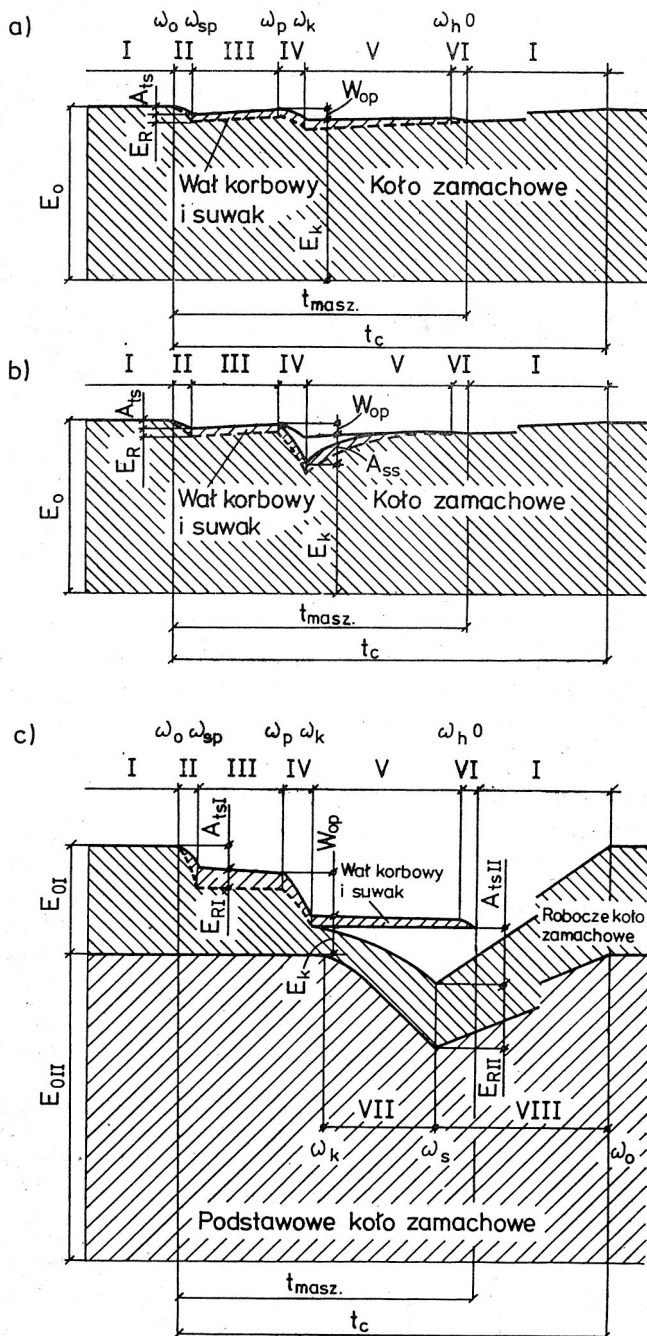


Rys. 2.10. Napęd z dwoma kołami zamachowymi: a - schemat kinematyczny, b i c - schematy połączeń mas, odpowiednio w przerwie między skokami suwaka i podczas skoku suwaka

technologicznej. Podstawowe koło zamachowe 3 służy do kompensacji ubytku energii w roboczym kole zamachowym 4. Moment bezwładności  $I_{OII}$  podstawowego koła zamachowego 3 jest zwykle 3-4 razy większy od momentu bezwładności roboczego koła zamachowego 4.

Podczas pracy maszyny, robocze koło zamachowe 4 jest podłączone albo do podstawowego koła zamachowego 3 (rys. 2.10b), wchodzącego w skład napędzających części napędu, albo do wału korbowego 7 (rys. 2.10c), wchodzącego w skład części napędzających. Do napędzających części niniejszej prasy (rys. 2.10a) zalicza się silnik 1, przekładnię klinową 2, podstawowe koło zamachowe 3; a do napędzanych - napędzane części sprzęgła 5 i hamulca 8 oraz główny wał 7 z masami korbowodu i suwaka.

Podczas przerwy między cyklami pracy suwaka 6, prasy, koła zamachowe 3 i 4 są ze sobą połączone sprzęgłem 5 i obracają się. Realizacja cyklu pracy suwaka 6 wymaga przełączenia sprzęgła 5 w położenie umożliwiające połączenie wału korbowego 7 z roboczym kołem zamachowym 4 i odłączenie koła 4 od koła 3. Suwak 6 wykonuje wówczas pełny skok  $H$  do dołu i w górę, po czym odłączone zostaje sprzęgło i włączony hamulec. Wał korbowy 7 z suwakiem 6 zatrzymują się, a koło zamachowe 4 zostaje połączone z kołem zamachowym 3 i zwiększa częstość swoich obrotów do wartości początkowej. Chwilowe odłączenie roboczego koła zamachowego 4 od napędzającej części napędu oraz optymalny zapas energii tego koła pozwalają zmniejszyć obciążenie dynamiczne maszyny podczas pokonywania oporów kształtowanego materiału.



Rys. 2.11. Przebieg zmian energii maszyn z napędem korbowym: a - o normalnym poślizgu, b - o podwyższonym poślizgu (poślizg sprzęgła cierne-go), c - z dużym poślizgiem (z dwoma kołami zamachowymi). Cyfry od I do VIII oznaczają przedziały cyklu roboczego [18]

Na rysunku 2.11 przedstawiono zmiany energii napędów z różnym stopniem poślizgu, napęd z normalnym poślizgiem przedstawiono na rys. 2.10a. Cykl pracy  $t_c$  (rys. 2.11) można podzielić na osiem przedziałów:

- I - między włączeniem (przerwa),
- II - napędzanie napędzanych części (wał korbowy, suwak),
- III - ruch jałowy (dochodzenie narzędzi do materiału),
- IV - skok roboczy (kształtowanie materiału),
- V - ruch powrotny,
- VI - hamowanie napędzanych części,
- VII, VIII - napędzanie roboczego koła zamachowego odpowiednio z poślizgiem i bez poślizgu w sprzęgle ciernym.

Każdy z wymienionych przedziałów charakteryzuje początkowa i końcowa wartość częstości  $\omega$  obrotów koła zamachowego (wału korbowego):

- $\omega_o$  - nominalna,
- $\omega_{sp}$  - po włączeniu sprzęgła,
- $\omega_p$  i  $\omega_k$  - na początku i pod koniec roboczej części skoku suwaka,
- $\omega_h$  - przed włączeniem hamulca,
- $\omega_s$  - po zakończeniu poślizgu w sprzęgle dwupozycyjnym.

W napędzie z normalnym poślizgiem (rys. 2.11a) rozróżniamy straty energii na: tarcie w sprzęgle  $A_{ts}$ , rozpędzanie napędzanych części  $E_R$ , kształtowanie wyrobu  $W_{op}$ .

W napędzie o zwiększonym poślizgu (rys. 2.11b) do wymienionych strat dochodzą straty energii na tarcie w czasie poślizgu sprzęgła podczas skoku roboczego  $A_{ss}$ .

W napędzie z dwoma kołami zamachowymi (z dużym poślizgiem) (rys. 2.11c) dochodzą jeszcze straty energii:

- na tarcie w sprzęgle dwupozycyjnym  $A_{tsII}$ ,
- poprzedzające napędzanie roboczego koła zamachowego  $E_{RII}$ .

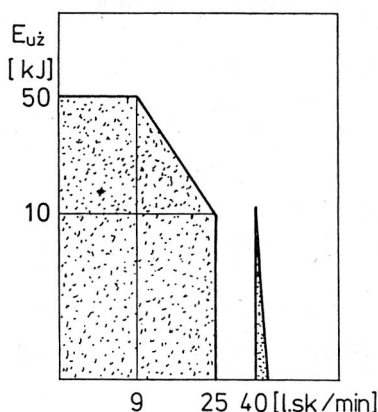
Każdy z omawianych napędów charakteryzuje inny stosunek ogólnej energii  $E_o$  do różnicy między energią  $E_o$  i  $E_k$  - pozostającej w napędzie pod koniec skoku roboczego:

$$\frac{E_o}{E_o - E_k} = \frac{E_o}{E_u} = \frac{1}{[1 - (1 - S)^2]}.$$

Od wartości poślizgu  $S$  zależy wartość nadwyżek energetycznych, które przy nieprawidłowej eksploatacji prasy mogą prowadzić do znacznych przeciążeń. Największe nadwyżki energetyczne występują przy napędach z normalnym poślizgiem, gdy stosunek energii całkowitej  $E_o$  do energii użytecznej  $E_u$  wynosi od 3,5 do 5,2. Przy dużym poślizgu stosunek ten zmniejsza się od 1,1-1,3 i praktycznie nie występuje nadwyżka energetyczna. Jedynie napędy z normalnym poślizgiem mogą pracować w cyklach automatycznych (ruchem ciągłym), co gwarantuje nadmiar energii

zgromadzony w kole zamachowym. Napędy z dużym poślizgiem, mogą pracować tylko w systemie pojedynczych włączeń. Nie można bowiem uzupełnić strat energii wyłącznie w czasie powrotnego ruchu suwaka.

Wartość energii użytecznej jest ponadto różna w zależności od tego czy maszyna pracuje skokami pojedynczymi, czy ruchem ciągłym. Dopuszczalna wartość energii użytecznej pras uniwersalnych z napędem korbowym jest w przypadku pracy ciągłej blisko dwukrotnie mniejsza w porównaniu z pracą skokami pojedynczymi. Gdy maszyna pracuje skokami pojedynczymi, trzeba pamiętać o krytycznej wartości energii użytecznej w jednostce czasu, po której przekroczeniu wartość dopuszczalna ulega zmniejszeniu. Na rysunku 2.12 przedstawiono zmiany energii użytecznej  $E_u$



Rys. 2.12. Zmiany energii użytecznej prasy korbowej PEEII250 w zależności od liczby włączeń na minutę [5]

prasy korbowej w zależności od liczby włączeń na minutę. Prasa ta przy ruchu ciągłym wykonuje 50 skoków na minutę. Energia użyteczna przy tej wartości skoków wynosi około 11 kJ, natomiast przy skokach pojedynczych aż 50 kJ. Energię użyteczną wartości 50 kJ można wykorzystać tylko w zakresie do 9 pojedynczych włączeń na minutę.

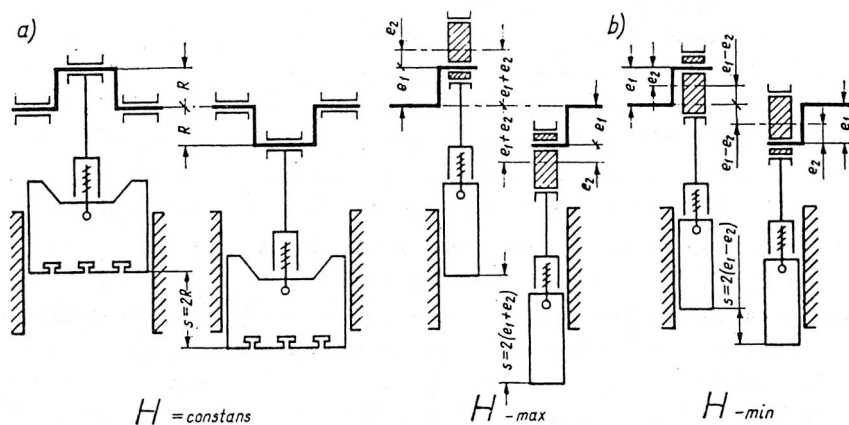
Zwiększenie liczby włączeń od 9 do 25 powoduje liniowy spadek wartości energii użytecznej. Przy liczbie 25 włączeń na minutę energia użyteczna osiąga wartość 10 kJ. Liczba 25 stanowi dopuszczalną liczbę pojedynczych włączeń na minutę.

#### 2.3.4. Skok suwaka

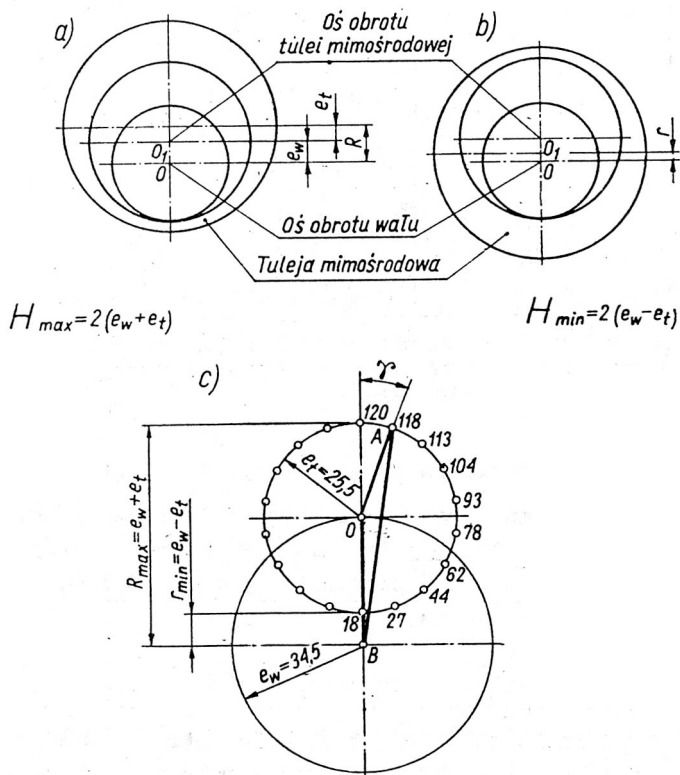
Skok suwaka  $H$  jest jednym z parametrów, które określają prace możliwe do wykonania na prasie. Wiadomo bowiem, że wysokość, np. wyrobu tłoczonego, musi być mniejsza od wielkości skoku. Skok prasy to odległość między górnym i dolnym zwrotnym położeniem suwaka (rys. 2.1). Rysunek 2.13 ilustruje sposoby obliczania skoków dla pras korbowych i mimośrodowych. Wartość skoku prasy korbowej jest stała i równa podwojonej wartości długości korby (rys. 2.13a). W prasach mimośrodowych wartość skoku może się zmieniać. Skok maksymalny takiej prasy jest równy podwojonej sumie długości wykorbienia i mimośrodu tulei, a skok minimalny ich podwojonej różnicy (rys. 2.13b).

Pośrednie wartości skoku prasy mimośrodowej można wyznaczyć z zależności:

$$H_1 = 2\sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2e_1e_2 \cos \frac{360z}{m}}, \quad (2.20)$$



Rys. 2.13. Skok suwaka prasy: a - korbowej, b - mimośrodowej [12]

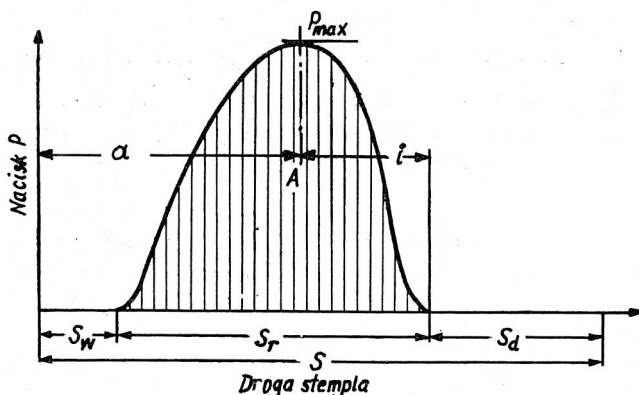


Rys. 2.14. Schemat mechanizmu mimośrodowego: a - położenie tulei mimośrodowej przy maksymalnym skoku, b - położenie tulei mimośrodowej przy minimalnym skoku, c - schemat ilustrujący zasadę obliczania pośrednich wartości skoków [9]

gdzie:  $e_1$  - długość wykorbienia,  
 $e_2$  - mimośród tulei,  
 $m$  - liczba podstawowych położeń tulei względem wału  $m = 360/\gamma$ ,  
 $\gamma$  - kąt oznaczony na rys. 2.14c,  
 $z$  - kolejne położenie tulei mimośrodowej, przy czym położenie zerowe odpowiada najmniejszej wartości skoku.)

Schemat przyjęty do obliczeń pośrednich wartości skoków prasy mimośrodowej pokazano na rys. 2.14. Cyfry naniesione na połowie obwodu mniejszego okręgu informują o wartościach skoków, które odpowiadają poszczególnym położeniom tulei mimośrodowej. Rozwiązanie konstrukcyjne mechanizmu zmiany skoku opisano w rozdziale omawiającym podzespoły maszyn.

Przy doborze skoku  $H$  suwaka prasy należy uwzględnić skok stempla (narzędzia)  $S_{st}$ , na który składa się droga dojścia stempla do materiału  $S_d$ , skok roboczy  $S_r$  oraz droga wyjścia  $S_w$ , co graficznie przedstawiono na rys. 2.15. Droga dojścia i wyjścia zależy w znacznym

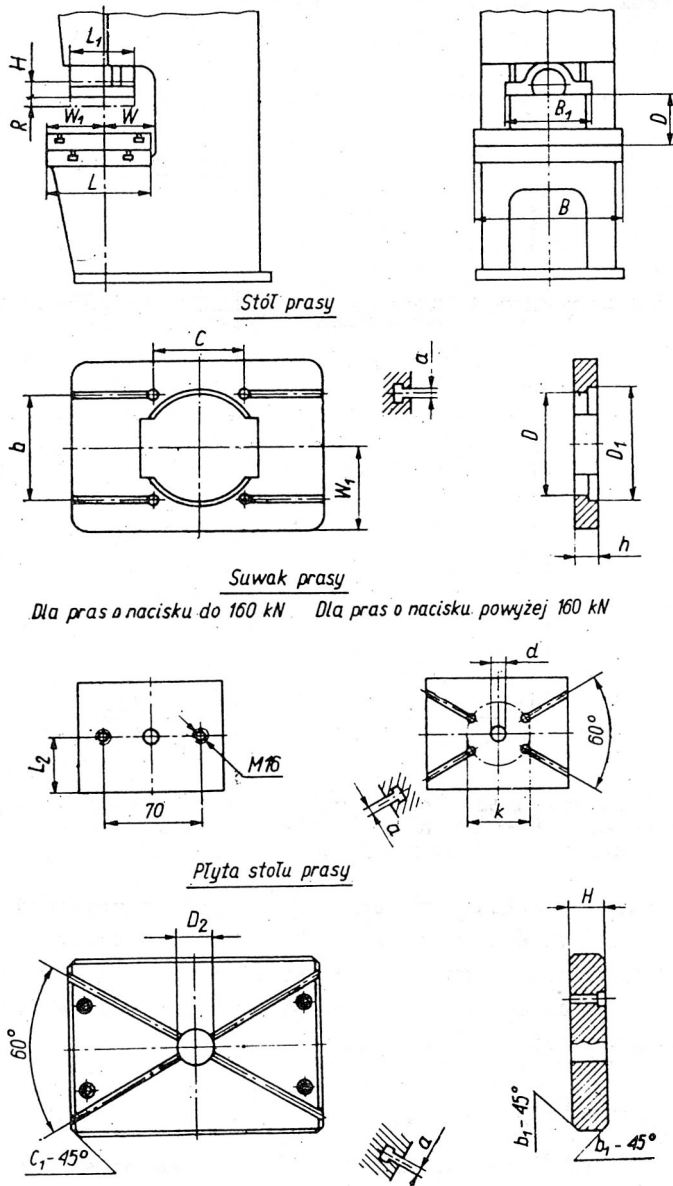


Rys. 2.15. Sposób określania drogi stempla (skok tłoczніка) [2]

stopniu od sposobu usuwania wyrobu. Literą  $a$  oznaczono odległość punktu  $P_{max}$  od dolnego zwrotnego położenia suwaka prasy. Znajomość odległości  $a$  ułatwia uproszczone sprawdzanie poprawności doboru prasy ze względu na naciski dopuszczalne.

### 2.3.5. Wymiary przestrzeni roboczej

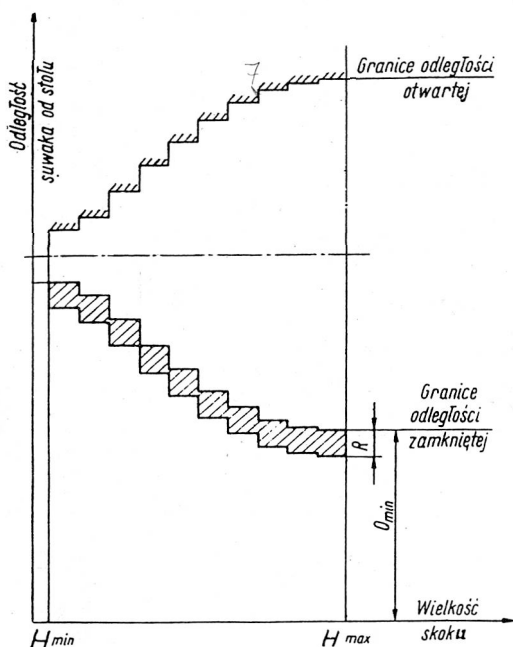
Wymiary przestrzeni roboczej (rys. 2.16) określa się przez wymiary stołu suwaka, wysięg i wysokość przestrzeni roboczej. Wysokość przestrzeni roboczej jest odległością między stołem i czołową powierzchnią suwaka. Wysokość tę można zmniejszać przez wydłużenie korbowodu o war-



Rys. 2.16. Parametry przestrzeni roboczej maszyn z korpusem wysięgowym i ramowym [9]

tość  $R$  (wykręcenie łącznika 9 - rys. 2.34), przez unoszenie nastawnego stołu oraz przez stosowanie podkładek układanych na stole prasy albo podwieszanych do suwaka. Niezależnie od tego, należy pamiętać, że wyso-

kość przestrzeni roboczej pras mimośrodowych ulega zmianom wraz ze zmianą wartości skoku  $H$  suwaka. Wykres zmienności wysokości przestrzeni roboczej  $O$  w zależności od skoku  $H$  pokazano na rysunku 2.17.



Rys. 2.17. Wykres zmienności odległości suwaka od stołu prasy w zależności od skoku suwaka:  $R$  - nastawność suwaka,  $O_{\min}$  - minimalna (zamknięta) odległość suwaka od stołu prasy przy  $H_{\max}$  i wkręconym łączniku [9]

W dokumentacji techniczno-ruchowej prasy mimośrodowej można znaleźć informacje jedynie o wysokości przestrzeni roboczej przy maksymalnym skoku. Dlatego też często należy określić wysokość przestrzeni roboczej dla pozostałych wartości skoków. Wysokości te można wyznaczyć z następujących zależności:

$$O_i = O_{\min} + \frac{H_{\max} - H_i}{2}, \quad (2.21)$$

gdzie:  $O_i$  - poszukiwana wysokość przestrzeni roboczej dla  $i$ -tego skoku,

$O_{\min}$  - odczytana w DTR wartość wysokości przestrzeni roboczej dla dolnego zwrotnego położenia suwaka (w zamknięciu),

$H_{\max}$  - odczytana w DTR wartość skoku maksymalnego,

$H_i$  - wartość założonego skoku



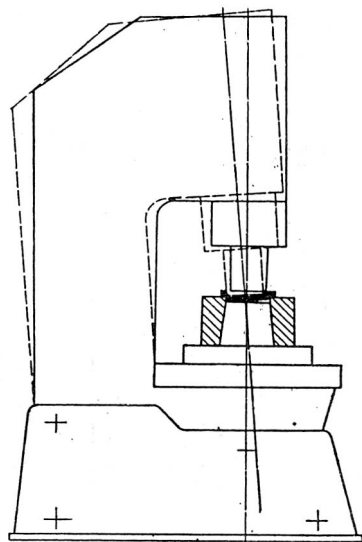
lub

$$O_1 = O_{\max} - \frac{H_{\max} + H_1}{2} = O_{\min} + H_{\max} - \frac{H_{\max} + H_1}{2}. \quad (2.22)$$

### 2.3.6. Sztywność

Istotnym parametrem użytkowym maszyny jest jej sztywność. Niekorzystne doświadczenia na prasach wysięgowych spotęgowały zainteresowanie sztywnością pras. Dotyczyło to zwłaszcza wykrojników wielozabiegowych z narzędziami z węglików spiekanych, kiedy niedostateczna sztywność prasy powodowała zwiększone zużycie narzędzi przy wykrawaniu. Ponadto, odkształcenia sprężyste pras wpływają szczególnie niekorzystnie na dokładność wykonania takich operacji, jak dotłaczanie i kalibrowanie. Dlatego też, należy unikać realizacji tych operacji na prasach wysięgowych.

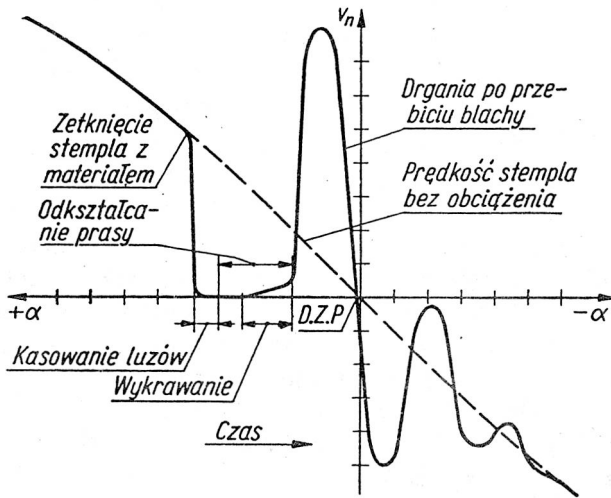
Odkształcenia maszyn z korpusem wysięgowym powodują skośne ustawienie prowadnic i suwaka względem stołu (rys. 2.18). Tym samym następuje przesunięcie stempla względem matrycy oraz zmniejszenie luzu między stemplem a matrycą z jednej i zwiększenie luzu z drugiej strony. Zmiana luzu oddziałuje szkodliwie na trwałość narzędzi, gdy suwak po wykonaniu operacji opada wskutek odprężenia układu i stemplem zagłębia się w matrycę ponad potrzebną wielkość. Jeżeli w prasie nie ma odciążacza, to do wspomnianych przesunięć stempla dodają się jeszcze przesunięcia spowodowane luzami w połączeniu suwaka z korbowodem i korbowodu z wałem.



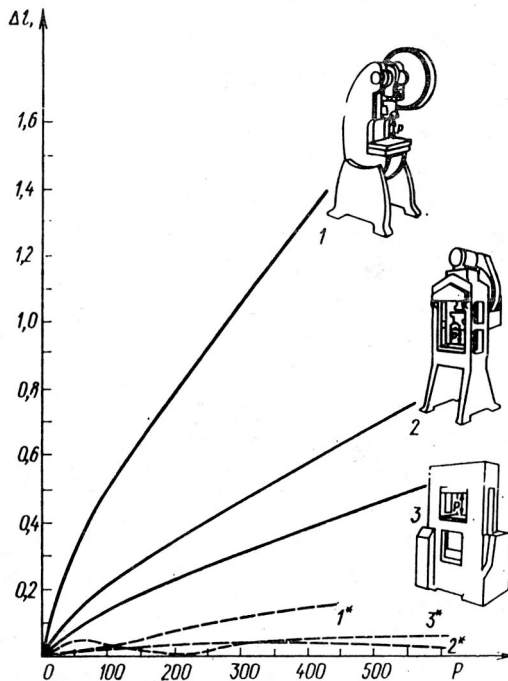
Rys. 2.18. Skośne ustawienie stempla w wyniku odkształceń sprężystych korpusu wysięgowego [6]

Schemat zmian prędkości stempla względem matrycy przy wykrawaniu pokazano na rys. 2.19. Jak wynika z rys. 2.19 obciążony stemplem porusza się ruchem drgającym. Powstaje przy tym siła rzędu wielkości 0,1-0,2 siły cięcia. Zmęczeniowy charakter tych obciążeń powoduje awarie zawieszania suwaka, a zwłaszcza mocowania kuli łącznika łączącego korbówód z suwakiem.

Sztywność maszyny zależy w znacznym stopniu od rodzaju jej korpusu. Na rysunku 2.20 pokazano wpływ obciążenia na odkształcenia sprężyste (pionowe i poziome) korpusu wysięgowego, ramowego i ramowego wzmocnionego



Rys. 2.19. Schemat zmian prędkości stemplu względem matrycy przy wykrawaniu (linia ciągła) w stosunku do zmian prędkości suwaka bez obciążenia (linia przerywana) [6]



Rys. 2.20. Odkształcania korpusów  $\Delta l$  w płaszczyźnie pionowej (1-3) i poziomej (1''-3'') w funkcji obciążenia  $P$  [18]

go (krzywe 1-3). Na przykład, przy sile 400 kN, odkształcenia pionowe wynoszą odpowiednio 1,32 i 0,58 mm dla korpusu wysięgowego i ramowego oraz 0,37 mm dla ramowego wzmocnionego. Odkształcenia poziome, stanowiące przemieszczenia osi suwaka względem osi prasy, wynoszą odpowiednio 0,1; 0,03 i 0,02 mm.

Jeżeli sporządzimy wykres siły w funkcji odkształcenia  $P = f(\Delta l)$ , to otrzymamy charakterystykę sztywności pionowej prasy. Dla porównania w tabeli 2.3 podano zestawienie współczynników sztywności pionowej typowych maszyn z napędem korbowym. Współczynnik  $C_k$  oznacza sztywność korpusu, a współczynnik  $C_p$  - sztywność pionową prasy, rozumianą jako sumaryczną sztywność korpusu  $C_k$  i napędzanych elementów prasy  $C_p$

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C_k} + \frac{1}{C_n}. \quad (2.23)$$

T a b e l a 2.3

Sztywność pionowa pras mechanicznych [14]

| Rodzaj maszyny                         | Współczynnik sztywności,<br>MN/m |             |
|----------------------------------------|----------------------------------|-------------|
|                                        | korpusu $C_k$                    | prasy $C_p$ |
| Prasy mimośrodowe wysięgowe stałe      | 800-1500                         | 300-1200    |
| Prasy mimośrodowe wysięgowe przechylne | 800-1500                         | 200-1000    |
| Prasy korbowe ramowe jednopunktowe     | 1500-4000                        | 500-3000    |
| Korbowe kuźnicze                       | 14000-50000                      | 5000-18000  |
| Prasy kolanowe                         | 10000-25000                      | 1500-8500   |
| Automaty wielooperacyjne firmy HATEBUR | 5000-10000                       | 1000-6000   |

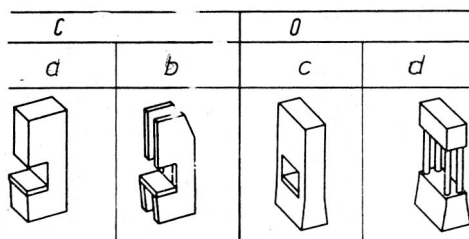
## 2.4. Podstawowe podzespoły i ich przeznaczenie

### 2.4.1. Korpus i stół

Korpus maszyny stanowi podstawowe ogniwo przejmujące siły i momenty powstające w czasie realizacji procesu technologicznego. Korpusy mogą być odlewane lub spawane, jednolite lub składane. Wiążą one w jedną funkcjonalną całość wszystkie mechanizmy. Podstawowym zadaniem korpusu jest zabezpieczenie żądanej dokładności kształtowanych wyrobów przy zadanych wymiarach przestrzeni roboczej.

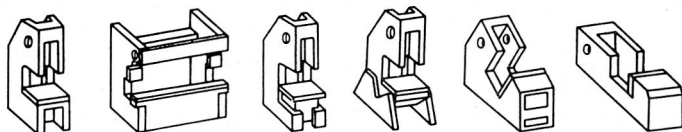
Korpusy można podzielić na dwie podstawowe grupy (rys. 2.21):

- otwarte (wysięgowe), oznaczone umownie literą C,
- zamknięte (ramowe), oznaczone umownie literą O.



Rys. 2.21. Rodzaje korpusów: a, b - wysięgowe, typ C; c, d - typ O [10]

Korpusy otwarte stosuje się w prasach o małych i średnich wartościach nacisków nominalnych. Umożliwiają one swobodny dostęp do przestrzeni roboczej z trzech, a nawet z czterech stron (rys. 2.22). Korpusy zamknięte (ramowe), jako bardziej sztywne, umożliwiają osiągnięcie większej dokładności kształtowania. Korpusy ramowe są lżejsze w porównaniu z korpusami wysięgowymi o tej samej sztywności.



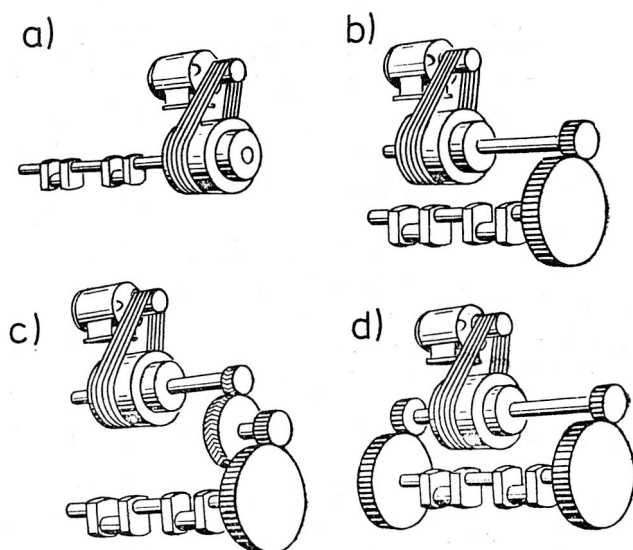
Rys. 2.22. Przykłady korpusów wysięgowych [10]

Korpusy jednolite stosuje się w prasach o małych naciskach nominalnych, ponieważ w korpusach jednolitych występuje znaczna koncentracja naprężeń w miejscach przejścia stojaków w podstawę i poprzeczkę górną. Korpusy składane umożliwiają wstępne naprężanie konstrukcji i przeciwdziałanie skutkom koncentracji naprężeń.

#### 2.4.2. Napęd mechanizmu korbowego

Wał korbowy jest napędzany od silnika elektrycznego za pośrednictwem przekładni pasowej lub pasowo-zębatej. Liczba stopni redukcji obrotów silnika zależy od liczby skoków suwaka na minutę i obrotów silnika elektrycznego.

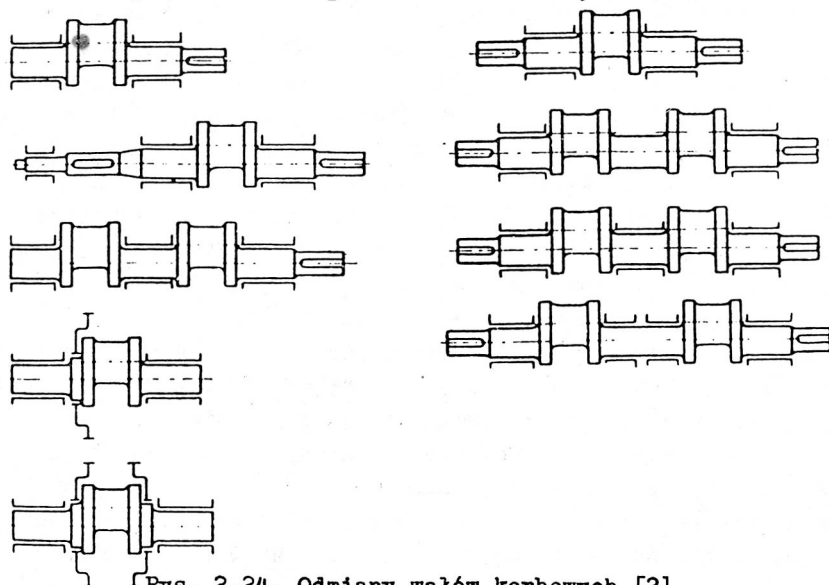
Napęd wału korbowego może być jednostronny (rys. 2.23a,b,c) lub dwustronny (rys. 2.23d). Ten ostatni stosuje się w celu równomiernego obciążenia końców wału momentem skręcającym. Ostatnio, oprócz przekładni zębatych otwartych, coraz częściej stosuje się przekładnie pracujące w kąpielii olejowej.



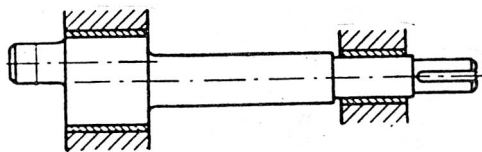
Rys. 2.23. Napęd wału korbowego: a, b, c – jednostronny; d – dwustronny; a – jednostopniowy; b, d – dwustopniowy; c – trzystopniowy [1]

### 2.4.3. Wały korbowe

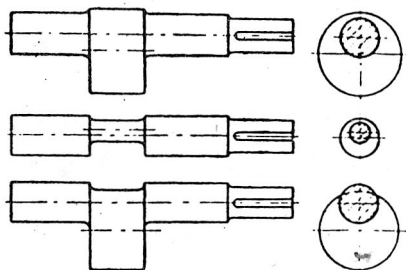
Zasadnicze kształty wałów pokazano na rys. 2.24 do 2.26. Pierwszy z tych rysunków ilustruje wały jedno- i dwukorbowe, dwustronnie łożyskowane. Na rysunku 2.25 pokazano wał jednostronnie łożyskowany. Wały mimośrodowe ze stałym mimośrodem przedstawiono na rys. 2.26.



Rys. 2.24. Odmiiany wałów korbowych [2]



Rys. 2.25. Wał korbowy jednostronnie łożyskowany [2]



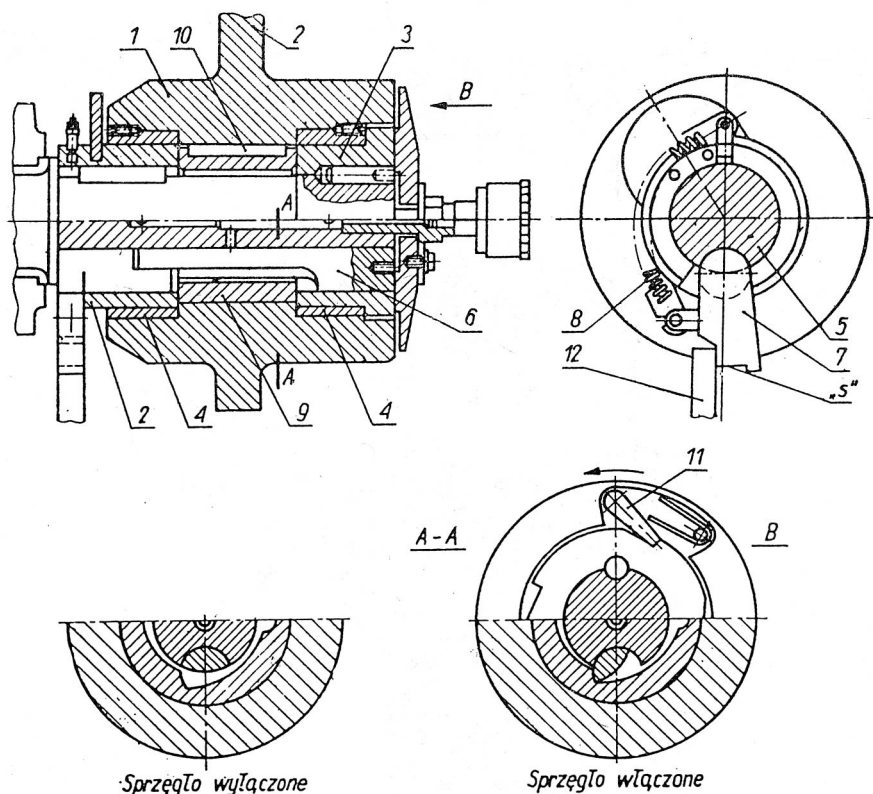
Rys. 2.26. Wały mimośrodowe [2]

#### 2.4.4. Sprzęgła

Zadaniem sprzęgła jest niezawodne włączanie (wyłączanie) ruchu roboczego prasy przez połączenie (rozłączenie) koła zamachowego z wałem napędzającym suwak. Wyłączenie sprzęgła musi nastąpić w takim momencie, aby suwak prasy zatrzymał się w górnym zwrotnym położeniu. W spełnieniu tego warunku pomaga hamulec, który działa natychmiast po wyłączeniu sprzęgła. Najszersze zastosowanie znalazły dwa rodzaje sprzęgieł - z wpustem obrotowym i cierne.

Na rysunku 2.27 pokazano zasadę działania sprzęgła z wpustem obrotowym. W momencie włączenia sprzęgła wpust obrotowy 6, który w stanie wysprężonym tkwi w wyłobieniu wału korbowego, zostaje wychylony w sposób pokazany na rys. 2.27. Wychylenie to sprawia, że wpust zazębia się z jednym z wgłębień, wykonanych w tulei 9, która jest sztywno połączona z kołem zamachowym 2. W ten sposób obrót koła zamachowego zostaje przeniesiony na wał korbowy 5. Sprzęgła z wpustem obrotowym umożliwiają uniezależnienie sterowania pras od sieci sprężonego powietrza. Zasadniczą ich wadą jest niemożność zatrzymania suwaka prasy w położeniach pośrednich. Ponadto, zużyte lub źle konserwowane sprzęgło tego rodzaju może przejawiać skłonność do powtarzania skoku przez suwak prasy. Najczęstszymi przyczynami powtórzenia skoku jest pęknięcie, rozciągnięcie lub wyskoczenie z zaczepu sprężyny wpustu obrotowego, uszkodzenie wpustu obrotowego lub sprężyn mechanizmu samoczynnego rozrządu. Z tych też powodów sprzęgła z wpustem obrotowym są wypierane przez sprzęgła cierne, które w przeciwieństwie do wymienionych są bezpieczniejsze i umożliwiają wyłączenie ruchu suwaka w dowolnym jego położeniu.

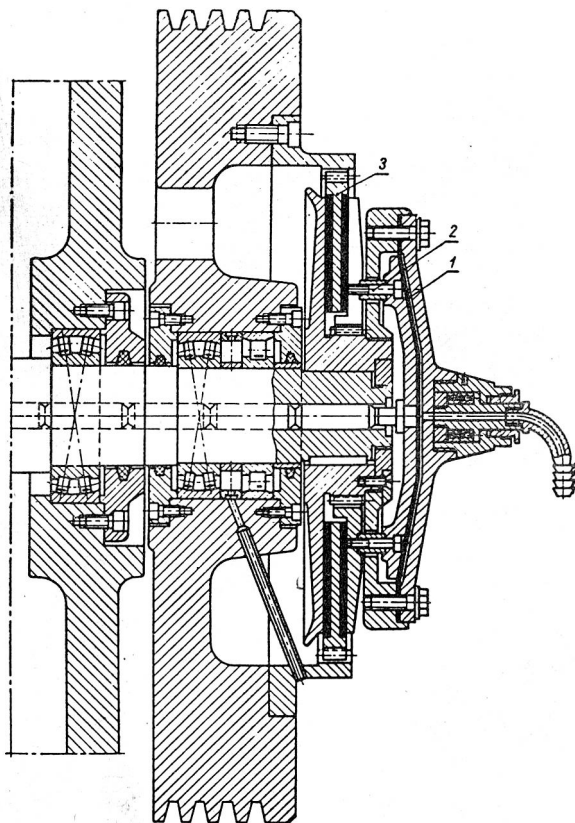
Sprzęgła cierne, mimo wymienionej zalety, mają również pewne wady. Podczas pracy takiego sprzęgła wydzielana jest duża ilość ciepła, która wzrasta z kwadratem liczby obrotów. Skłonność sprzęgieł ciernych do przegrzewania się zmusza do ograniczenia liczby włączeń. Dlatego też



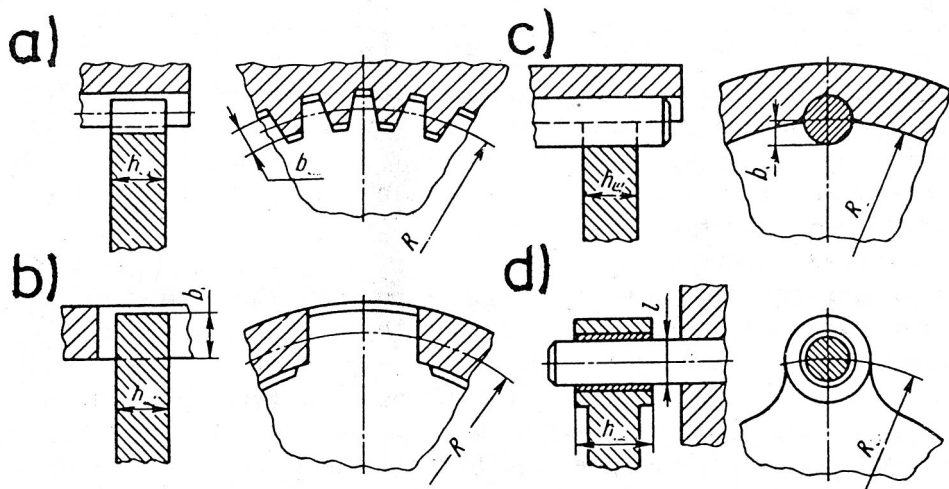
Rys. 2.27. Schemat sprzęgła z wpustem obrotowym: 1 - piasta koła zamachowego, 2 - wieniec koła zamachowego, 3 - wkręt, 4 - tuleja, 5 - wał korbowy, 6 - wpust obrotowy, 7 - obrotownica wpustu, 8 - sprężyna, 9 - tuleja z wybraniem na wpust obrotowy, 10 - wpust obrotowy, 11 - zapadka, 12 - palec mechanizmu rozrządu [2]

prasy z tymi sprzęgłami mają ograniczoną liczbę obrotów koła zamachowego albo przeniesione sprzęgło na wał pośredni, albo na wał korbowy. To ostatnie rozwiązanie nie należy do najlepszych, ponieważ sprzęgło umieszczone na wale korbowym musi przenosić duże momenty obrotowe, a więc ma zwiększone gabaryty.

Przykład powietrznego sprzęgła ciernego pokazano na rys. 2.28. Powietrze naciska na dużą powierzchnię przepony gumowej 1, która przemieszcza tarczę z popychaczami 2 i przekazuje nacisk na płytki tarczy 3. Tarcze 3, przekazujące napęd z koła zamachowego na wał korbowy, są łączone przesuwnie z tym kołem za pośrednictwem: uzębienia (ewolwentowego lub prostokątnego), cylindrycznych kołków lub wałeczków. Przykłady połączeń pokazano na rys. 2.29. Największe zastosowanie znalazł sposób połączenia pokazany na rys. 2.29a, który jest najbardziej technologiczny z punktu widzenia wykonania i zamiany części.



Rys. 2.28. Sprężęło powietrzne membranowe [2]: 1 - membrana, 2 - popychacze, 3 - tarcza cierna

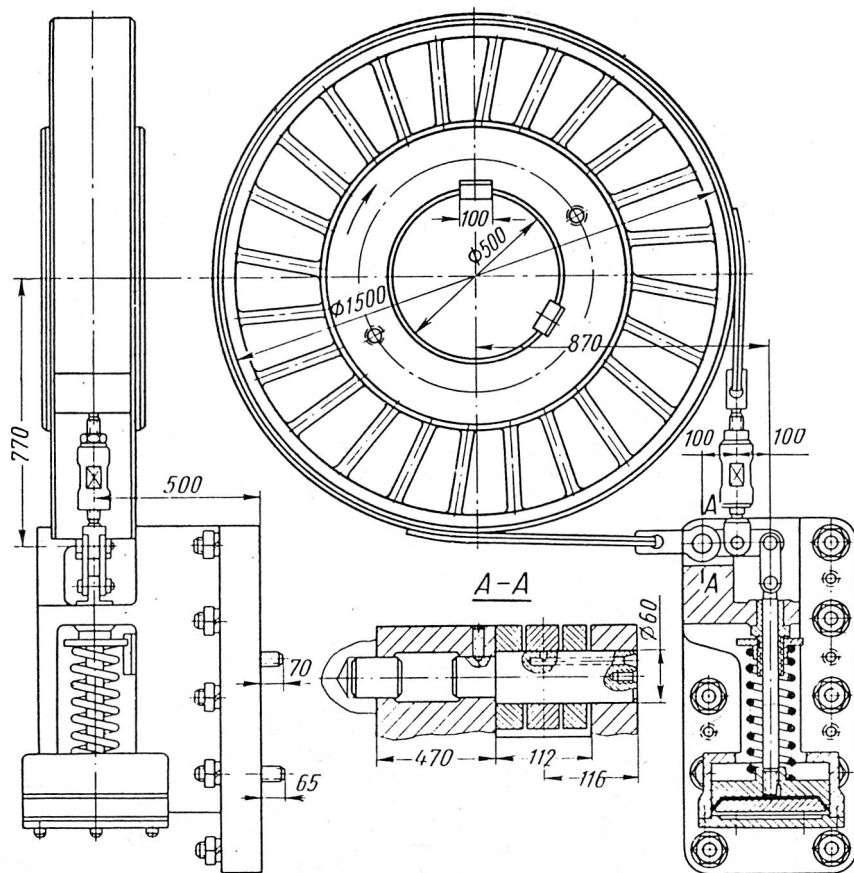


Rys. 2.29. Sposoby połączeń tarcz ciernych z płytą: a - ewolwentowe, b - prostokątne, c - wałeczkowe, d - kołkowe [17]



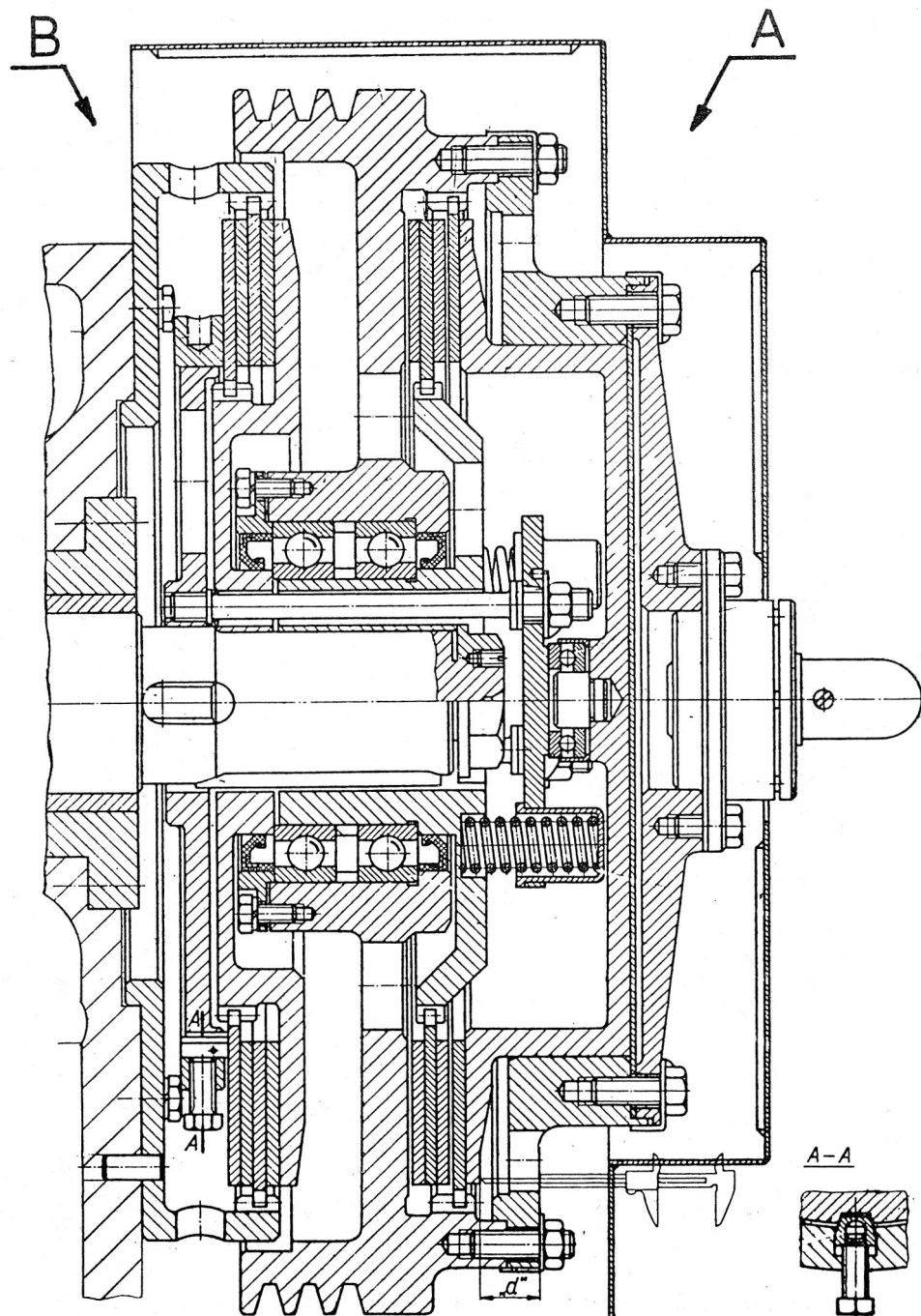
### 2.4.5. Hamulce

Hamulce maszyn z napędem korbowym to przede wszystkim hamulce cierne taśmowe i dyskowe. Konstrukcja hamulców taśmowych (rys. 2.30) jest stosunkowo prosta. Gwarantują one przy tym dobre odprowadzenie ciepła. Należy jednak zaznaczyć, że taśmy cierne hamulców ciężkich pras muszą mieć znaczną grubość. Przy dużej twardości taśmy jest to przyczyną niepełnego przylegania taśmy do bębna i przyspiesza zużycie elementów ciernych. Zdarzają się również zerwania taśmy w przypadku zwiększania siły napięcia taśmy, aby zwiększyć jej przyleganie do bębna.



Rys. 2.30. Hamulec taśmowy

Przy stosowaniu sprzęgieł ciernych stosuje się dość często połączenie układu sprzęgła z hamulcem. Włączenie sprzęgła powoduje samoczynne włączenie hamulca. Rozwiązania (rys. 2.31) takie wymagają dobrego chłodzenia tarcz ciernych.



Rys. 2.31. Układ sprzęgło-hamulec: A - podzespoły sprzęgła, B - podzespoły hamulca

#### 2.4.6. Mechanizm samoczynnego rozrządu

Mechanizmem służącym do nastawiania prasy na ciągły lub przerywany ruch suwaka jest automat rozrządu (rys. 2.32). Automat ten współpracuje ze sprzęgiem z wpustem obrotowym. W przypadku sprzęgieł ciernych, poszczególne ruchy suwaka uzyskuje się dzięki elektrycznemu sterowaniu układem styczników i rozdzielaczy powietrza, które dociska tarcze sprzęgła.

Mechanizm samoczynnego rozrządu (rys. 2.32a) jest nastawiany popychaczem 1. W celu zapewnienia ruchu przerywanego (pojedyncze skoki suwaka), popychacz 1 należy wcisnąć tak, aby dolny koniec dźwigni 2 przesunął się zgodnie ze strzałką A. Górny koniec dźwigni 2 zbliży się wówczas do wału korbowego, dzięki obrotowi dźwigni 2 dookoła punktu B. Naciśnięcie przycisków układu sterowania spowoduje obrót dźwigni 6 razem z tuleją 5, która obróci zapadkę 7 i zwolni zderzak 8. Zderzak 8 obróci się aż do oporu o płaszczyznę C tulei 4, powodując obrót klina sprzęgłowego i połączenie wału korbowego z obracającym się kołem zamachowym.

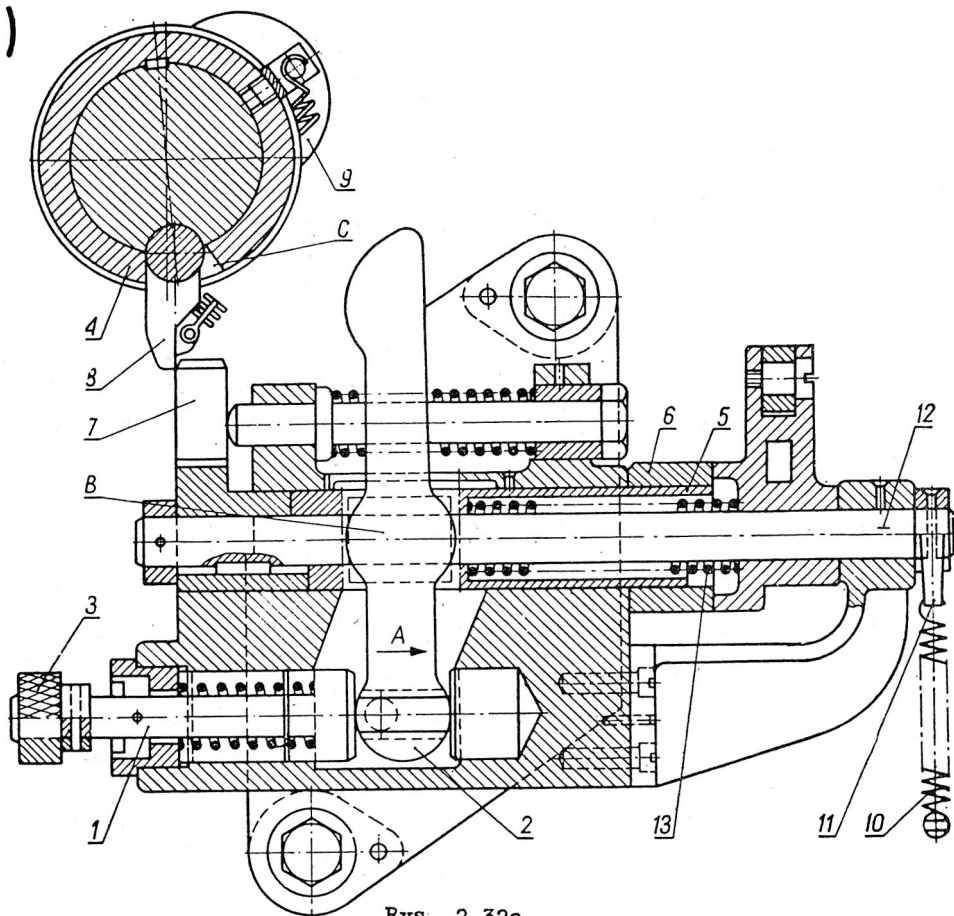
Odłączenie koła zamachowego od wału korbowego następuje po odsunięciu dźwigni 2 przez krzywkę 9, obracającą się razem z wałem korbowym. Odsunięcie dźwigni 2 powoduje wyzębienie tulei 5 z zapadki 7, która wraca do pierwotnego położenia dzięki uprzednio napiętej sprężynie 10 przytworzonej do dźwigni 11, osadzonej na wałku 12. Zderzak 8 dochodząc do zapadki 7, obraca klin sprzęgłowy i powoduje rozłączenie układu koło zamachowe - wał korbowy. Dalsze trzymanie rąk na przyciskach układu sterowania nie powoduje ponownego włączenia prasy.

Ponowne uruchomienie suwaka prasy wymaga zwolnienia przycisków układu sterowania, dzięki czemu tuleja 5 obróci się i przesunie w lewo pod działaniem sprężyny 13, a następnie zazębi się z zapadką 7.

Ruch ciągły następuje po wysunięciu popychacza 1 i obrocie dźwigni 2 wokół punktu B. Obrót ten powoduje odsunięcie górnego końca dźwigni 2 od krzywki 9 umieszczonej na wale korbowym. Krzywka 9 nie odpycha więc dźwigni 2 i nie powoduje samoczynnego wyzębienia tulei 5 i powrotu zapadki 7 do położenia wyjściowego. Wał korbowy obraca się tak długo, jak długo są włączone przyciski układu sterowania. Dopiero zwolnienie przycisków umożliwia obrót zapadki 7 i zatrzymanie zderzaka 8 wyłączającego sprzęgło.

Na rysunku 2.32b pokazano mechanizm samoczynnego rozrządu działający w odmienny sposób. Pojedyncze skoki suwaka gwarantuje wyłączanie elektromagnesu 12 dzięki krzywce 7 współpracującej z wyłącznikami 8 i 9.

a)



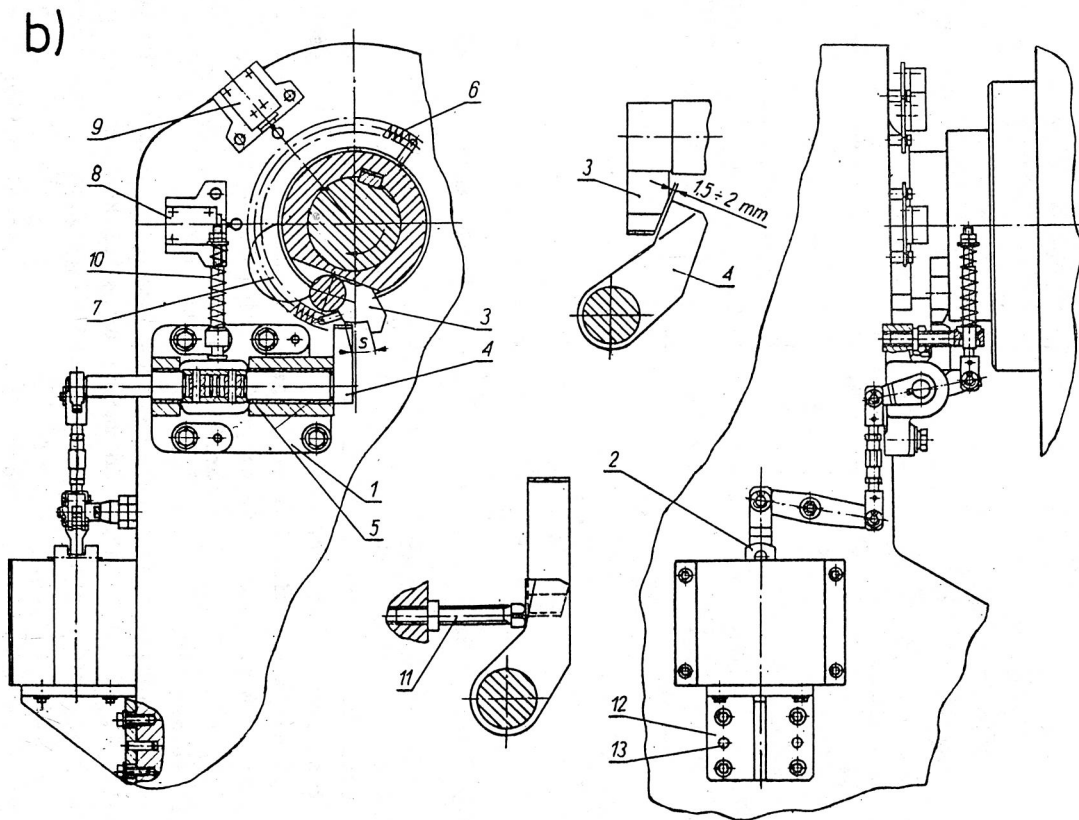
Rys. 2.32a

#### 2.4.7. Mechanizm zmiany skoku suwaka

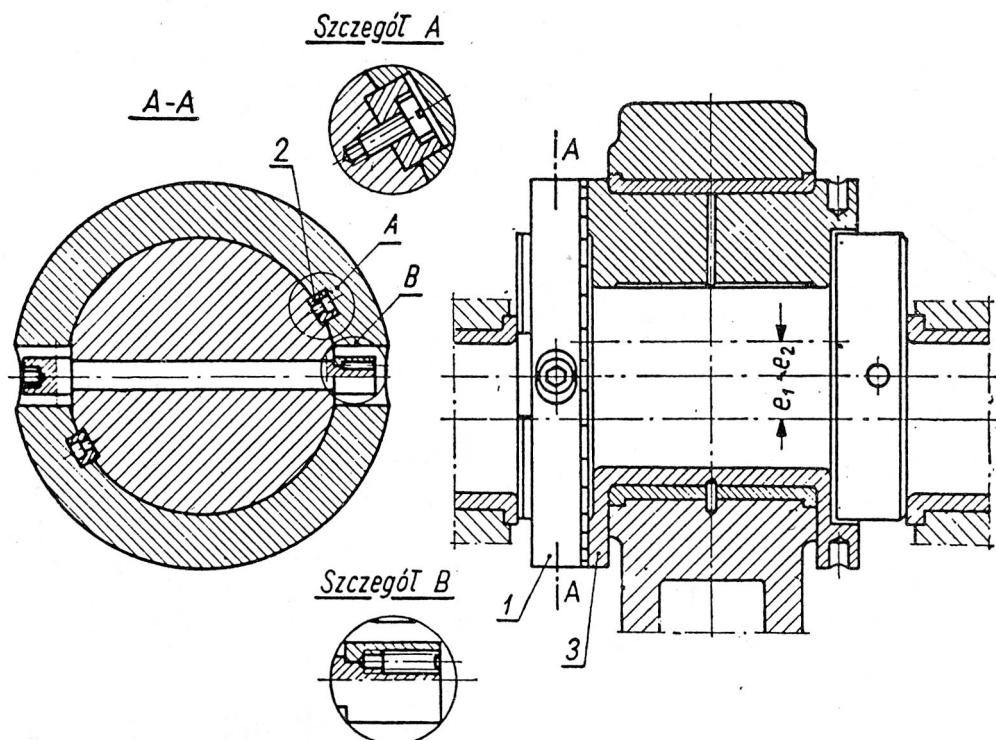
Na rysunku 2.33 pokazano mechanizm zmiany skoku prasy mimośrodowej o nacisku 630 kN. Zmiana polega na obrocie tulei mimośrodowej 3, osadzonej na wykorbieniu wału korbowego. Obrót ten jest możliwy dopiero po wcześniejszym wyzębieniu pierścienia 1 ustalającego położenie tulei względem wału korbowego. Wyzębienie pierścienia 1 polega na jego odsunięciu od tulei 3. Obrót tulei 3 zapewnia ustawienie określonej wartości skoku suwaka, wypisanej na tulei 3. Położenie tulei 3 stabilizuje pierścień 1 dosunięty i zazębiony z tuleją 3 oraz połączony z wałem korbowym wypustem 2.

#### 2.4.8. Korbówód i suwak

Do zmiany ruchu obrotowego wału korbowego na posuwisto-zwrotny ruch narzędzi służy korbówód i suwak (rys. 2.34).



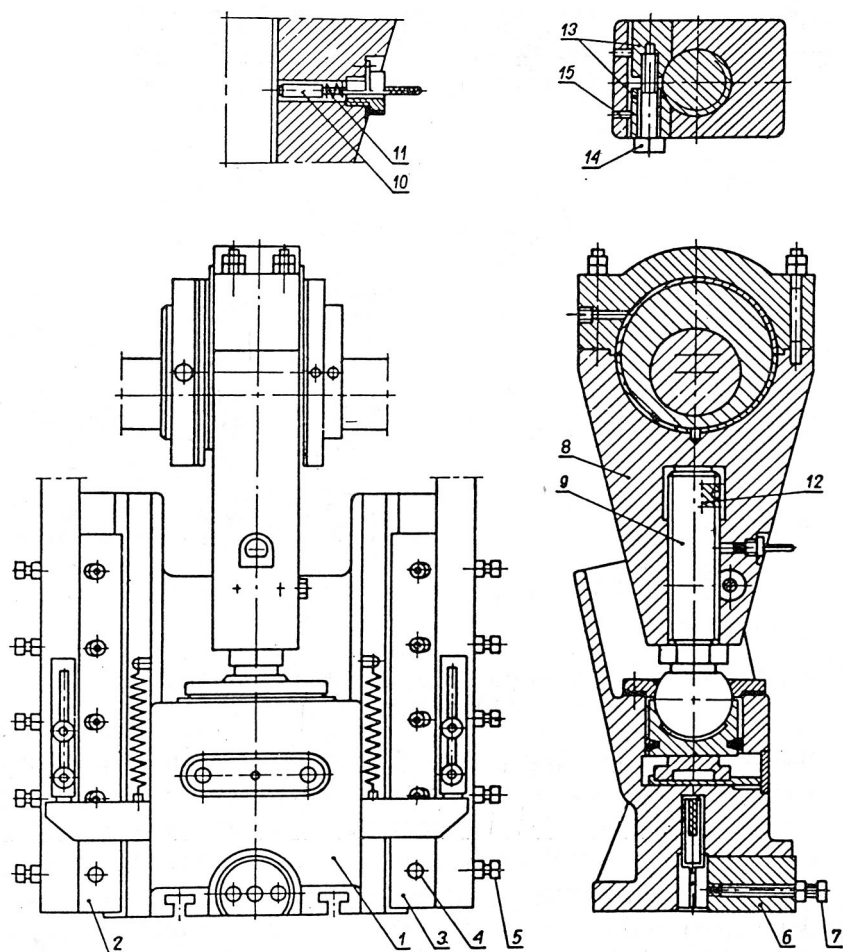
Rys. 2.32. Mechanizmy samoczynnego rozrządu prasy [2]



Rys. 2.33. Mechanizm zmiany skoku suwaka w prasie mimośrodowej [2]

Suwak 1 jest umieszczony w prowadnicach 2 i 3 przymocowanych do korpusu prasy śrubami 4. Śruby 5 służą do regulacji luzu między suwakiem i prowadnicami. Górna część tłoczніка jest mocowana do suwaka 1 za pośrednictwem czopa osadzanego w otworze wykonanym w dolnej części suwaka. Wsuwanie czopa w wymieniony otwór jest możliwe po wysunięciu szufladki 6. Ostateczne przymocowanie czopa tłoczніка do suwaka prasy polega na zasunięciu szufladki 6, jej dociśnięciu nakrętkami śrub osadzonych w korpusie suwaka i dokręceniu śruby 7.

Suwak 1 jest połączony z wałem korbowym za pośrednictwem korbowodu 8 i łącznika 9. Łącznik 9 służy do zmiany długości korbowodu, a przez to do zmiany wysokości przestrzeni roboczej prasy. Pokręcenie łącznika 9 odbywa się za pomocą ręcznego klucza lub silnika elektrycznego. Sworzeń 10 zatrzasku sprężynowego służy do zapobiegania przed nadmiernym wykręceniem łącznika 9 z korbowodu 8. Jeżeli łącznik przemieści się w dół, to sworzeń 10 wsunięty zostanie w otwór 12 pod wpływem sprężyny 11 i uniemożliwi dalsze wkręcanie łącznika oraz opadnięcie suwaka na stół prasy. Ponowne wkręcenie łącznika (uniesienie suwaka) jest możliwe po wyciągnięciu sworznia 10 z otworu 12. Do zaciskania łącznika w korbowo-



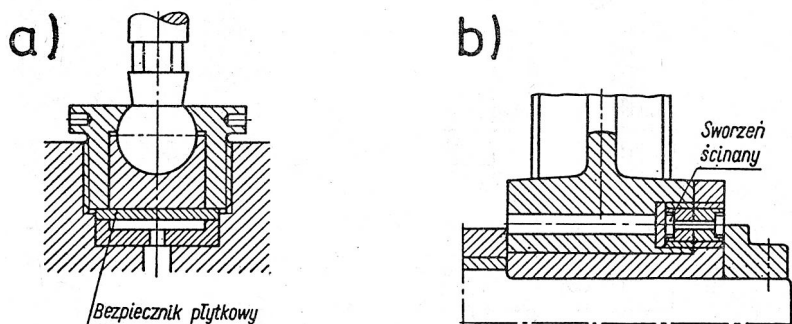
Rys. 2.34. Mechanizm korbowy suwaka prasy mimośrodowej [2]

dzie służą tuleje 13 nagwintowane razem z korbowodem i dociskane do łącznika śrubą 14. Kołki 15 zabezpieczają tuleję 13 przed obrotem podczas wkręcania śruby 14.

#### 2.4.9. Urządzenia zabezpieczające

Maszyzny do plastycznego kształtowania metali są narażone w większym stopniu na chwilowe przeciążenie niż inne maszyny do obróbki metali. Najbardziej obciążonymi częściami maszyny z napędem korbowym jest korpus, korbowód z łącznikiem oraz wał korbowy lub mimośrodowy. W ich

zabezpieczaniu powszechne zastosowanie znalazły bezpieczniki ścinowe (rys. 2.35) umieszczone w suwaku prasy i kole zamachowym. Bezpieczniki umieszczone w suwaku prasy chronią przed nadmiernym przekroczeniem wartości nacisku nominalnego  $P_n$  (rys. 2.35a), natomiast umieszczone w kole zamachowym przed przekroczeniem dopuszczalnego momentu skręcającego  $M_k$  (rys. 2.35b).



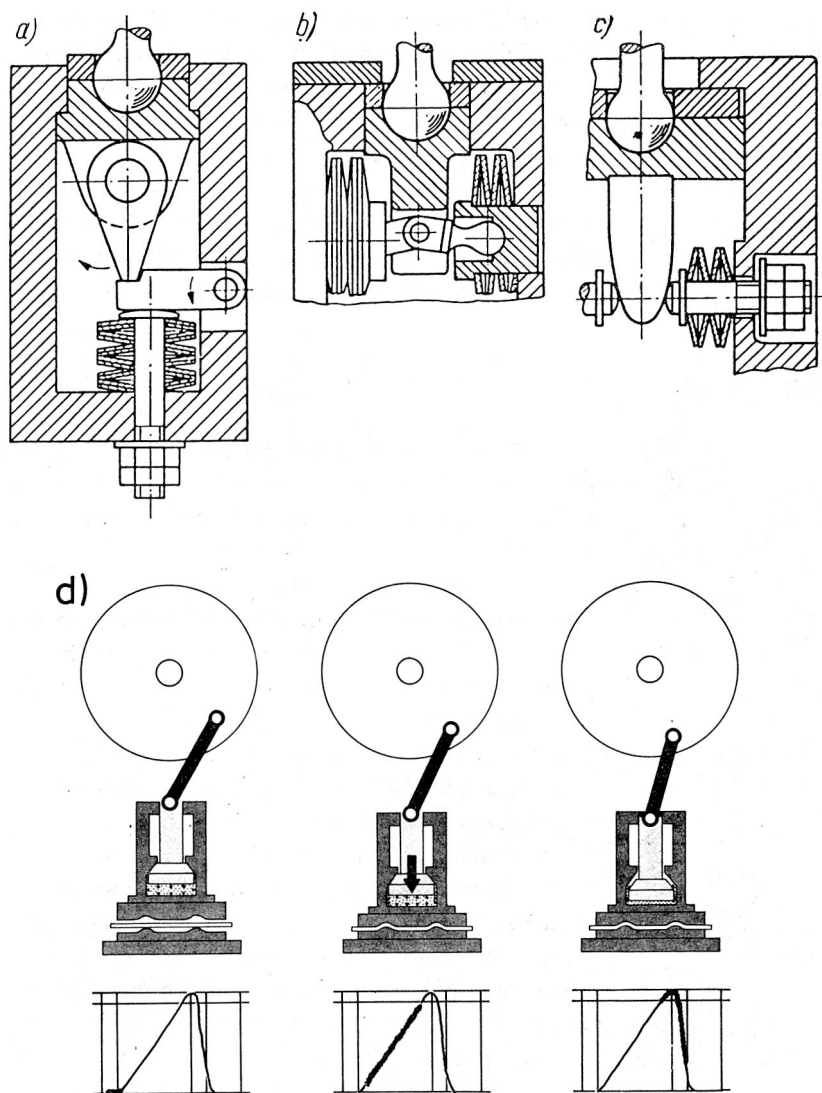
Rys. 2.35. Sposoby umieszczania bezpieczników: a - płytkowych, b - sworznionych [2]

Podstawową wadą bezpieczników ścinowych, umieszczonych w suwaku pod kulistym zakończeniem łącznika, jest niewielkie przesunięcie korbowodu względem suwaka po ścięciu bezpiecznika. Zdarza się, że mało wykwalifikowana obsługa prasy wykonuje pracę jeszcze po ścięciu bezpiecznika. Bezpiecznik ścinowy nie stanowi dostatecznego zabezpieczenia prasy ze sprzęgłem z wpustem obrotowym. Niewielki luz, jaki powstaje w wyniku ścięcia bezpiecznika, nie zawsze pozwala na przejście kulistego zakończenia łącznika przez jego dolne zwrotne położenie, czy też na wyłączenie sprzęgła.

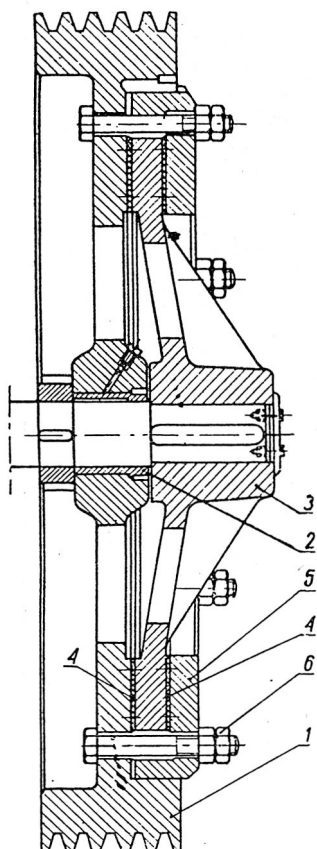
Najnowsze rozwiązania konstrukcyjne omawianej grupy bezpieczników idą w kierunku zwiększenia przesunięcia korbowodu względem suwaka po ścięciu bezpiecznika oraz w kierunku stosowania sprzęgieł umożliwiających wyłączenie i zatrzymanie ruchu suwaka w dowolnym punkcie jego skoku. Do bezpieczników umożliwiających zwiększenie skoku korbowodu po przecięciu maszyny należą między innymi bezpieczniki z zespołami sprężyn (rys. 2.36a,b,c) lub układy hydrauliczne (rys. 2.36d).

Jak już wspomniano, oprócz bezpieczników chroniących korpus, suwak i łącznik stosuje się urządzenia zabezpieczające przed przekroczeniem





Rys. 2.36. Bezpieczniki: a, b, c) ze sprężynami, d) hydrauliczny momentu skręcającego. Zadaniem takich bezpieczników jest ochrona wału i napędu prasy. Na rysunku 2.37 pokazano przykład bezpiecznika ciernego umieszczonego w kole zamachowym 1. Tarcza 3 jest zaklinowana na wale prasy, a do obu stron tej tarczy są przymocowane nakładki cierne 4. Nakładki cierne 4 z jednej strony przylegają do koła zamachowego 1, a z drugiej do pierścienia 5. Pierścień 5 dociśnięty jest śrubami 6 do



Rys. 2.37. Bezpiecznik cierny w kole zamachowym [2]

tarczy 3 zaklinowanej na wale. Przekroczenie dopuszczalnej wartości momentu skręcającego powoduje poślizg koła zamachowego względem tarczy 3 i wału korbowego. Wartość momentu skręcającego reguluje się śrubami 6.

Innego rodzaju bezpiecznikami umieszczanymi w kołach zamachowych są wszelkiego rodzaju sworznie, które ulegają ścięciu po przekroczeniu dopuszczalnego momentu skręcającego.

#### 2.4.10. Mechanizmy i części specjalnego przeznaczenia

W celu ułatwienia pracy i rozszerzenia zastosowania maszyn z napędem korbowym wprowadzono wiele specjalnych urządzeń, do których można zaliczyć:

- a) wyrzutniki (ułatwiają pracę),
- b) poduszki mechaniczne, powietrzne lub powietrzno-hydrauliczne (rozszerzające zakres zastosowań),
- c) urządzenia odciążające suwaki maszyn (wpływające korzystnie na pracę maszyn).

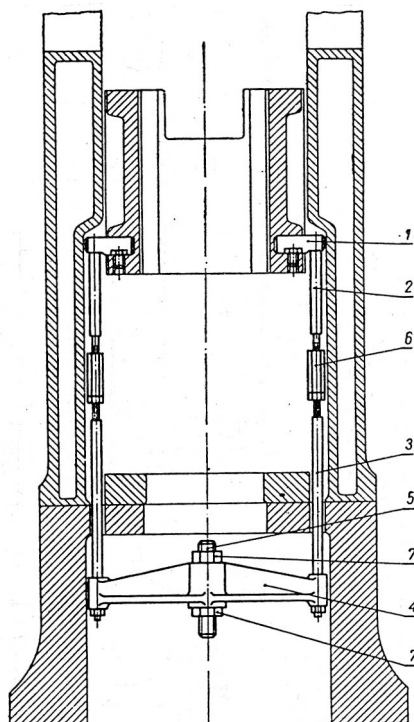
Wyrzutniki i urządzenia odciążające stanowią integralną część maszyny, natomiast poduszki są dostarczane na specjalne życzenie.

Wyrzutniki służą do usuwania wyrobów z kształtujących je narzędzi. Stosuje się je w celu uniknięcia uszkodzeń, jakie mogą powstać przy ręcznym usuwaniu wyrobów oraz gdy ręczne usuwanie jest niebezpieczne albo niemożliwe ze względu na wartość sił potrzebnych do zepchnięcia wyrobu z narzędzia.

Urządzenia usuwające wyroby mogą być wbudowane w tłocznik, ale komplikuje to budowę i zwiększa koszt wykonania tłocznika. Dlatego też wyrzutniki umieszcza się najczęściej w suwaku maszyny lub jej stole. Wyrzutniki umieszczone w suwaku stosuje się we wszystkich rodzajach pras, z wyjątkiem pras podwójnego działania. W prasach kolanowych stosuje się natomiast wyrzutniki umieszczone w stole. Wyrzutniki montowane w stołach maszyn zastępuje się często poduszkami powietrznymi lub powietrzno-hydraulicznymi.

Przykład wyrzutnika zainstalowanego w suwaku pokazano na rys. 2.38. Podstawowym elementem tego wyrzutnika jest belka 2 podwieszona na spręż-





Rys. 2.39. Wyrzutnik w stole prasy podwójnego działania [2]

nia. Trzeba jednak pamiętać o istotnym ograniczeniu jakim jest mały skok i niewielka siła tych poduszek. Dlatego też, stosuje się je przy tłoczeniu cienkich blach i niewielkich głębokościach ciągnięcia, ponieważ ze wzrostem głębokości ciągnięcia zwiększa się siła docisku, która może spowodować utratę spójności obrabianego materiału.

Przykład konstrukcji poduszki powietrznej przedstawiono na rys. 2.40b, a poduszki powietrzno-hydraulicznej na rys. 2.40c. Poduszki powietrzne i powietrzno-hydrauliczne zapewniają duże naciski i duże głębokości ciągnięcia przy zachowaniu stałej siły docisku blachy do matrycy. Poduszki powietrzno-hydrauliczne stosuje się tam, gdzie wymiary stołu prasy uniemożliwiają zastosowanie poduszki powietrznej o odpowiednio dużych gabarytach.

Urządzenia odciążające równoważące ciężar i siły bezwładności działające na suwak prasy. Ponadto, urządzenie odciążające kasuje luzu w połączeniach suwaka z korbowodem i korbowodu z wałem, przez co zwiększa dokładność nastawienia tłoczników. Jest to szczególnie istotne w prasach kolanowych i automatycznych. Do najbardziej rozpowszechnionych urządzeń odciążających należą urządzenia powietrzne (rys. 2.41).

## 2.5. Przykłady zastosowań i rozwiązań konstrukcyjnych

### 2.5.1. Prasy do tłoczenia - uniwersalne i specjalizowane

W wielkoseryjnej i masowej produkcji wytłoczek rozpowszechniły się maszyny z napędem korbowym. Jednym z powodów takiego stanu rzeczy była możliwość uzyskania wysokiej jakości wyrobów przy stosunkowo niskich kwalifikacjach operatorów maszyn.

Współczesne prasy korbowe do tłoczenia są przeważnie maszynami o pionowym ruchu suwaka, które mogą zapewnić do 2000 sztuk małych detali na minutę i około 20 detali dużych, np. drzwi samochodowych. Naciski pras korbowych dochodzą do 60 MN, a skok ich suwaka wynosi od kilkunastu do 800 mm. Poziome wymiary przestrzeni roboczej osiągają nawet 12 m, a ciężar prasy może dochodzić do 9000 kN.

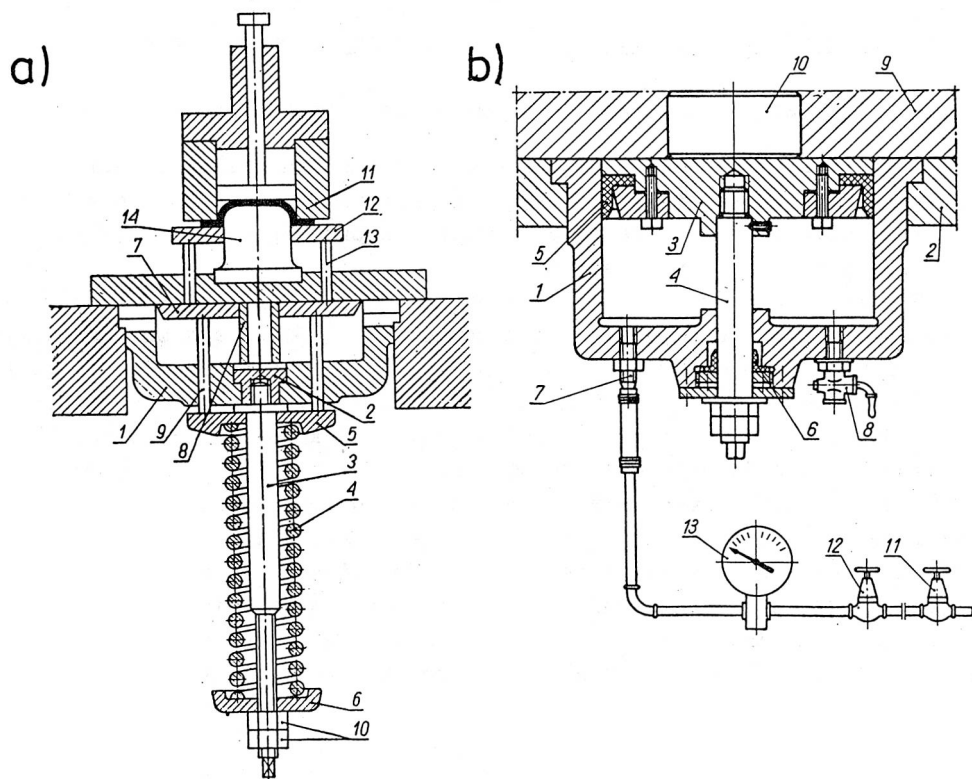
Bezpośrednio po ukształtowaniu wyroby tłoczone trafiają na linie montażowe, co zwiększa wymagania dotyczące pionowej i poziomej sztywności pras. Operacje technologiczne, takie jak gięcie i ciągnięcie wymagają ponadto zmniejszenia prędkości odkształcenia w chwili styku narzędzi z kształtowaną blachą do 0,13-0,40 m/s. Prowadzi to do zmniejszenia nominalnej liczby obrotów głównego wału pras ciężkich do 5-10, a średnich do 12-30 obr/min.

W zależności od siły (nacisku nominalnego) omawiane prasy można podzielić na: lekkie do 250 kN, średnie do 250-4000 kN, ciężkie 4 do 20 MN i super ciężkie - ponad 20 MN.

Pośród pras do tłoczenia, prasy wysięgowe stanowią około 70-80% ogólnej liczby pras z napędem korbowym. Na ogół są to prasy uniwersalne, stosowane do takich operacji, jak: wykrawanie, gięcie, płytkie tłoczenie i ciągnięcie przy wykorzystaniu poduszki pneumatycznej. W porównaniu z prasami o korpusach ramowych, prasy wysięgowe ułatwiają realizację i automatyzację operacji technologicznych wymagających dostępu do narzędzi z trzech stron. Prasy te ułatwiają również wykonywanie detali o dużych gabarytach, które nie mieszczą się na stole prasy.

Prasy z korpusem ramowym różnią się od wysięgowych dużymi rozmiarami przestrzeni roboczej i dużym skokiem suwaka. W związku z tym, suwak o dużych rozmiarach jest podwieszany na dwóch lub czterech korbowodach.

Prasy ramowe stosowane do tłoczenia mają specjalne mechanizmy, które zapewniają zmianę prędkości kształtowania. Wykresy drogi i prędkości suwaka takich pras pokazano na rys. 2.42. Tłoczenie na tych prasach przebiega na ogół bez dociskania materiału lub z dociskaniem siłą pochodzącą od poduszek powietrznych.

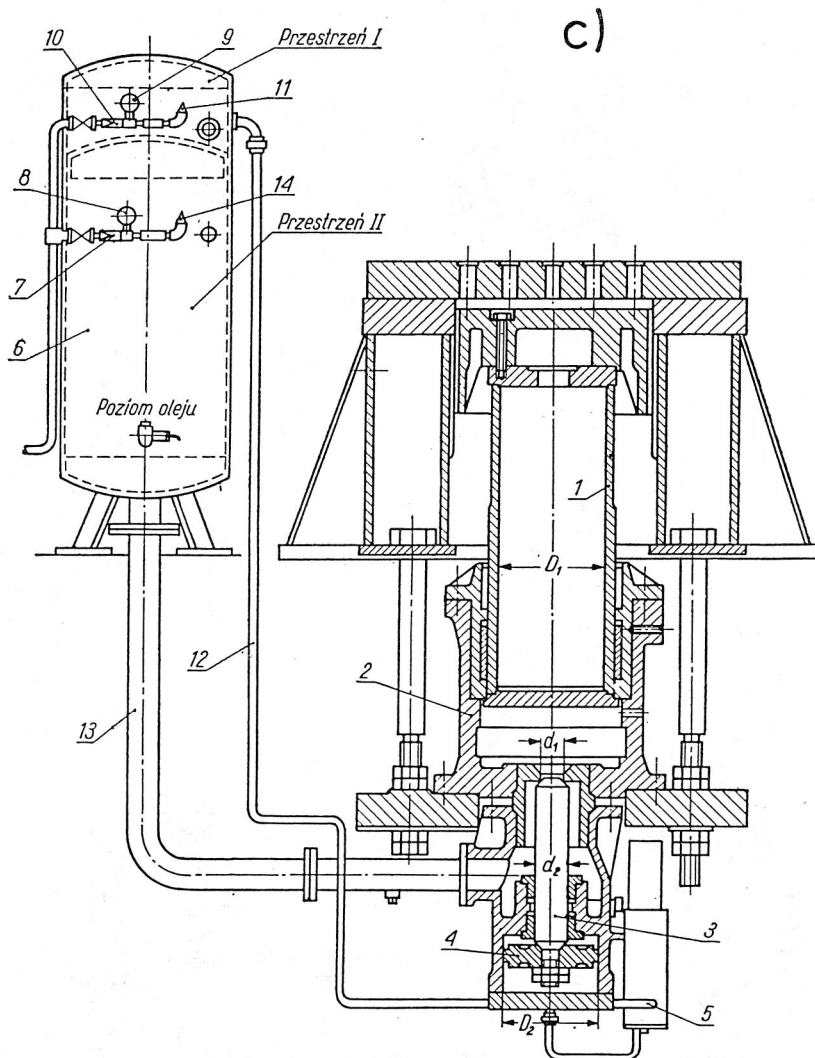


Rys. 2.40. Poduszki: a - sprężynowa; 1 - korpus, 2 - nakrętka, 3 - trzpień, 4 - sprężyna, 5, 6 - pierścienie oporowe, 7 - pierścień (poduszka), 8 - prowadnica, 9 - popychacze, 10 - nakrętki, 11 - matryca, 12 - płyta spychająca, 13 - popychacze, 14 - stempel, b - powietrzna; 1 - korpus, 2 - stół prasy, 3 - tłok (poduszka), 4 - tłoczyisko, 5, 6 -

## 2.5.2. Prasy podwójnego i potrójnego działania do głębokiego tłoczenia

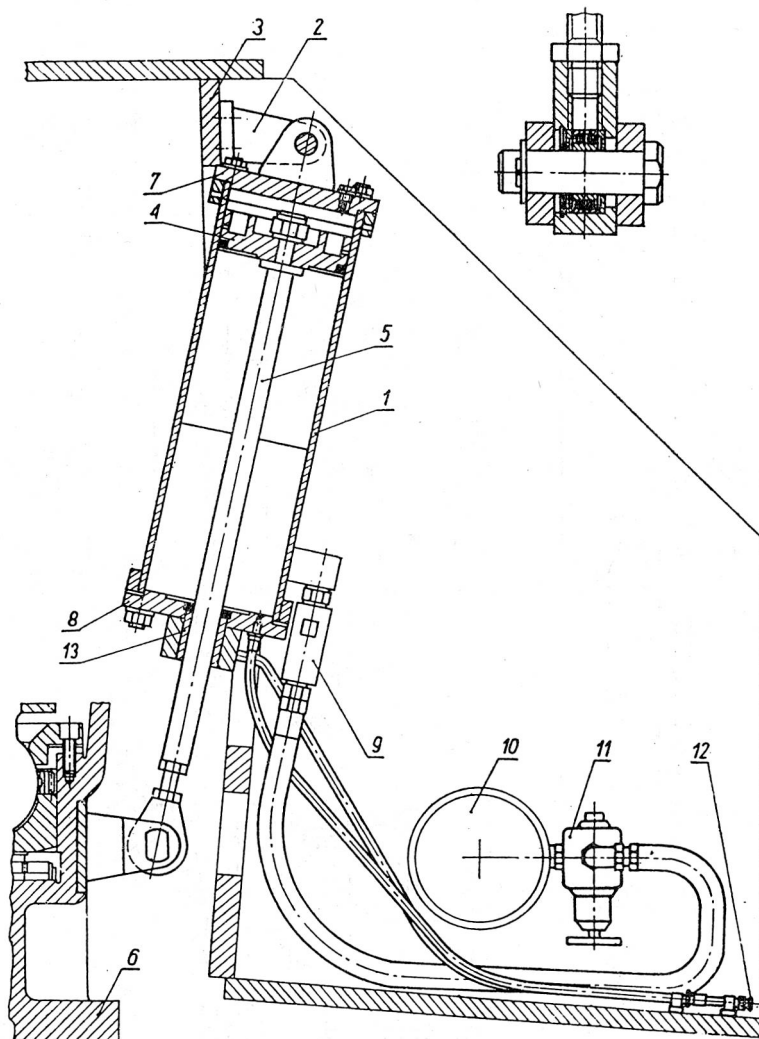
Prasy podwójnego i potrójnego działania stosuje się do produkcji głębokich wytłoczek o złożonym kształcie. W celu zapewnienia właściwego przebiegu ciągnięcia, prasy te są wyposażone w dodatkowy zewnętrzny suwak zapewniający dociskanie kształtowanego materiału.

Prasy podwójnego działania, w porównaniu z prasami pojedynczego działania, umożliwiają wywieranie znacznie większego docisku niż poduszki pras uniwersalnych. Ponadto, dzięki temu, że płaszczyzna zaciskania



- uszczelki, 7, 8, 11, 12, 13 - elementy zasilania pneumatycznego, 9 -
- płyta stołowa, 10 - krążek metalowy; c - powietrzno-hydrauliczna; 1 -
- poduszka, 2 - cylinder, 3 - tłocznisko, 4 - tłok, 5, 7 do 14 - elemen-
- ty układu zasilającego, 6 - zbiornik

materiału na obrzeżu jest najczęściej nieruchoma (rys. 2.43) możliwe jest stosowanie blach zwiniętych w kręgi. Na rysunku 2.44a pokazano przebieg wytłaczania na prasie podwójnego działania ze stałym stołem, a na rys. 2.44b z ruchomym stołem. W tym drugim przypadku niemożliwe jest stosowanie materiałów w postaci taśmy.

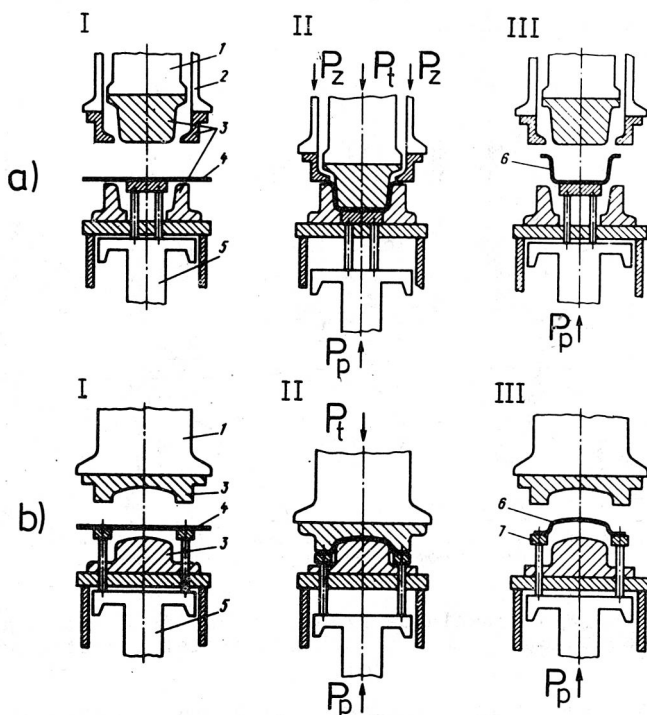
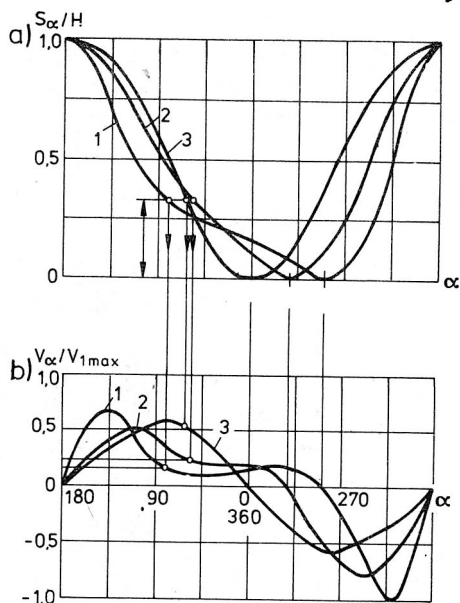


Rys. 2.41. Urządzenie odciążające, równoważące ciężar suwaka, górnej części tłoczniaka i korbowaodu: 1 - cylinder, 2 - śruby, 3 - korpus prasy, 4 - tłok, 5 - tłoczyisko, 6 - suwak prasy, 7 i 8 - pokrywy cylindra, 10 do 12 - elementy zasilania pneumatycznego [9]

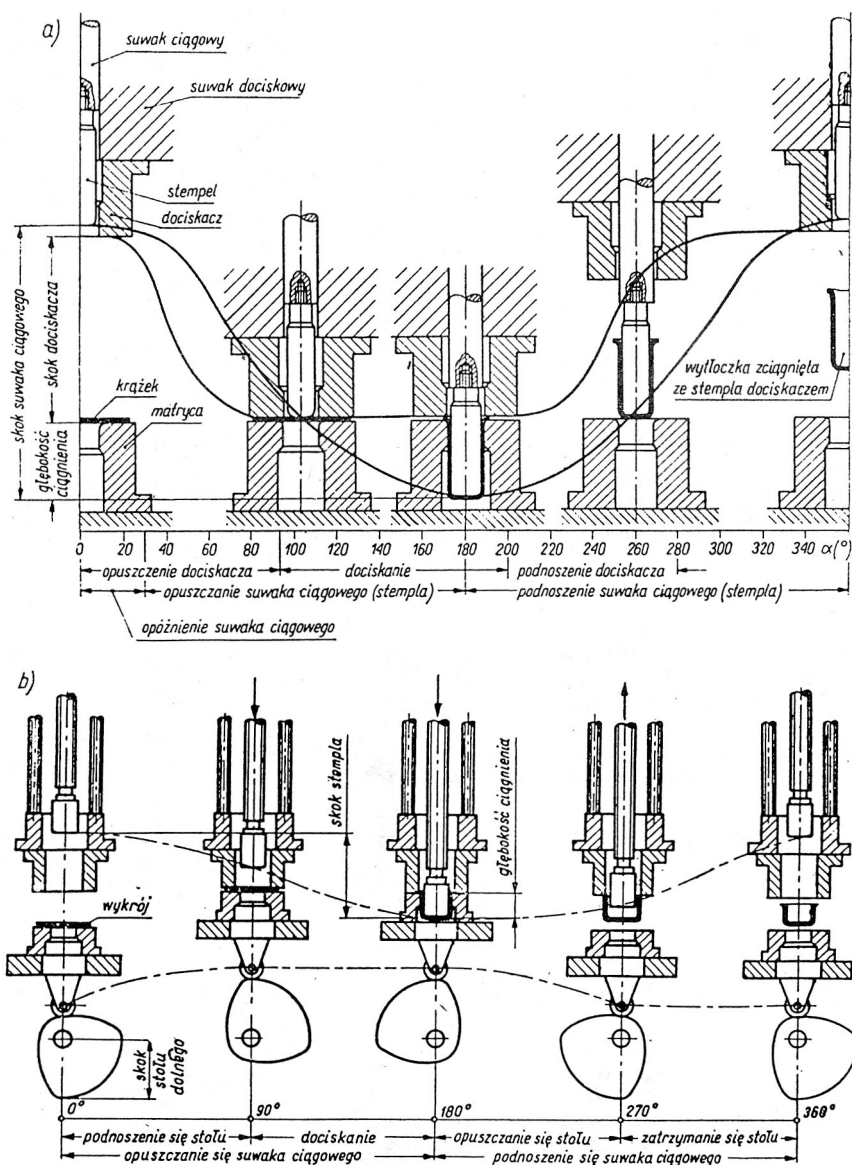
Jak wynika z rys. 2.44a suwak wewnętrzny przemieszcza się tak samo jak suwak zwykłej prasy korbowej. Suwak zewnętrzny zatrzymuje się natomiast zanim suwak wewnętrzny dotrze do kształtowanej blachy. Postój suwaka zewnętrznego trwa aż do zakończenia procesu kształtowania blachy przez stempel przymocowany do suwaka wewnętrznego. W prasie z ruchomym stołem (rys. 2.44b) materiał jest zaciskany dzięki dosunięciu stołu



Rys. 2.42. Zależność drogi (a) i prędkości (b) suwaków pras do tłoczenia: 1 - ciągowej szybkobieżnej, 2 - z mechanizmem wyrównującym, 3 - zwykłej korbowej [18]



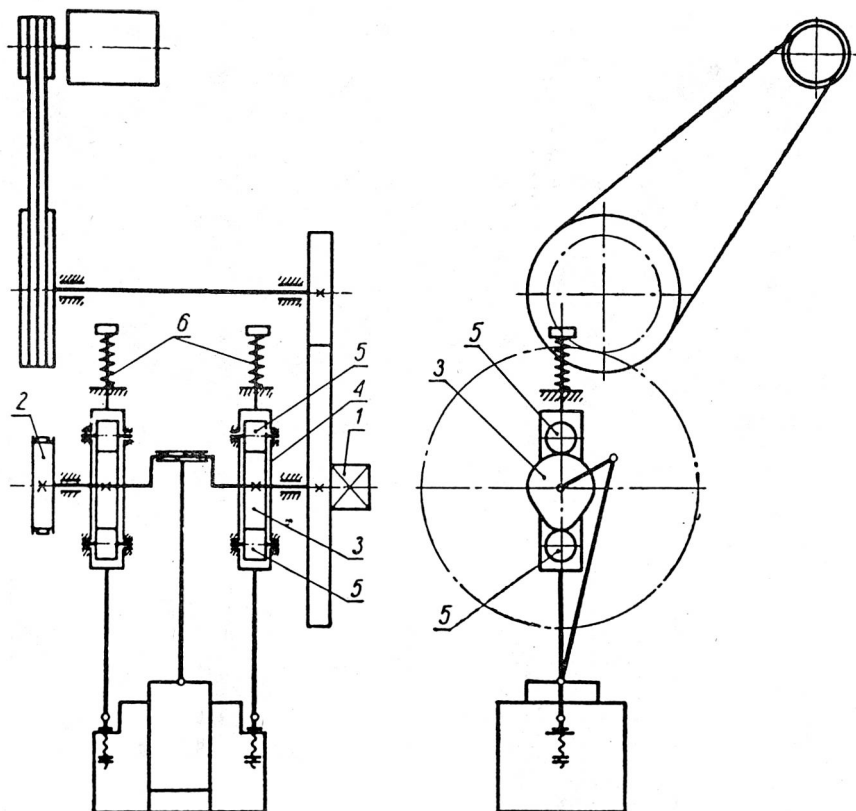
Rys. 2.43. Kolejność procesów wytłaczania na prasach: a - podwójnego działania, b - pojedynczego działania; 1 - suwak wewnętrzny, 2 - suwak zewnętrzny, 3 - tłocznik, 4 - materiał, 5 - poduszka, 6 - wytłoczka, 7 - pierścień dociskowy,  $P_t$  - siła tłoczenia,  $P_z$  - siła zaciskania,  $P_p$  - siła poduszki



Rys. 2.44. Przebieg wytłaczania na prasie ciągowej: a - ze stałym stołem i ruchomym dociskaczem, b - z ruchomym stołem i stałym dociskaczem [12]

z matrycą i materiałem do nieruchomego dociskacza, którego położenie jest regulowane.

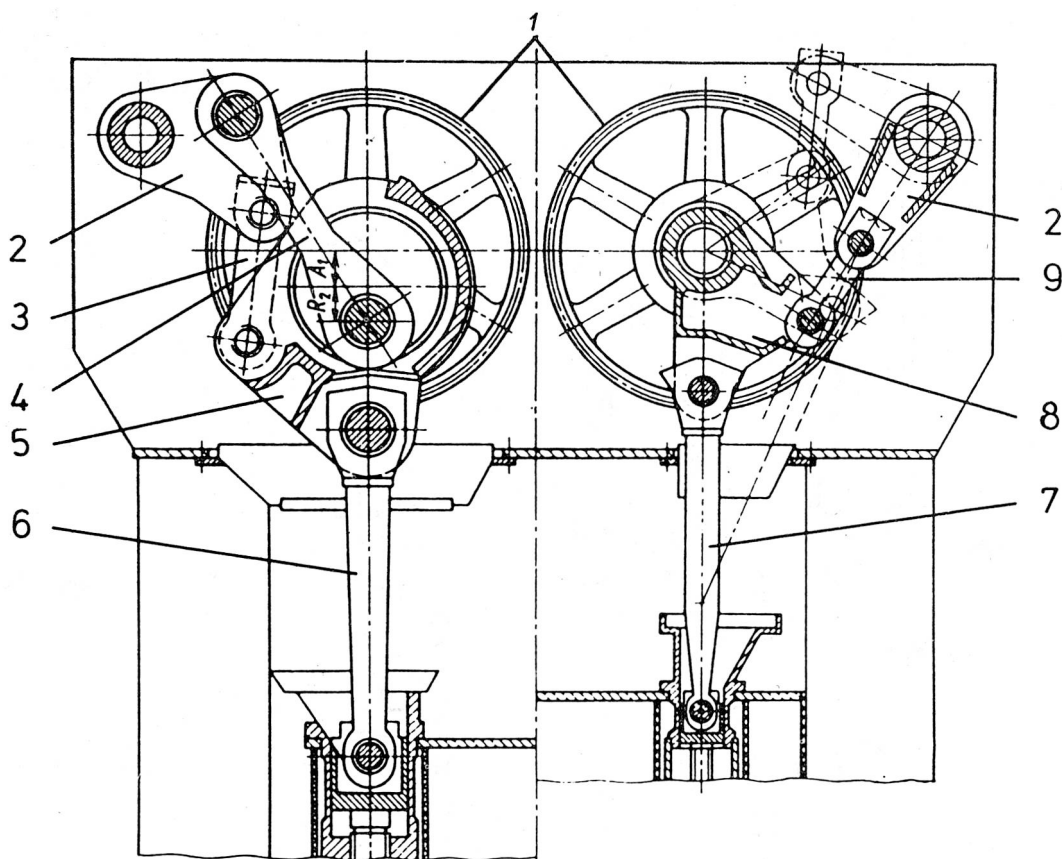
Jest wiele sposobów napędzania suwaka zewnętrznego, zapewniających specyficzny przebieg jego drogi w funkcji obrotu wału korbowego. Na ry-



Rys. 2.45. Schemat kinematyczny prasy korbowo-krzywkowej podwójnego działania [2]

sunku 2.45 pokazano jeden z prostszych schematów kinematycznych prasy podwójnego działania. Jest to schemat prasy korbowo-krzywkowej. Napęd z silnika elektrycznego przenosi się przez wał pośredni na wał korbowy. Po obu stronach wykorbienia wału korbowego są osadzone przymocowane do niego krzywki 3. Po krzywkach toczą się dwie rolki 5 osadzone w jarzmach 4. Dolna część jarzma jest połączona ciągnem z suwakiem zewnętrznym. Zaciśkanie blachy zapewnia odpowiedni zarys krzywek. Zasadniczą wadą opisanego mechanizmu jest szybkie zużywanie się krzywek i brak możliwości wywierania dużych nacisków.

W nowoczesnych prasach podwójnego działania nie stosuje się krzywek. Zrezygnowano również z długich, wiotkich wałów korbowych na rzecz czopów mimośrodowo osadzonych w kołach mechanizmu napędowego. Na rysunku 2.46 podano przykład takiego napędu zastosowanego w prasie podwójnego działania o nacisku 10 MN, którą produkuje firma "Schuler". Napęd su-



Rys. 2.46. Napęd wewnętrznego (z lewej) i zewnętrznego (z prawej) suwaków prasy podwójnego działania (linią przerywaną zaznaczono położenie dźwigni odpowiadające górnemu zwrotnemu położeniu suwaków) [18]

waka wewnętrznego (rys. 2.46) pochodzi od dwóch wykrębień stanowiących integralną część kół zębatach 1. Na tulei mimośrodowej o mimośrodku  $A_1$  jest osadzona obrotowo dwuramienna dźwignia 5, połączona z korbowodem 6 i cięgnem 3. Ciężno 3 za pośrednictwem złożonej dźwigni 2 obracającej się wokół nieruchomego punktu jest napędzane cięgnem 4.

Napęd suwaka zewnętrznego przekazywany jest również od dźwigni 2, która za pośrednictwem cięgna 9 powoduje ruch dwuramiennej dźwigni 8 obracającej się wokół osi kół zębatach 1. Dźwignia 8 jest połączona z kolei korbowodem 7.

Stosunek sił wywieranych przez suwak zewnętrzny  $P_{nom\ sz}$  i wewnętrzny  $P_{nom\ sw}$  jest najczęściej jak 0,5 : 1. Najbardziej optymalny stosunek tych sił stosuje firma "Schuler". Wartości tych sił przytoczono w tabelce [18].

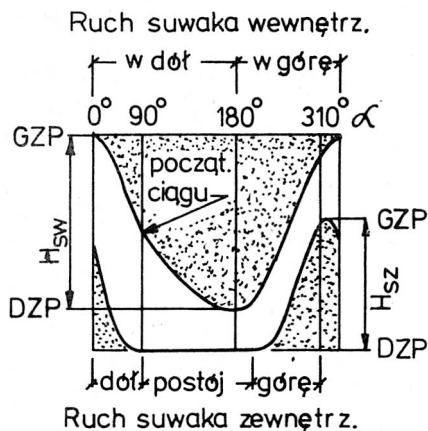
|                                          |   |   |   |   |   |    |      |    |
|------------------------------------------|---|---|---|---|---|----|------|----|
| $P_{\text{nom}}$ suwaka wewnętrznego, MN | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12,5 | 16 |
| $P_{\text{nom}}$ suwaka zewnętrznego, MN | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6  | 8    | 10 |

Należy pamiętać, że korpus prasy podwójnego działania przenosi obciążenie równe sumie nacisków obu suwaków

$$P_{\text{nom}} = P_{\text{nom sw}} + P_{\text{nom sz}} \quad (2.24)$$

Prasy podwójnego działania ustawia się najczęściej na początku linii produkcyjnej. Ograniczają przez to wydajność tych linii, ponieważ ich szybkobieżność jest około 1,5–2 razy mniejsza od szybkobieżności pras prostego działania, ustawionych w tej samej linii produkcyjnej.

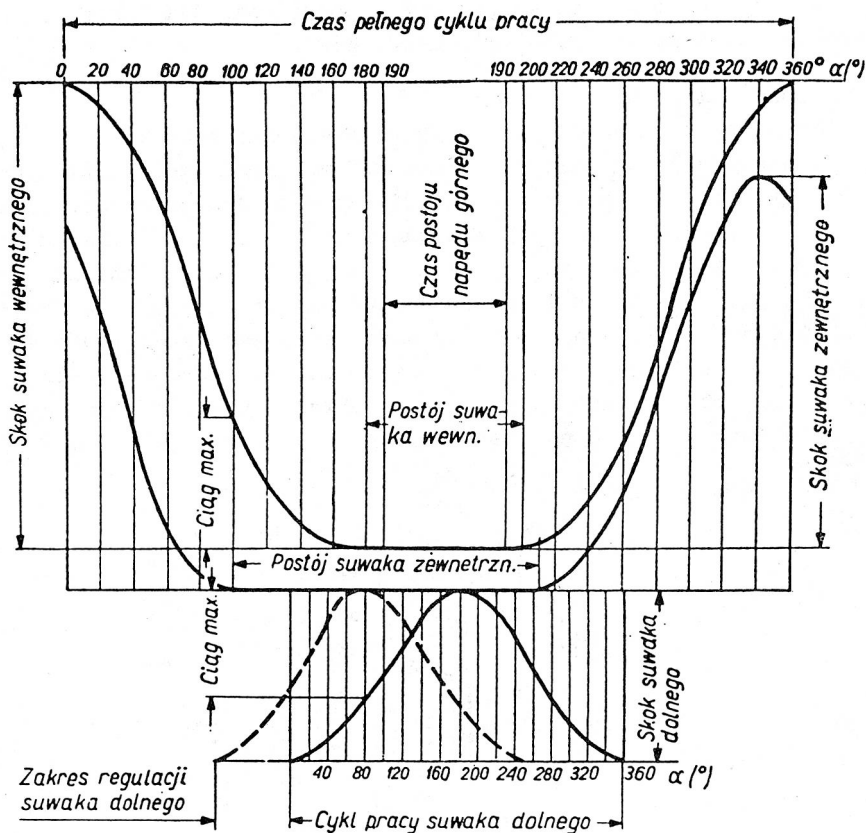
W celu zwiększenia wydajności pras podwójnego działania stosuje się między innymi sprzęgło dwuprędkościowe. Umożliwia ono zwiększenie prędkości dochodzenia narzędzi do kształtowanego materiału oraz zmniejszenie prędkości kształtowania, a następnie zwiększenie prędkości wycofywania się obu suwaków. Wykres drogi suwaków prasy ze sprzęgłem dwuprędkościowym pokazano na rys. 2.47.



Rys. 2.47. Wykres drogi suwaków w funkcji kąta obrotu korby i czasu pras podwójnego działania ze sprzęgłem dwuprędkościowym [6]

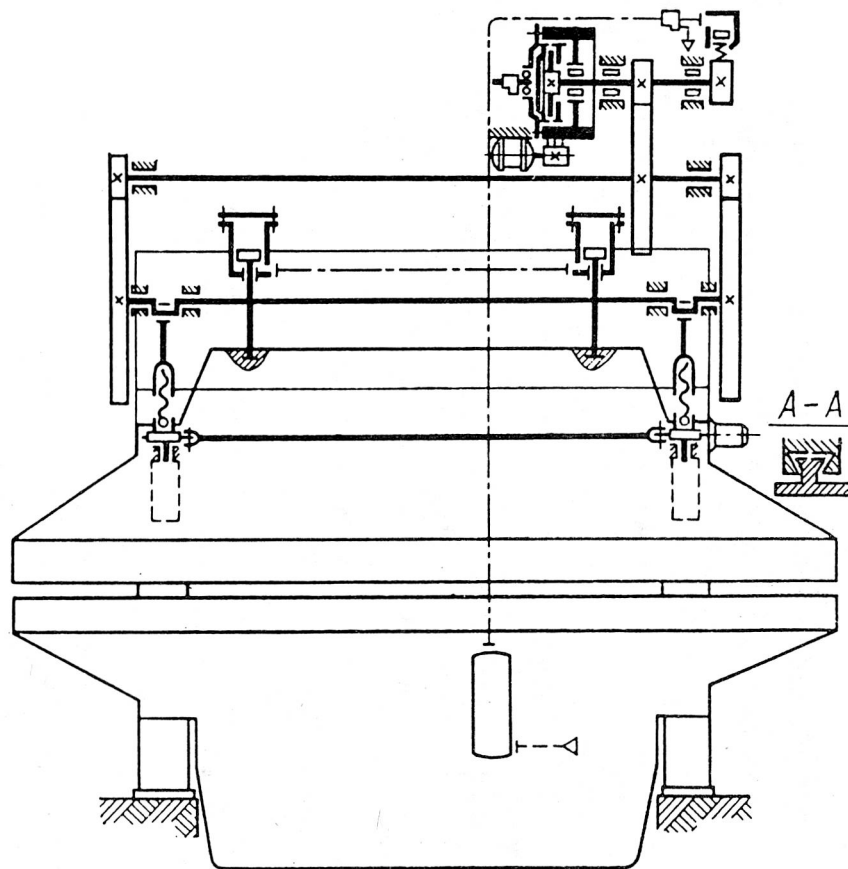
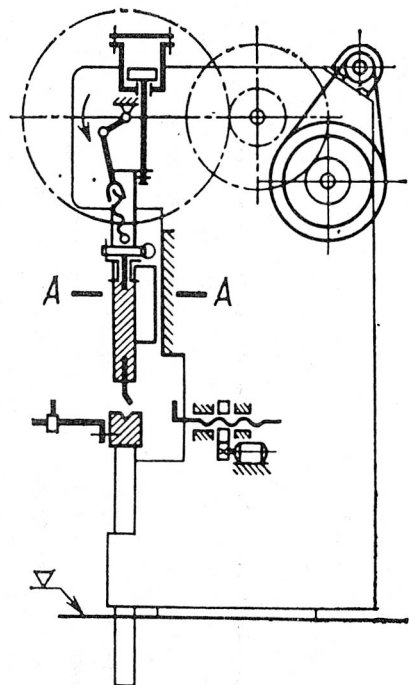
Prasy potrójnego działania mają trzy suwaki: jeden dociskający i dwa tłoczące. Prasy te mogą mieć jeden wspólny napęd dla wszystkich suwaków lub oddzielny napęd dla suwaka dolnego (trzeciego). W tym ostatnim przypadku prasa może pracować po odłączeniu napędu trzeciego

suwaka jako prasa podwójnego działania. W zależności od usytuowania napędu prasy (górne, dolne), suwaki znajdujące się w przeciwległej części prasy są napędzane ciągnami połączonymi z napędem głównym. Wykres drogi suwaków prasy potrójnego działania pokazano na rys. 2.48.



Rys. 2.48. Wykres drogi suwaków prasy potrójnego działania [2]

Cykl pracy prasy potrójnego działania przedstawia się następująco: w pierwszej kolejności opuszcza się zewnętrzny suwak górny (dociskający), a następnie górny wewnętrzny (tłoczący), który po dojściu do materiału rozpoczyna tłoczenie aż do osiągnięcia swojego dolnego zwrotnego położenia. W dolnym zwrotnym położeniu suwaka tłoczącego następuje wyłączenie napędu górnych suwaków i automatyczne włączenie napędu dolnego suwaka. Włączenie to następuje za pośrednictwem wyłącznika krańcowego uruchomionego przez górny suwak wewnętrzny. Suwak dolny przemieszcza się ku górze i kształtuje blachę w przeciwnym kierunku. Wycofujący się



Rys. 2.49. Schemat kinematyczny korbowej prasy pionowej do gięcia [18]

suwak dolny powoduje włączenie napędu suwaków górnych, które wycofują się w znanej kolejności (zewnątrzny, wewnętrzny).

### 2.5.3. Prasy do gięcia i prostowania

Prasy do gięcia, podobnie jak prasy podwójnego działania, zalicza się do pras specjalizowanych, to jest przeznaczonych do produkowania wyrobów opartych na określonej technologii. Prasy do gięcia są przewidziane do produkcji różnego rodzaju profili giętych wykonywanych z arkuszy i pasów blachy oraz do prostowania profili walcowanych.

Proces gięcia wymaga małych prędkości kształtowania, stąd maszyny te są raczej wolnobieżne. Mała wydajność pras do gięcia spowodowała konieczność stosowania napędu gwarantującego szybkie dochodzenie suwaka do materiału, małą prędkość skoku roboczego i szybkie wycofanie suwaka. Mimo to wydajność pras korbowych do gięcia jest w dalszym ciągu mała i dlatego też coraz częściej do gięcia stosuje się prasy hydrauliczne, ułatwiające zmiany prędkości i skoku suwaka oraz programowanie jego ruchu. Na rysunku 2.49 pokazano schemat kinematyczny pionowej prasy korbowej do gięcia. Napęd od silnika przez przekładnię pasową, koło zamachowe i reduktor przechodzi na wał korbowy z dwoma wykorbieniami. Długość korbowodów prasy jest regulowana za pomocą mechanizmu napędzanego elektrycznie. Prasa jest wyposażona w odciążacze suwaka.

### 2.5.4. Maszyny do kucia

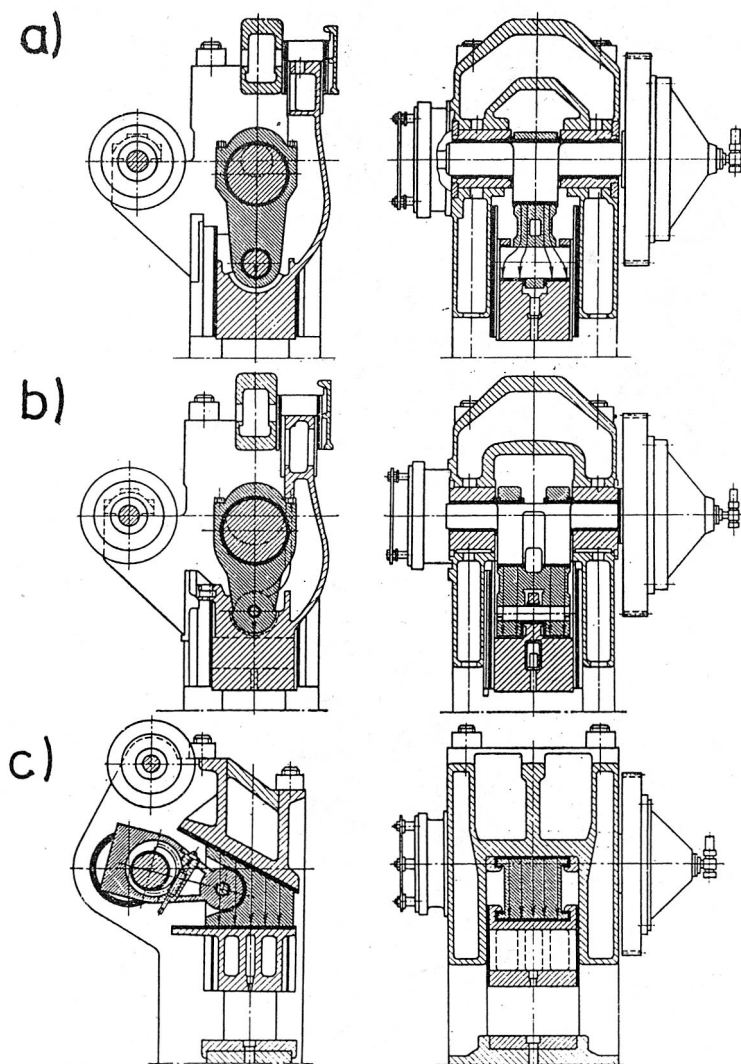
Prasy korbowe stosowane do kucia stanowią grupę pras korbowych o największych naciskach. Ich naciski nominalne osiągają wartości 100–120 MN i więcej.

Prasy uniwersalne osiągają naciski ok. 5–63 MN i częstość skoków 120–30 na minutę, przy skokach suwaka wynoszących 200–500 mm. Wysokość przestrzeni roboczej pras do kucia wynosi około 560–1300 mm, a rozmiary stołów 500 x 500 do 1600 x 1600 mm.

Głównymi zaletami pras korbowych przeznaczonych do kucia, w porównaniu z młotami, są: mniejsze obciążenia dynamiczne, zmniejszenie hałasu i wibracji, co wyklucza choroby zawodowe kowali (utrata słuchu). Ponadto, zastosowanie pras umożliwia automatyzację kucia i usuwania odkuwek, jak również ich okrawanie bez stosowania dodatkowej prasy.

Należy zaznaczyć, że w przypadku małych, uźebrowanych odkuwek może występować szybkie ich ochłodzenie utrudniające stosowanie pras. Prasy korbowe stosuje się najczęściej do kucia detali metodą spęczania (detale osiowo-symetryczne), wyciskania – z tworzeniem wydłużonej formy wyrobu (typu dźwigni, korbowodów itp.). Prasy te wymagają często stosowania



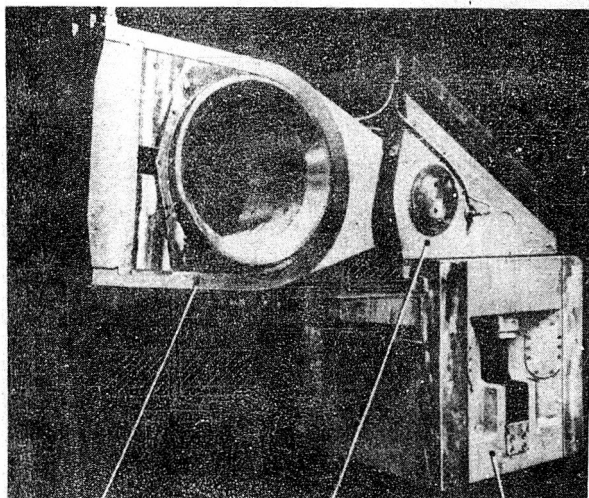


Rys. 2.50. Schemat prasy kuźniczej: a) z jednopunktowym zawieszeniem suwaka, b) z dwupunktowym zawieszeniem suwaka, c) z klinowym napędem suwaka [8]

przedkuwek, np. otrzymanych metodą walcowania. Kuźnicze prasy korbowe muszą mieć dużą sztywność.

Na rysunku 2.50 pokazano schematy połączenia wału głównego z korbowodem i korbowodu z suwakiem. Ogólny widok napędu klinowego suwaka pokazano na rys. 2.51. W żadnym z pokazanych rozwiązań konstrukcyjnych nie

a)

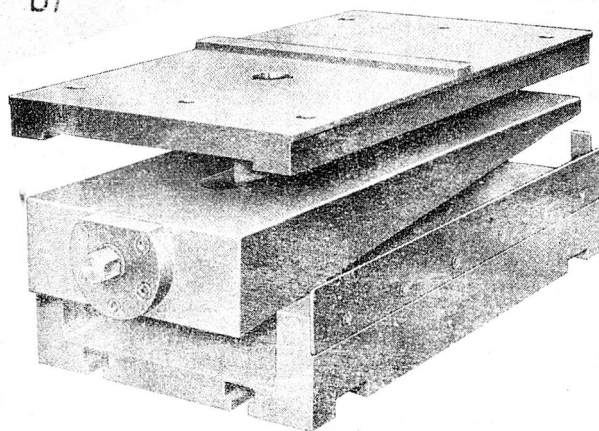


korbowód

klin

suwak

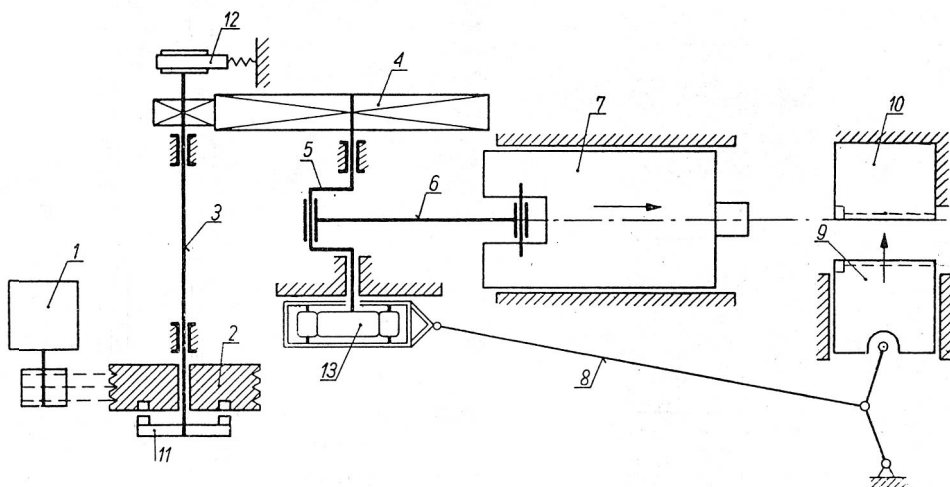
b)



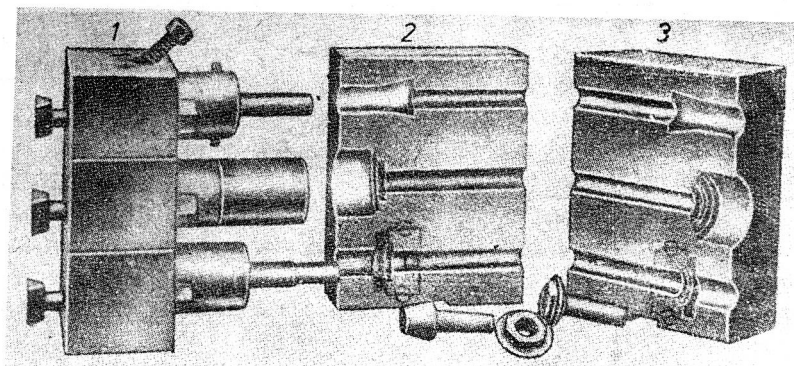
Rys. 2.51. Zespoły prasy klinowej: a) zespół korbowód-klin-suwak,  
b) zespół stołu [8]

występuje regulacja długości korbowodu. Dzięki temu omawiane połączenia gwarantują dużą sztywność układu.

Ze względu na brak regulowanych korbowodów, wysokość przestrzeni roboczej pras do kucia zmienia się najczęściej przez unoszenie stołu leżącego na klinowej podkładce (rys. 2.51). Do przemieszczania klina w stole prasy kuźniczej wykorzystuje się przeważnie napęd od silnika elektrycznego, stosując odpowiedni reduktor. Regulacja wysokości przestrze-

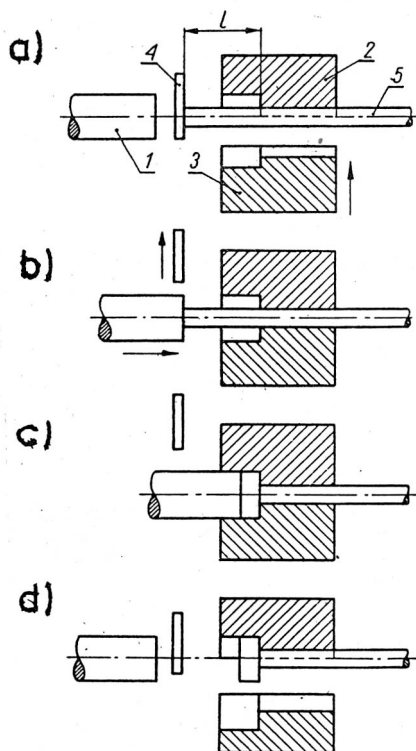


Rys. 2.52. Schemat kinematyczny kuźniarki: 1 - silnik, 2 - przekładnia pasowa, 3 - wał reduktora, 4 - koło zamachowe, 5 - wał korbowy, 6 - korbowód, 7 - suwak mechanizmu korbowego, 8 - cięgno mechanizmu kolanowego, 9 - suwak boczny (matryca ruchoma), 10 - matryca stała, 11 - sprzęgło, 12 - hamulec



Rys. 2.53. Przykład konstrukcji stempli i matryc stosowanych do kucia na kuźniarkach: 1 - stempel; 2, 3 - matryce

ni roboczej za pomocą klina umieszczonego w stole prasy nie jest najlepsza. Doświadczenia eksploatacyjne wykazały, że stół i kliny zakleszczają się w wyniku łączenia się smaru z zendrą spadającą z matrycy. Ponadto, klin może się luzować na skutek zmiennych obciążeń i temperatury. Obecnie do regulowania zamkniętej wysokości przestrzeni roboczej pras kuźniczych zaczęto stosować mechanizmy wbudowane w suwak, np. tuleje mimośrodowe osadzone na sworzniu łączącym suwak z korbowodem.



Rys. 2.54. Schemat kucia na kuźniarce: a) wyjściowe położenie stempla i matryc, 1 - materiał wyjściowy, 2 - matryca stała, 3 - matryca ruchoma, 4 - zderzak,  $l$  - długość spęczanego materiału (pręta), b) zaciśnięcie materiału między matrycami, odsunięcie zderzaka i uruchomienie stempla, c) końcowa faza spęczania, d) wycofanie stempla i odsunięcie matrycy ruchomej

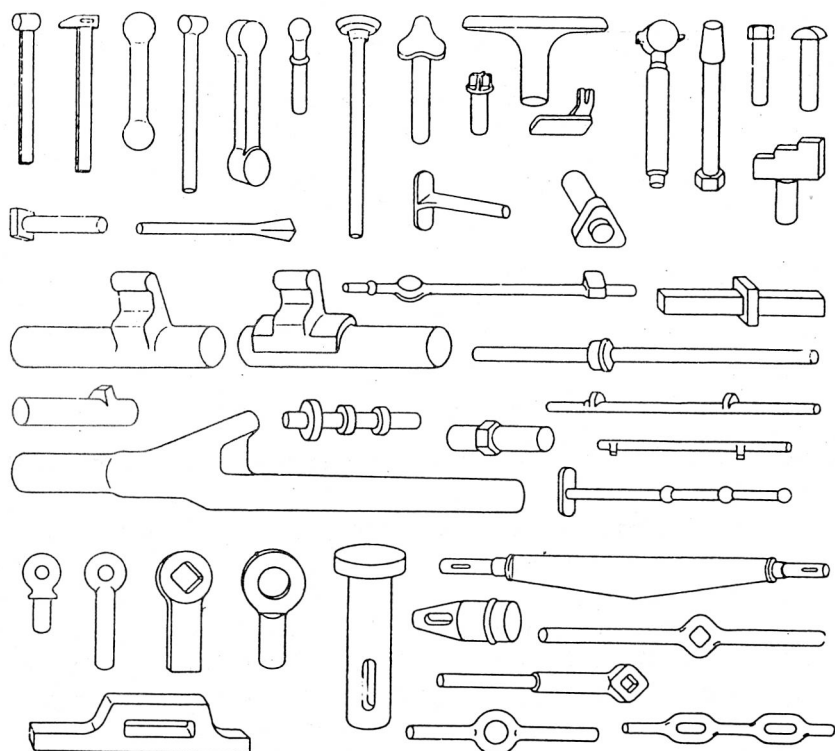
Prasy kuźnicze, w odróżnieniu od młotów, są wyposażone w wyrzutniki dolne i górne, co skraca czas kontaktu odkuwki z matrycą.

Do kucia stosuje się również prasy korbowe o dwóch suwakach poruszających się względem siebie pod kątem prostym. Prasy te nazywa się kuźniarkami. Kuźniarki buduje się z pionowym i poziomym podziałem matryc. Schemat kinematyczny kuźniarki z pionowym podziałem matryc pokazano na rys. 2.52, a na rys. 2.53 przykład konstrukcji matryc i schemat kucia (rys. 2.54).

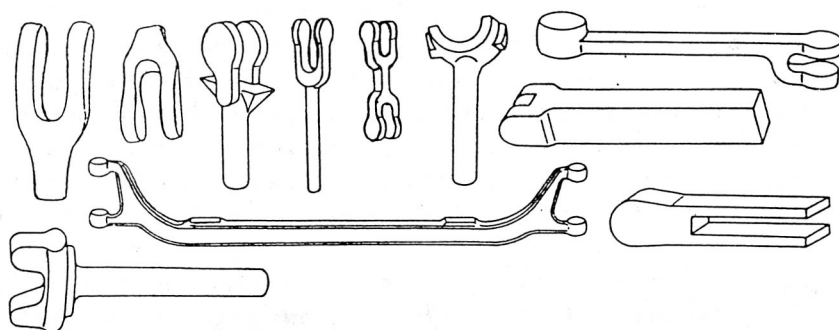
Specyfika kucia na kuźniarkach wymaga krótkiego omówienia możliwości tych maszyn co do stosowanych półfabrykatów i finalnego kształtu odkuwki. Przykłady odkuwek kutech na kuźniarkach pokazano na rysunkach 2.55-2.61.

Do I grupy zalicza się odkuwki ze zgrubieniami na końcach. Przekuciu podlega tylko zgrubienie. Trzon odkuwki zachowuje wymiary materiału wyjściowego (rys. 2.55). Do II grupy zalicza się odkuwki rozwidlone (rys. 2.56), trzon nie podlega przekuciu. Do III grupy są zaliczane odkuwki, które oprócz spęczania wymagają dodatkowych operacji, np. gięcia, walcowania, zgrzewania itp. (rys. 2.57). Odkuwki grupy IV, V i VI (rys. 2.58a,b,c) nie wymagają komentarza. Do grupy VII (rys. 2.59) zalicza się odkuwki z trzonem o wymiarach materiału wyjściowego, a do VIII odkuwki wykonane z rur (rys. 2.60). Ostatnia, IX grupa (rys. 2.61), to odkuwki o złożonym procesie wykonania. Odkuwki grupy IX najpierw matrycuje się na młocie, a następnie spęcza się ich kołnierze na kuźniarce.

Zmechanizowanie pracy na kuźniczych prasach uniwersalnych pozwala osiągnąć wydajność do 2000 sztuk na godzinę. Stanowi to zaledwie około 1/5 wydajności specjalnych automatów, których wydajność dochodzi do



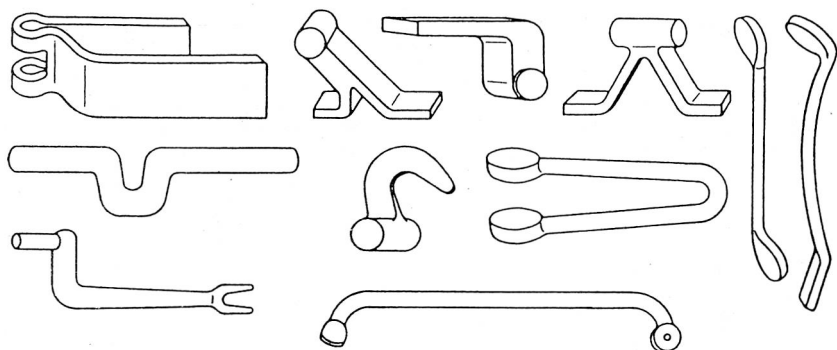
Rys. 2.55. Przykłady odkuwek grupy I, kutych na kuźniarkach [16]



Rys. 2.56. Typowe odkuwki grupy II

10000 sztuk na godzinę przy masie odkuwki do 0,2 kg. Zastosowanie automatów umożliwia ponadto znaczne zwiększenie dokładności kucia.

Najbardziej rozpowszechnionymi w Polsce automatami do kucia są automaty firmy HATEBUR, RFN. Można na nich odkuwać odkuwki o masie od 20 gramów do 5 kilogramów. Kinematyczny schemat automatu pokazano na



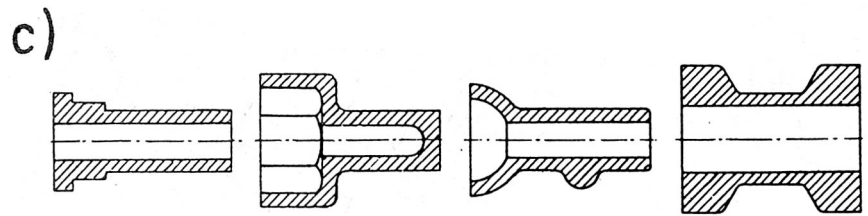
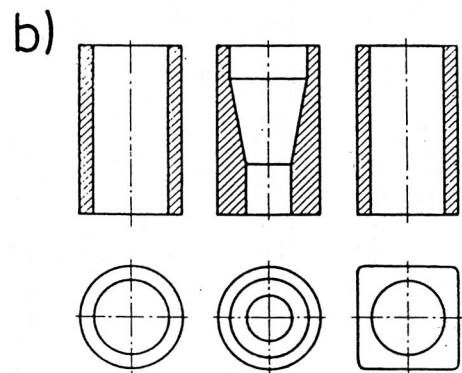
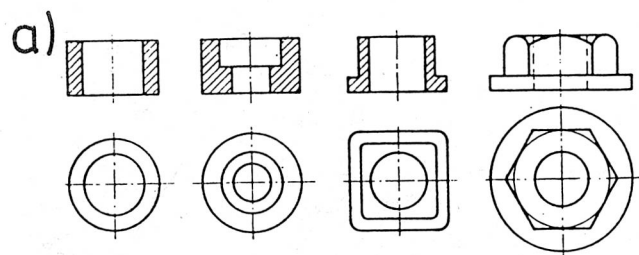
Rys. 2.57. Odkuwki grupy III

rys. 2.62. Czteropozycyjny suwak 7 jest napędzany silnikiem elektrycznym 3 przez przekładnię pasową, cierne sprzęgło i przekładnię napędzającą wał korbowy 5. Ponadto, napęd od wału korbowego jest przekazywany przez system wałów rozrządowych 6, system krzywek i dźwigni na mechanizm 11 podawania pręta, mechanizm dociskacza 12, odcinaka 13, transportera poprzecznego 8 i wypychaczy 10. Rysunek 2.63 ilustruje ogólny widok jednego z mniejszych automatów AMP20 firmy HATEBUR. Na rysunku 2.64 podano natomiast przykłady uzyskiwanych odkuwek za pomocą automatu AMP20, a na rys. 2.65 za pomocą automatu AMP50. Masa tych ostatnich odkuwek dochodzi do 5 kg przy średnicy do 145 mm.

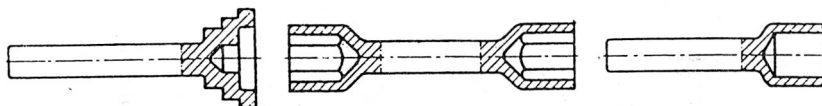
### 2.5.5. Maszyny do obróbki objętościowej na zimno

Do wyciskania mało skomplikowanych detali stosuje się najczęściej prasy korbowe lub korbowo-kolanowe. Te ostatnie (rys. 2.66) wykorzystuje się również do operacji nie wymagających wysokich energii kształtowania, a odznaczających się szybkim przyrastaniem siły pod koniec skoku suwaka prasy. Są to operacje spęczania, wybijania, kalibrowania itp. Na prasach korbowo-kolanowych jest możliwe wyciskanie detali o długości nie większej od ich średnicy.

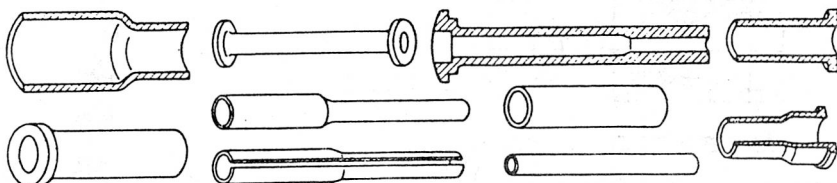
Dążenie do poprawy warunków pracy matryc oraz zmniejszenia odkształceń sprężystych korpusu i hałasu doprowadziło do pojawienia się konstrukcji konkurujących z typową prasą korbową i korbowo-kolanową stosowaną do wyciskania. Przykładem takiej unowocześnionej konstrukcji może być prasa korbowo-kolanowa firmy KOMATSU-MAYPRES (rys. 2.67). Osobliwością tej maszyny jest specjalny układ przenoszenia siły. W przeciwieństwie do typowych napędów korbowych, mimośrodowych i korbowo-kolanowych, przenoszenie napędu odbywa się przez łącznik, dźwignię sterującą i narzę-



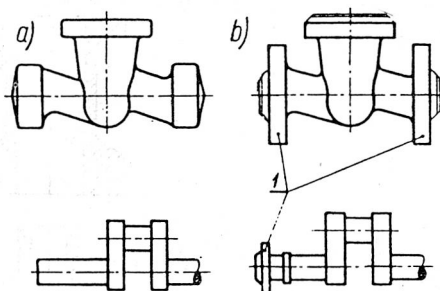
Rys. 2.58. Odkuwki: a) grupy IV, b) grupy V,  
c) grupy VI



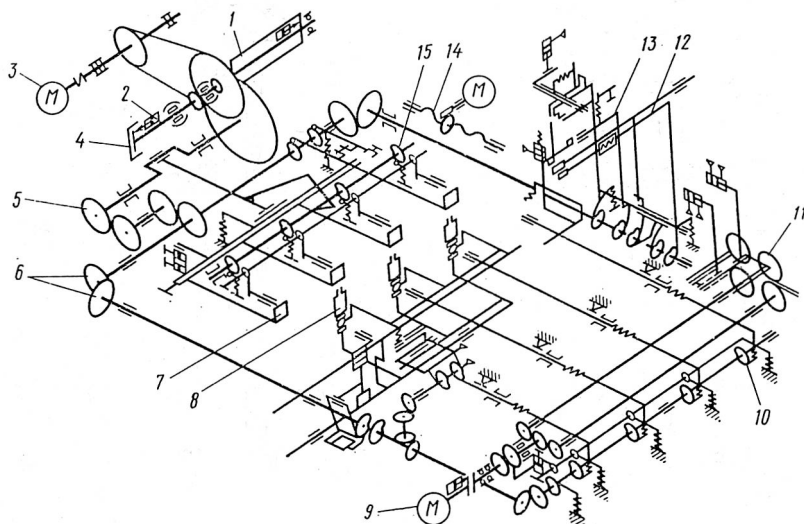
Rys. 2.59. Odkuwki grupy VII



Rys. 2.60. Odkuwki grupy VIII

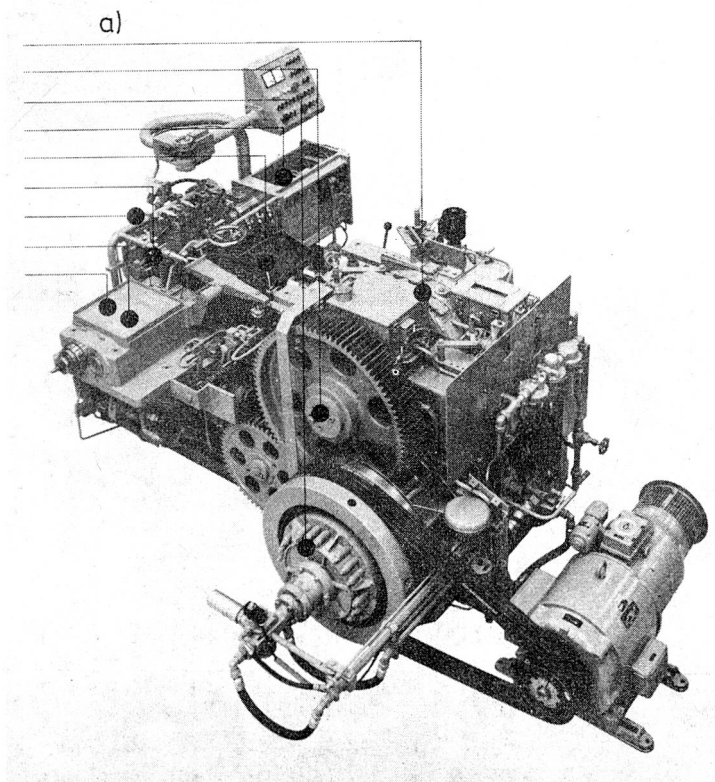


Rys. 2.61. Odkuwki grupy IX



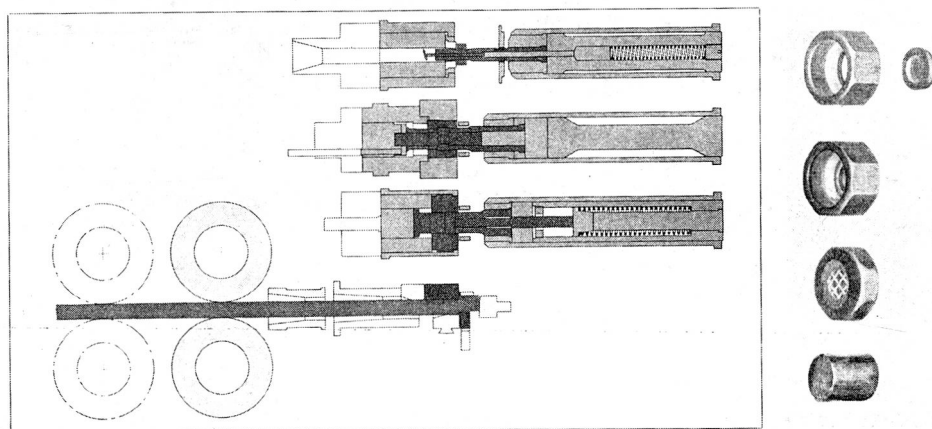
Rys. 2.62. Schemat kinematyczny automatu HATEBUR do kucia [18]



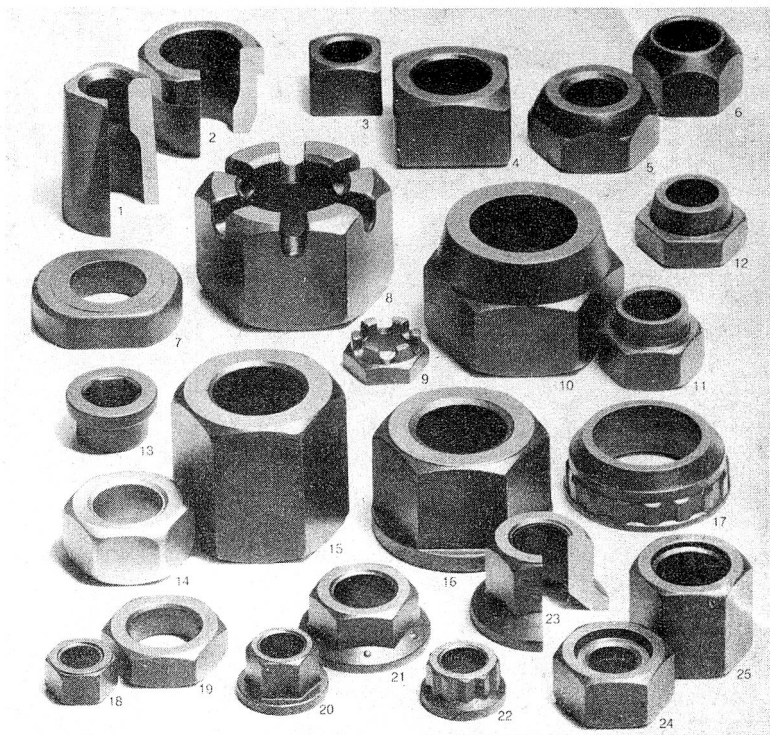


Rys. 2.63a. Ogólny widok automatu HATEBUR do kucia [7]

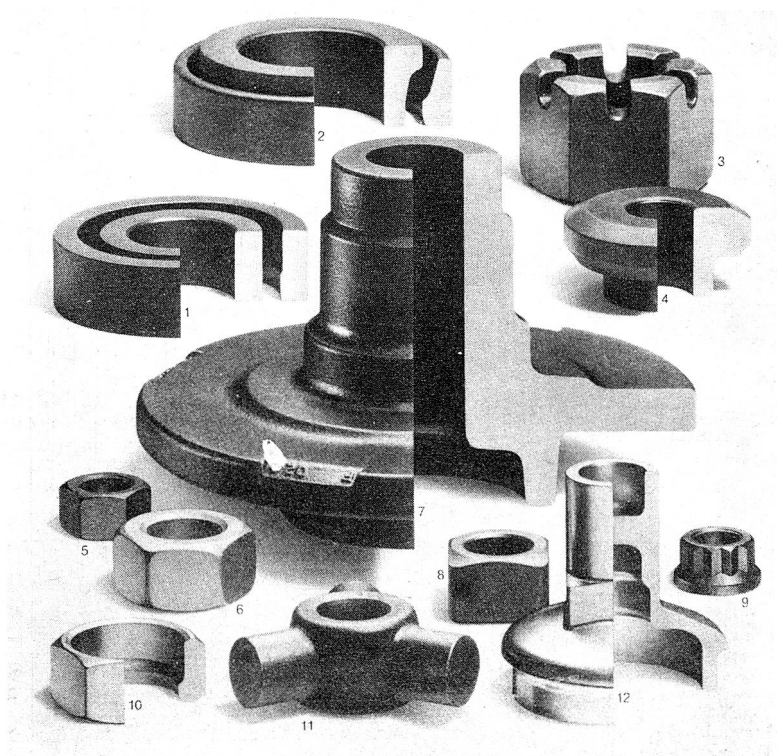
b)



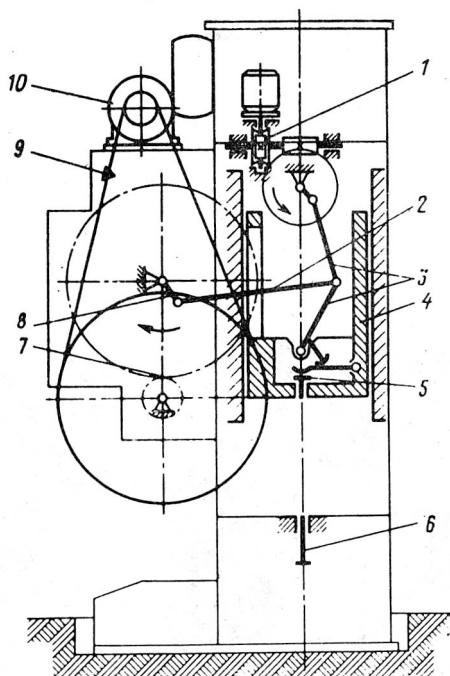
Rys. 2.63b. Przykład wykonania odkuwki nakrętki; widoczne narzędzia, fa-  
zy kucia i poszczególne półfabrykaty [15]



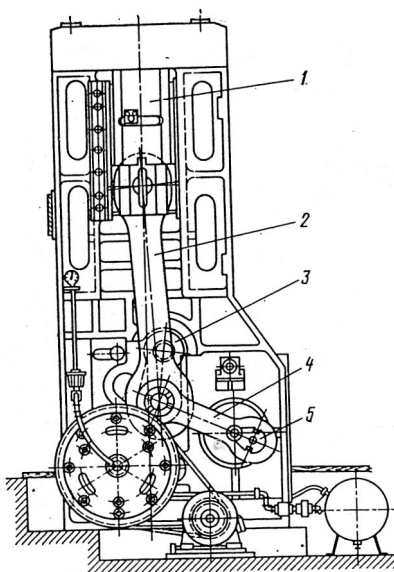
Rys. 2.64. Przykłady odkuwek kutech na automacie AMP20



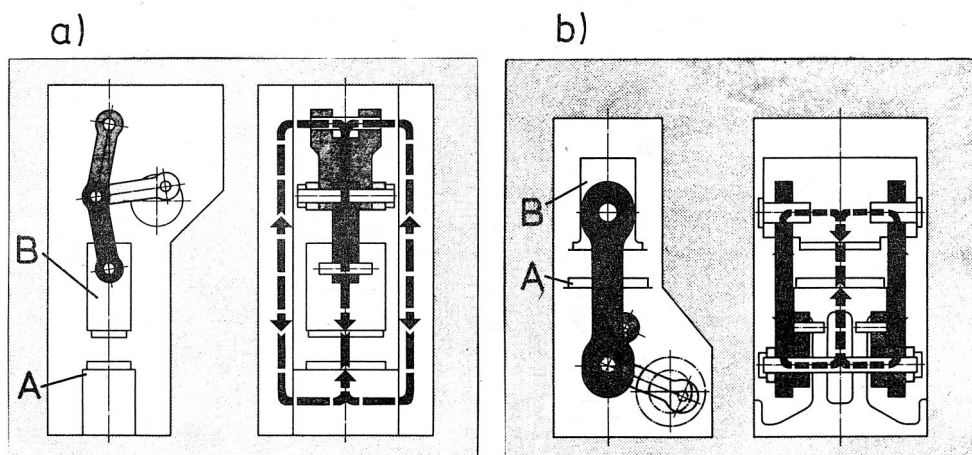
Rys. 2.65. Przykłady odkuwek kutych na automacie AMP50 [7]



Rys. 2.66. Schemat kinematyczny prasy korbowo-kolanowej do wyciskania [18]: 1 - mechanizm regulacji, 2 - korbowód, 3 - mechanizm kolanowy, 4 - suwak, 5 i 6 - wyrzutniki, 7 do 10 - podzespoły napędu



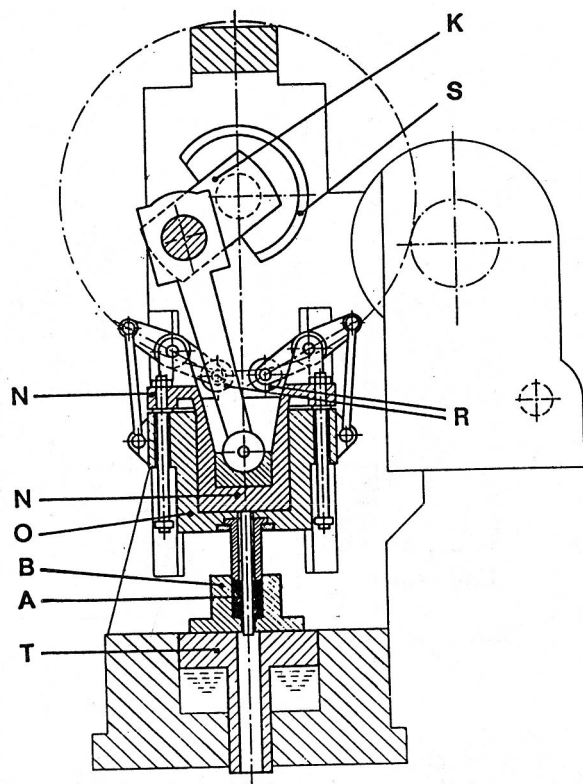
Rys. 2.67. Prasa do wyciskania: 1 - suwak, 2 - dźwignia, 3 - wahacz, 4 - korbowód, 5 - wał korbowy [18]



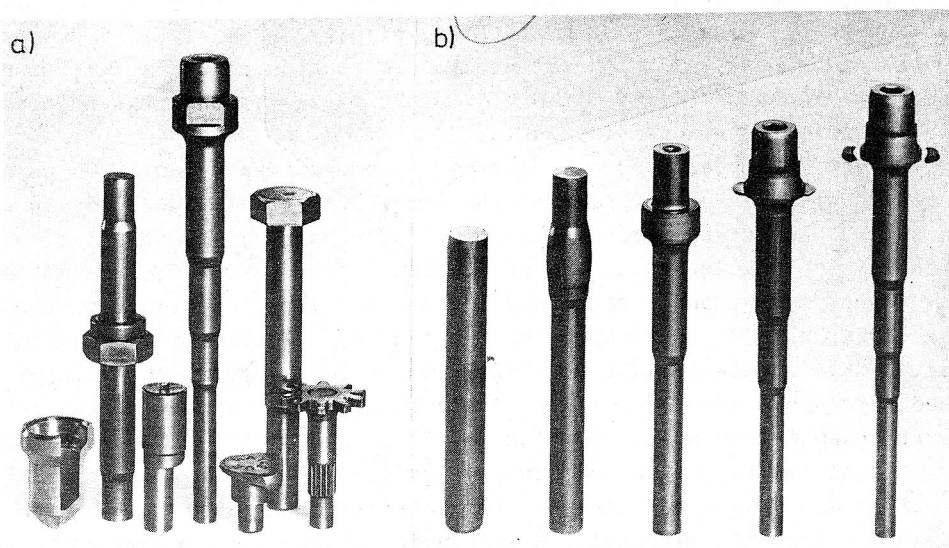
Rys. 2.68. Sposób przenoszenia obciążeń: a - w typowej prasie korbowo-kolanowej (przez korpus), b - w prasie firmy KOMATSU-MAYPRES (korpus odciążony) [13]

dzie znajdujące się między stołem A i suwakiem B (rys. 2.68). Dzięki temu korpus prasy nie jest obciążony siłą wyciskania. Układ napędu suwaka prasy pozwala zmniejszać prędkość kształtowania przy zwiększonej prędkości ruchu jałowego, ponadto dwupunktowe zawieszenie suwaka umożliwia jego niewspółosiowe obciążanie.

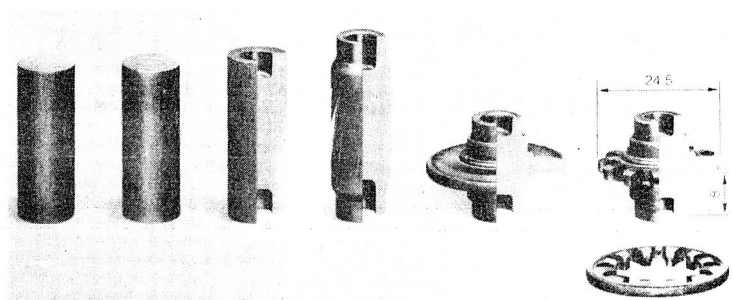
Prasy z napędem korbowym mogą być wykorzystywane również do współbieżnego wyciskania, np. długich rur (rys. 2.69). Suwak tej prasy składa się z dwóch części: wewnętrznej N, podwieszanej bezpośrednio na korbowodzie i zewnętrznej O, podwieszanej na suwaku wewnętrznym. Suwak wewnętrzny wykonuje skok zadany układem: wał korbowy-korbowód. Suwak zewnętrzny O jest napędzany krzywką S osadzoną na głównej osi wału i układem dźwigni. Dzięki temu suwak zewnętrzny O ze stemplem dochodzi do wyciskanego materiału A szybciej niż suwak wewnętrzny N ze stemplem dziurującym wstępniak A i zatrzymuje się w momencie, kiedy stempel dziurujący wykona otwór we wstępniaku. Suwak wewnętrzny opiera się o dno suwaka wewnętrznego i przemieszcza go razem ze sobą - następuje wyciskanie materiału. W zależności od wielkości prasy można w ten sposób produkować rury o średnicy np. 100 mm i długości 17 m.



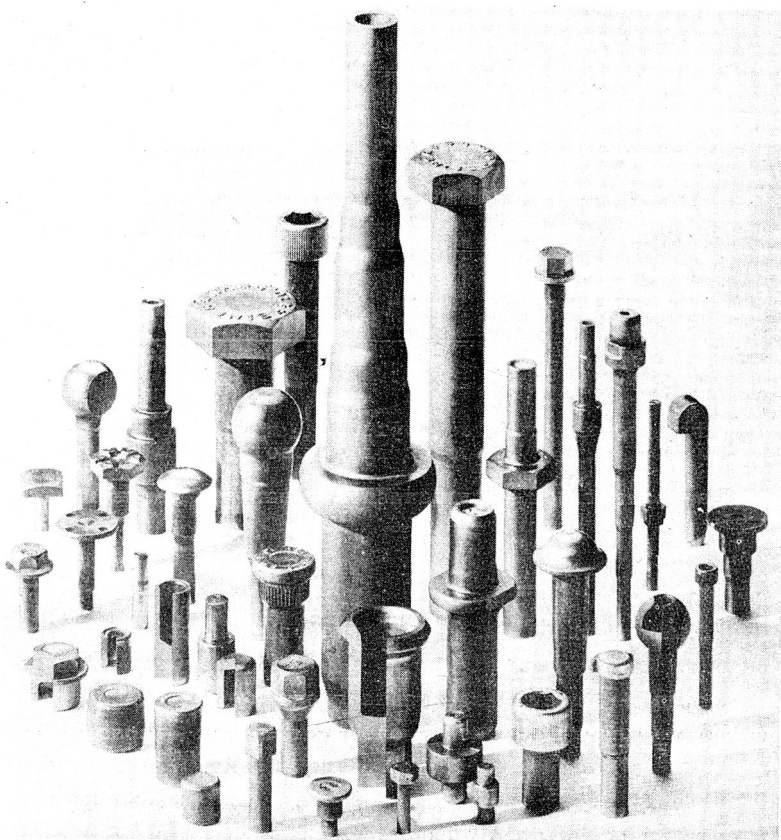
Rys. 2.69. Prasa korbowa do wyciskania rur [11]



Rys. 2.70. Wyroby produkowane za pomocą automatów do wyciskania:  
a - przykłady, b - fazy produkcji [4]



Rys. 2.71. Koło zębate produkowane za pomocą automatu do wyciskania [3]

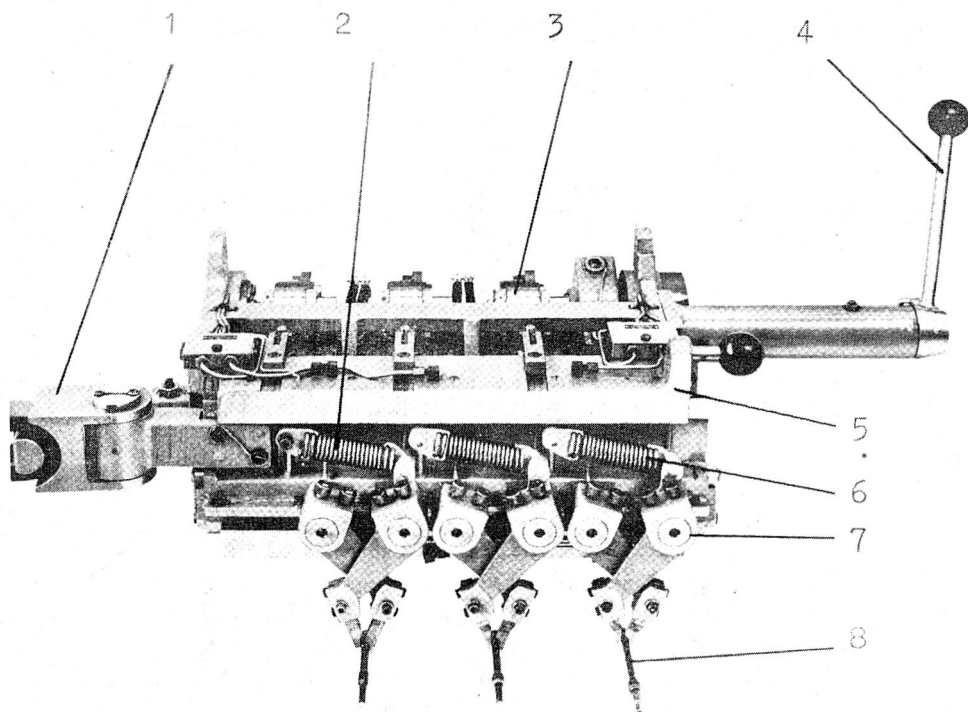


Rys. 2.72. Przykłady wyrobów [4]

Automaty do wyciskania są maszynami poziomymi i można je podzielić na dwie podstawowe grupy: jednopozycyjne i wielopozycyjne. Automaty wielopozycyjne są przeważnie przeznaczone do produkcji wyrobów typu swo-

rzeń, śruba (rys. 2.70) i innych detali (rys. 2.71) stosowanych w budowie maszyn.

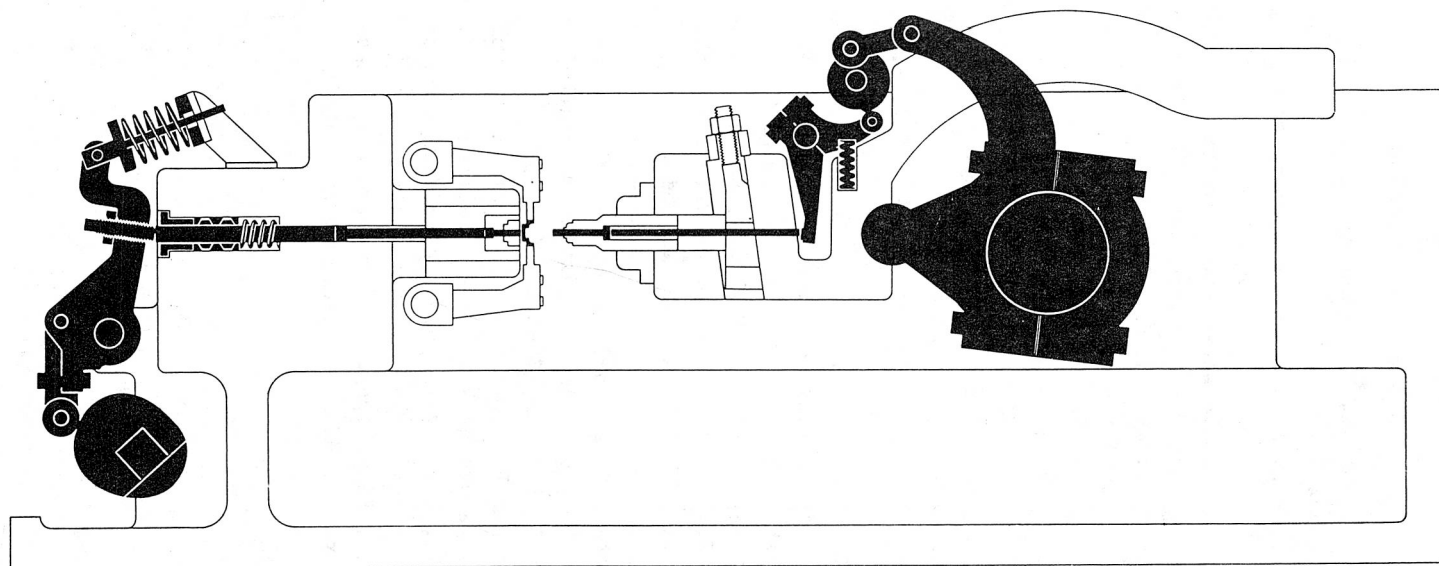
We współczesnych automatach bardzo ważny jest mechanizm przenoszenia półfabrykatu między poszczególnymi pozycjami. Mechanizmy te można podzielić na dwie grupy: do wyrobów typu sworzeń i śruba oraz pozostałych wyrobów kształtowanych. Przykład mechanizmu przenoszenia (podawania) wydłużonych półfabrykatów (rys. 2.72) pokazano na rys. 2.73. Su-



Rys. 2.73. Mechanizm przenoszenia półwyrobów [4]

port z tego mechanizmu otrzymuje napęd od cięgna 1 związanego systemem dźwigni z krzywkami na wale rozrządu. Przemieszczenia suportu są równe odległościom między poszczególnymi pozycjami automatu. Półfabrykaty 8 są chwytywane kleszczami 7, które są sterowane krzywkami 3. Docisk kleszczy do półfabrykatów zapewniają sprężyny 6. Do ręcznego rozwierania kleszczy podczas ustawiania automatu służy dźwignia 4. Schemat działania wyrzutników usuwających półfabrykaty ze stempli i matryc pokazano na rys. 2.74.





Rys. 2.74. Schemat działania wyrzutnika półwyrobów [4]

Literatura do rozdziału 2

1. BANJETOV A. N. i inni, Kuznečno-Štampovočnoe oborudovanie, Mašino-  
stroenie, Moskva 1970.
2. BOSIACKI K., Prasy mechaniczne stosowane w tłocznictwie, Warszawa,  
PWT, 1959.
3. Coldmatic 7602-2, Data sheet, prospekt firmy HATEBUR, RFN.
4. Die Boltmatic, Vierstufen-Kaltformer für mittellange und lange  
Teile, prospekt firmy HATEBUR, RFN.
5. Dokumentacja techniczno-ruchowa prasy PEEII250 produkcji NRD.
6. GOLATOWSKI T., Prasy mechaniczne - konstrukcja, eksploatacja i mo-  
dernizacja, Warszawa, PWNT, 1970.
7. Hotmatic AMP20 und AMP30, prospekt firmy HATEBUR, RFN.
8. IGNATOV A. A., IGNATOVA T. A., Krivošipnye gorjače-štampovočne  
pressy. Mašinoostroenie, Moskva 1984.
9. KOSELARZ J., SOČKO D., Obsługa pras mimosrodowych, Warszawa, WNT,  
1979.
10. LANGE K., Lehrbuch der Umformtechnik Band 1 - Grundlagen, Springer-  
-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1972.
11. LANGE K., Lehrbuch der Umformtechnik. Band 2 - Massivumformung,  
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1974.
12. MARKIEWICZ E., Poradnik tłoczarza. Warszawa, WNT, 1969.
13. Prospekt firmy KOMATSU-MAYPRES, Japonia.
14. TOMASZEWSKI Z., Rola doboru i właściwej eksploatacji prasy w zwię-  
kszeniu trwałości narzędzi do obróbki plastycznej. Materiały kurso-  
konferencji "Zagadnienia narzędziowe w produkcji drobnych elementów",  
Mera-Lumel, INOP, SIMP, Zielona Góra 1976.
15. Warmpressen auf Folgepressen, Sonderdruck aus "pro metal" Nr III/71.
16. WASIUNYK P., Kucie na kuźniarkach, Warszawa, WNT, 1973.
17. VLASOV V. I., Sistemy vključenija krivošipnych pressov. Mašinostro-  
enie, Moskva 1969.
18. VLASOV V. I., Krivošipnye kuznečno-pressovyje mašiny - teorija  
i proektirovanie. Mašinoostroenie, Moskva 1982.

### 3. MASZyny Z MECHANIZMEM ŚRUBOWYM

#### 3.1. Zasada działania i klasyfikacja

Zasada działania pras śrubowych polega na przekształcaniu energii układu napędowego w energię użyteczną za pomocą mechanizmu śrubowego. W czasie rozpędzania roboczych części prasy (koła zamachowego, śruby i suwaka z górną matrycą) akumulują się w nich energia kinetyczna  $E_{v,\omega}$  ruchu obrotowego i postępowego, która jest wykorzystywana do wykonania pracy  $W_{pl}$  odkształcenia plastycznego

$$W_n \rightarrow E_v + E_\omega = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} = E_{v,\omega} \rightarrow W_{pl}, \quad (3.1)$$

gdzie:  $W_n$  - praca (energia) napędu,

$E_v$  - energia kinetyczna ruchu postępowego mas,

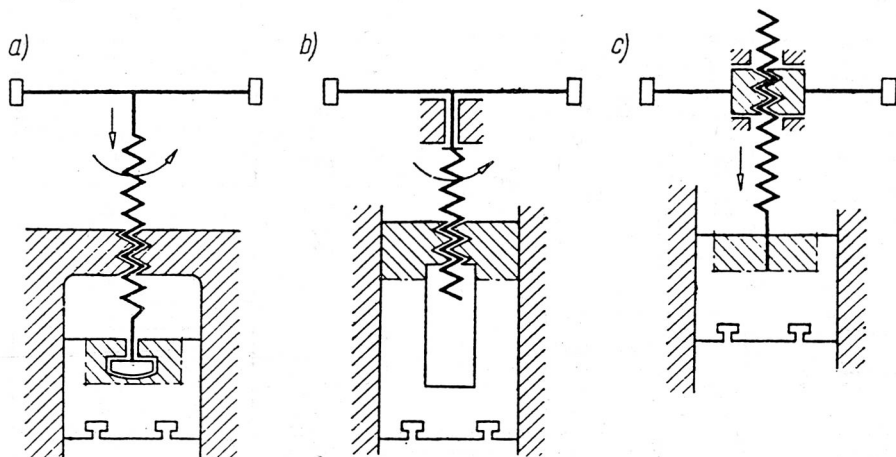
$E_\omega$  - energia kinetyczna ruchu obrotowego mas,

$E_{v,\omega}$  - energia kinetyczna ruchu śrubowego mas,

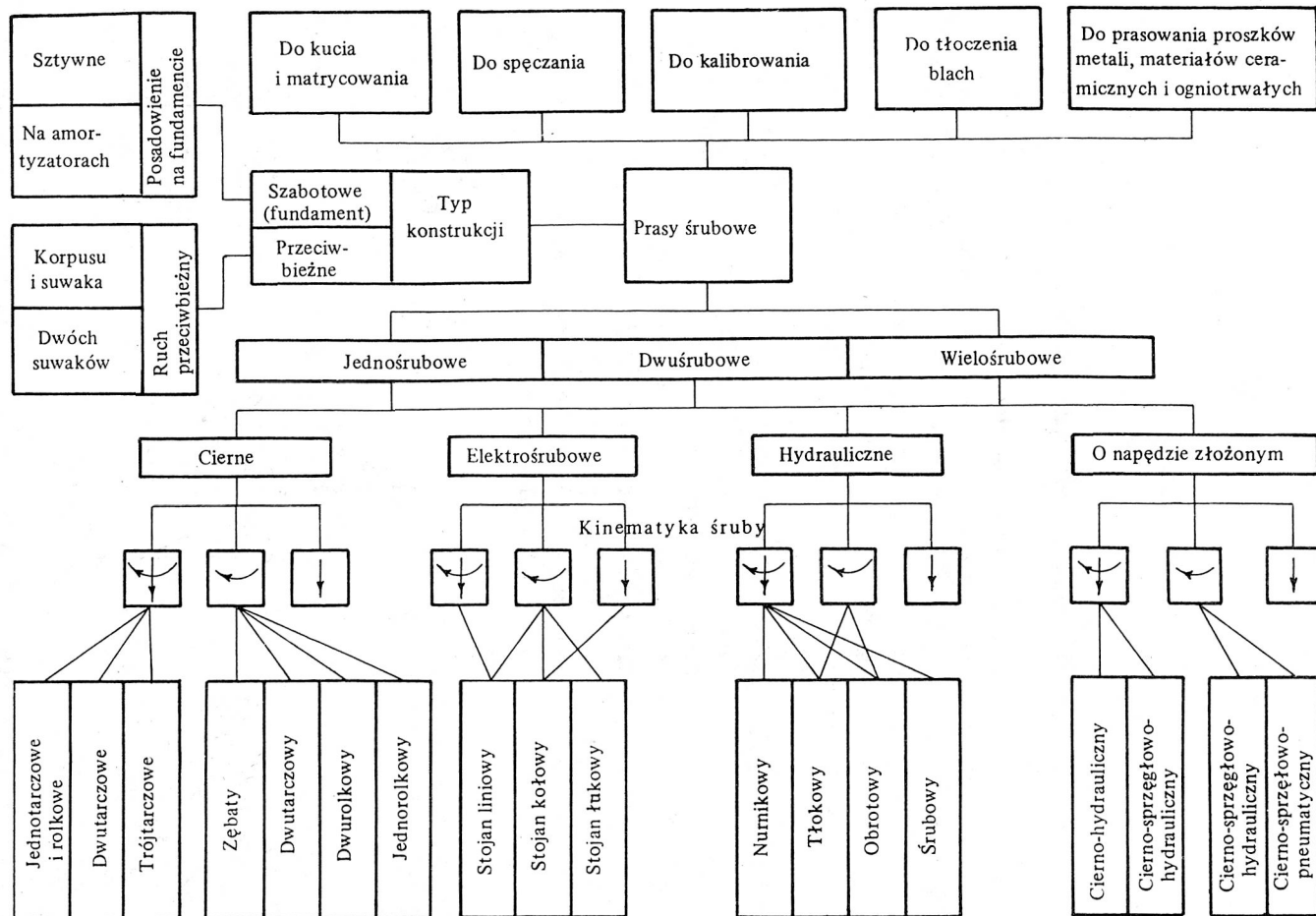
$m, v$  - masa i prędkość postępowego ruchu,

$I, \omega$  - moment bezwładności i prędkość kątowa ruchu obrotowego,

$W_{pl}$  - praca odkształcenia plastycznego.



Rys. 3.1. Schematy pras śrubowych - śruba wykonuje ruch: a - śrubowy, b - obrotowy, c - postępowy [2]



Rys. 3.2. Klasyfikacja pras śrubowych [1]

Właściwością mechanizmu śrubowego jest stały stosunek prędkości kątowej do prędkości liniowej

$$\omega = \frac{2\pi}{h} v, \quad (3.2)$$

gdzie:  $h$  - skok gwintu.

Energię kinetyczną ruchu śrubowego można zapisać następująco:

$$E_{v, \omega} = \left( m \frac{h^2}{4\pi^2} + I \right) \frac{\omega^2}{2} = I^* \frac{\omega^2}{2}, \quad (3.3)$$

$$E_{v, \omega} = \left( m \frac{4\pi^2}{h^2} I \right) \frac{v^2}{2} = m^* \frac{v^2}{2}, \quad (3.4)$$

gdzie:  $m^*$  - zredukowana masa części roboczych,

$$m^* = m + \frac{4\pi^2}{h^2} I,$$

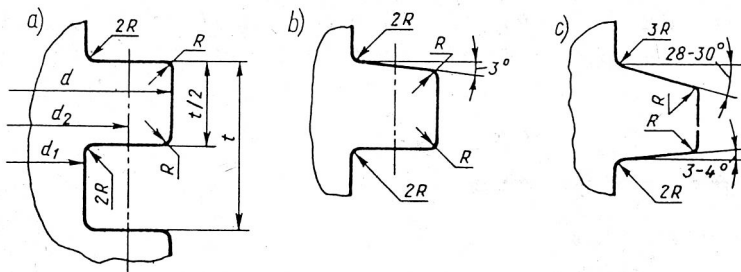
$I^*$  - zredukowany moment bezwładności,

$$I^* = m \frac{h^2}{4\pi^2} + I.$$

Kształtowanie materiału za pomocą prasy śrubowej rozpoczyna się z największą początkową prędkością, która maleje do zera pod koniec ruchu roboczego. Z tego też powodu prasy śrubowe zalicza się często do młotów, a w każdym razie do maszyn zajmujących pośrednie miejsce między prasami i młotami. Na rysunku 3.1 pokazano schematycznie zasadę pracy najbardziej rozpowszechnionych pras śrubowych.

**Klasyfikacja.** Podstawowymi kryteriami pras śrubowych są: rodzaj ruchu śruby, rodzaj napędu, rodzaj przekładni, liczba śrub, rodzaj zabezpieczeń przed przeciążeniem, rodzaj technologii, do której prasa jest przystosowana. Śruba może wykonywać ruch postępowy, obrotowy lub śrubowy. Napęd bywa mechaniczny, elektryczny lub hydrauliczny. Przykład klasyfikacji pras śrubowych podano na rys. 3.2.

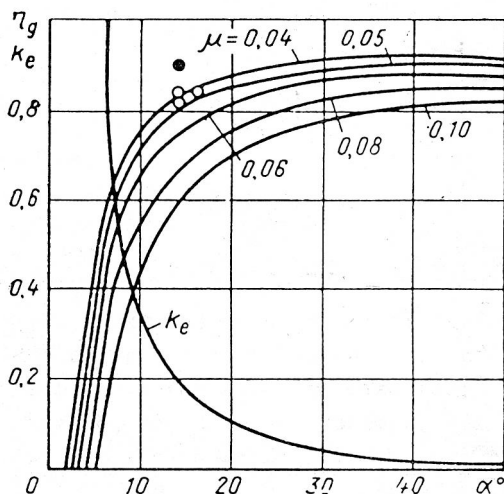
W prasach śrubowych stosuje się niesamohamowne mechanizmy śrubowe (kąt wzniosu linii śrubowej jest większy od kąta tarcia). Na rysunku 3.3



Rys. 3.3. Zarysy gwintu śruby: a - prostokątny; b, c - trapezowy [1]

pokazano najczęściej stosowane zarysy gwintów. Najmniejsze straty na tarcie występują przy stosowaniu gwintu o zarysie prostokątnym. Łatwiejszym do wykonania jest jednak gwint trapezowy niesymetryczny (rys. 3.3c). Można go wykonać za pomocą frezów modułowych.

Kąt wzniosu linii śrubowej przyjmuje się w granicach od 12 do 16 stopni, co zapewnia niesamohamowność, dużą sprawność mechanizmu i niezbędną pojemność energetyczną ruchu mechanizmu śrubowego (rys. 3.4).



Rys. 3.4. Sprawność  $\eta_g$  i pojemność energetyczna  $k_e$  śruby w funkcji kąta  $\alpha$  wzniosu linii śrubowej [1]

Podane na rysunku 3.4 wartości sprawności  $\eta$  obliczono według zależności

$$\eta \approx \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \rho)}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.5)$$

gdzie:  $\alpha$  - kąt wzniosu linii śrubowej,  
 $\rho$  - kąt tarcia.

Współczynnik pojemności energetycznej  $k_e$  (rys. 3.4) wyraża stosunek energii kinetycznej ruchu śrubowego do energii kinetycznej swobodnego spadku

$$k_e = \frac{E_k}{G_s S} = \frac{v^2 \left( m + I \frac{4 \pi^2}{h^2} \right)}{2 G_s S}, \quad (3.6)$$

gdzie:  $G_s$  - ciężar śruby,  
 $S$  - przemieszczenie śruby.

Po dokonaniu odpowiednich przekształceń, wynikających z faktu, że:

$$h = \pi d \operatorname{tg} \alpha, \quad m = \frac{G}{g}, \quad I \approx m \frac{r^2}{2}, \quad v_{sw} = \sqrt{2gs}$$

można napisać

$$k_e = \frac{v^2}{2gs} \left( 1 + \frac{1}{2\operatorname{tg}^2 \alpha} \right) = \frac{v^2}{v_{sw}^2} \left( 1 + \frac{1}{2\operatorname{tg}^2 \alpha} \right). \quad (3.7)$$

Na rysunku 3.4 podano wyniki obliczeń współczynnika  $k_e$  dla  $v/v_{sw} = 1$ . W praktyce stosunek  $v/v_{sw}$  wynosi około 0,5–1,5.

W prasach śrubowych stosuje się gwint wielozwojowy o liczbie zwojów 3–6.

Zewnętrzna średnica śruby i nominalny nacisk pras są przeważnie związane zależnością empiryczną

$$d \approx 10 \sqrt{P_{nom}}, \quad (3.8)$$

gdzie:  $d$  – średnica śruby, w cm,

$P_{nom}$  – nominalny nacisk, w MN.

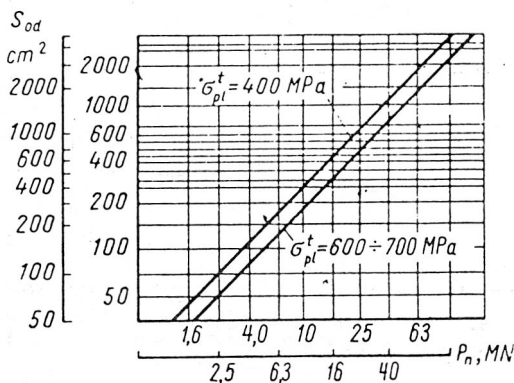
W katalogach można spotkać wyróżnik prasy śrubowej w postaci wartości średnicy  $d$  lub nacisku nominalnego  $P_{nom}$ .

### 3.2. Podstawowe parametry pras śrubowych

**Nacisk prasy.** Nacisk prasy jest tym większy, im mniejsze jest odkształcenie plastyczne wykonywanego przedmiotu i rośnie ze wzrostem sztywności prasy.

#### 3.2.1. Nacisk nominalny

Podczas wywierania nacisku nominalnego na obrabiany przedmiot, wykorzystuje się 80–85% efektywnej energii. Od nacisku nominalnego są uzależnione naprężenia w śrubie. Nomogram umożliwiający dobór nacisku nominalnego  $P_n$  w zależności od powierzchni odkuwki pokazano na rys. 3.5.



#### 3.2.2. Nacisk dopuszczalny

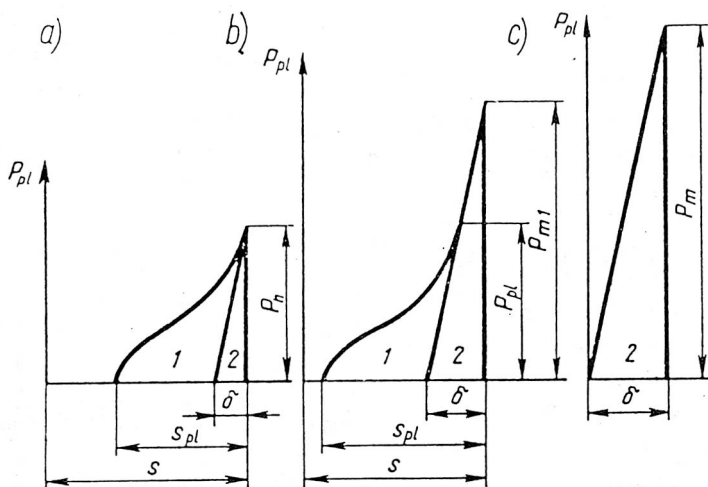
Nacisk dopuszczalny większości pras śrubowych jest 1,6 razy większy od nacisku nominal-

Rys. 3.5. Nomogram umożliwiający dobór nacisku nominalnego prasy śrubowej na podstawie powierzchni odkuwki ( $\sigma_{pl}$  – granica plastyczności stali w temperaturze pokojowej) [1]

nego. Wywieranie nacisku dopuszczalnego odpowiada wykorzystaniu 45–50% energii efektywnej. Długotrwałe wywieranie nacisku dopuszczalnego możliwe jest, gdy prasa jest wyposażona w bezpiecznik cierny.

### 3.2.3. Nacisk maksymalny

Nacisk maksymalny jest wywierany przez prasę w przypadku braku odkształcenia plastycznego, co występuje podczas twardego uderzenia (brak obrabianego materiału). W takich warunkach energia efektywna części roboczych jest zużywana na tarcie i odkształcenia sprężyste elementów prasy i matryc, a praca użyteczna jest równa zero. Nacisk maksymalny jest najczęściej od 2,5 do 2,8 razy większy od nacisku nominalnego, a w razie pras z bezpiecznikiem hydraulicznym – 1,2–1,25 razy. Użytkowanie prasy przy maksymalnym nacisku grozi uszkodzeniem prasy. Na rysunku 3.6 pokazano wykresy siły kucia w zależności od nadmiaru energii kinetycznej w stosunku do pracy odkształcenia plastycznego.



Rys. 3.6. Wykres siły kucia dla pras śrubowych: a – kucie bez nadmiaru energii kinetycznej, b – kucie z nadmiarem energii kinetycznej, c – twarde uderzenie matryc; 1 – praca odkształcenia plastycznego, 2 – energia odkształceń sprężystych układu prasa-przyrząd [1]

### 3.2.4. Energia efektywna

Energia efektywna jest energią kinetyczną ruchomych części prasy nagromadzoną w nich do chwili rozpoczęcia odkształcania materiału. W większości pras śrubowych układ napędzający elementy ruchome jest od-



łączany przed rozpoczęciem kształtowania. Energia efektywna jest wówczas równa energii kinetycznej. W niektórych prasach, np. z napędem hydraulicznym jest przekazywana dodatkowa praca układu napędowego.

Jeżeli w katalogach nie podano wartości energii efektywnej, to jej przybliżoną wartość można określić z błędem +25% ze wzoru

$$E_k \text{ [kJ]} \approx 0,0045 d^3 \text{ [cm]} \approx 4,5 P^{3/2} \text{ [MN]}, \quad (3.9)$$

lub

$$E_k \approx \frac{N_s \eta_{og} 60}{n}, \quad (3.10)$$

gdzie:  $N_s$  - moc silnika elektrycznego, w kW,

$n$  - liczba pełnych skoków suwaka na minutę,

$\eta_{og}$  - sprawność ogólna wynosząca 0,17–0,2 dla pras ciernych;  
0,10–0,15 dla pras elektrośrubowych; 0,35–0,40 dla pras  
śrubowych z napędem hydraulicznym.

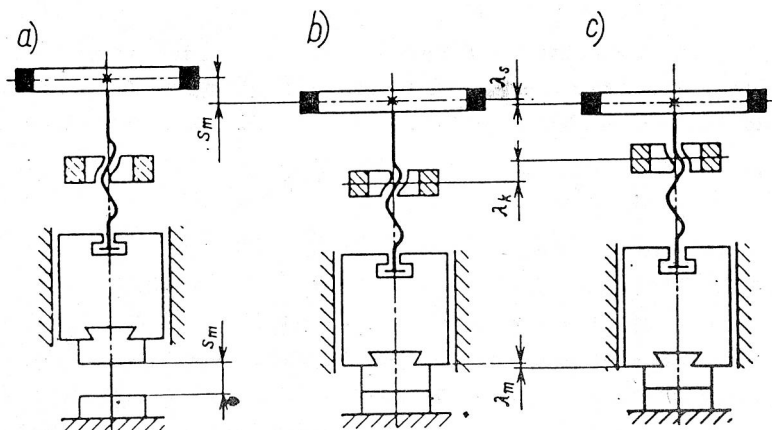
### 3.2.5. Największy skok suwaka

Największy skok suwaka jest sumą drogi niezbędnej do uzyskania energii kinetycznej przez ruchome części prasy oraz drogi przebywanej podczas kształtowania materiału.

### 3.2.6. Sztynność

Sprężyste i termiczne odkształcenia korpusu  $\lambda_k$ , mechanizmu śrubowego  $\lambda_s$  i matryc  $\lambda_m$  są kompensowane przez samą prasę dzięki dodatkowemu obrotowi. Ten dodatkowy obrót mechanizmu śrubowego powoduje przesunięcie suwaka prasy aż do zamknięcia matryc (rys. 3.7). Samoczynna kompensacja odkształceń przyczynia się do zwiększenia dokładności odkuwek. Dokładność kucia na prasach śrubowych rośnie o 2–3 klas w porównaniu z dokładnością kucia na młotach parowo-powietrznych i o 1–2 klas w stosunku do pras korbowych.

Ustawienie matryc na prasach śrubowych nie jest pracochłonne, gdyż nie wymaga regulacji zamkniętej wysokości matryc. Zbędna jest również regulacja luzów w prowadnicach suwaka przy wzroście temperatury korpusu. Wpływ luzów w prowadnicach suwaka oraz wpływ kąтового odkształcenia korpusu kompensuje się przez stosowanie kolumn prowadzących i zamków usytuowanych wzdłuż zarysu matrycy.



Rys. 3.7. Odształcenie sprężyste elementów prasy śrubowej: a - przed zetknięciem się matrycy z materiałem, b - moment zamknięcia się matrycy, c - końcowa chwila kucia,  $\lambda_k, \lambda_m, \lambda_s$  - odształcenia korpusu, matrycy i mechanizmu śrubowego [1]

### 3.3. Zastosowanie mechanizmów śrubowych

Prasy śrubowe nie są dostosowane do operacji wstępnych. Operacje wstępne wykonuje się na prasach hydraulicznych, walcach kuźniczych, elektroszczawkach, kuźniczych prasach korbowych, a kucie wykańczające na prasach śrubowych.

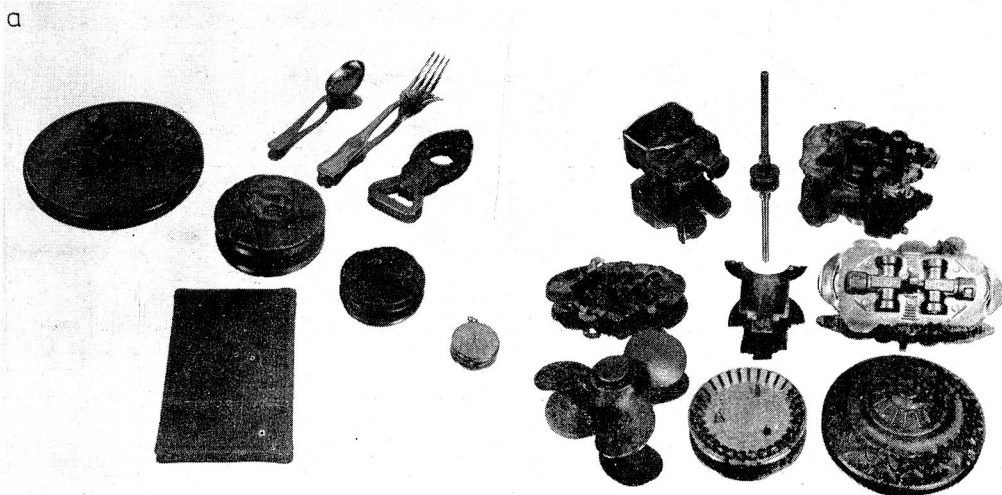
Duża dokładność odkuwek uzyskiwanych na prasach śrubowych sprawiła, że mają one zastosowanie w produkcji łopatek turbinowych i sprężarkowych oraz wszelkiego rodzaju przedmiotów o zwiększonej dokładności. Na rysunku 3.8 pokazano typowe przykłady wyrobów produkowanych za pomocą pras śrubowych.

### 3.4. Przegląd konstrukcji

#### 3.4.1. Prasy śrubowe cierne

Ruch mechanizmu śrubowego pras ciernych jest wywołany przekładnią cierną. Schematy konstrukcyjne śrubowych pras ciernych przedstawiono na rys. 3.9.

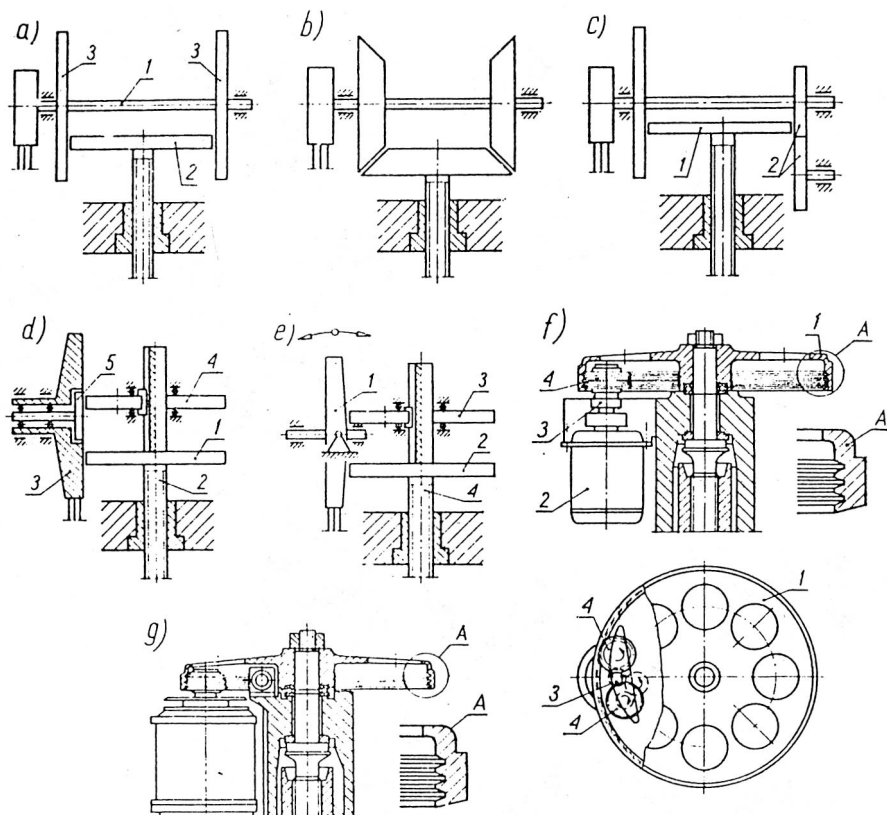
Najbardziej rozpowszechniona jest prasa o dwóch tarczach ciernych (rys. 3.9a). Tarcze cierne 3 osadzone na wale napędowym 1 służą do napędzania koła zamachowego 2 osadzonego na śrubie. W zależności od tego, która z tarcz 3 współpracuje z kołem zamachowym 2 - śruba doznaje obro-



Rys. 3.8. Przykłady wyrobów produkowanych przy użyciu pras śrubowych tu w lewo lub prawo. Innymi słowy, suwak podwieszony na śrubie przemieszcza się w dół lub do góry.

Prasy trójtarczowe (rys. 3.9c) zaczęto budować, aby poprawić współczynnik sprawności przekładni ciernej przy ruchu suwaka prasy do góry. Rozwiązanie to ułatwia hamowanie koła zamachowego. Produkowane w Polsce prasy działają przeważnie według schematu z rys. 3.9a, d i e.

Mały współczynnik sprawności tarczowych pras śrubowych, wynoszący około 10%, spowodował rozwój (obecnie nieprodukowanych) pras ciernych beztarczowych (rys. 3.9f). Koło zamachowe 1 prasy beztarczowej jest na-



Rys. 3.9. Schematy śrubowych pras ciernych: a - dwutarczowa, b - dwutarczowa z kołami stożkowymi, c - trójtarczowa, d - dwutarczowa z wewnętrzną i zewnętrzną tarczą cierną, e - jednotarczowa z tarczą przechylną, f - beztarczowa z dwoma rolkami ciernymi, g - beztarczowa z jedną rolką cierną osadzoną bezpośrednio na wale silnika [2]

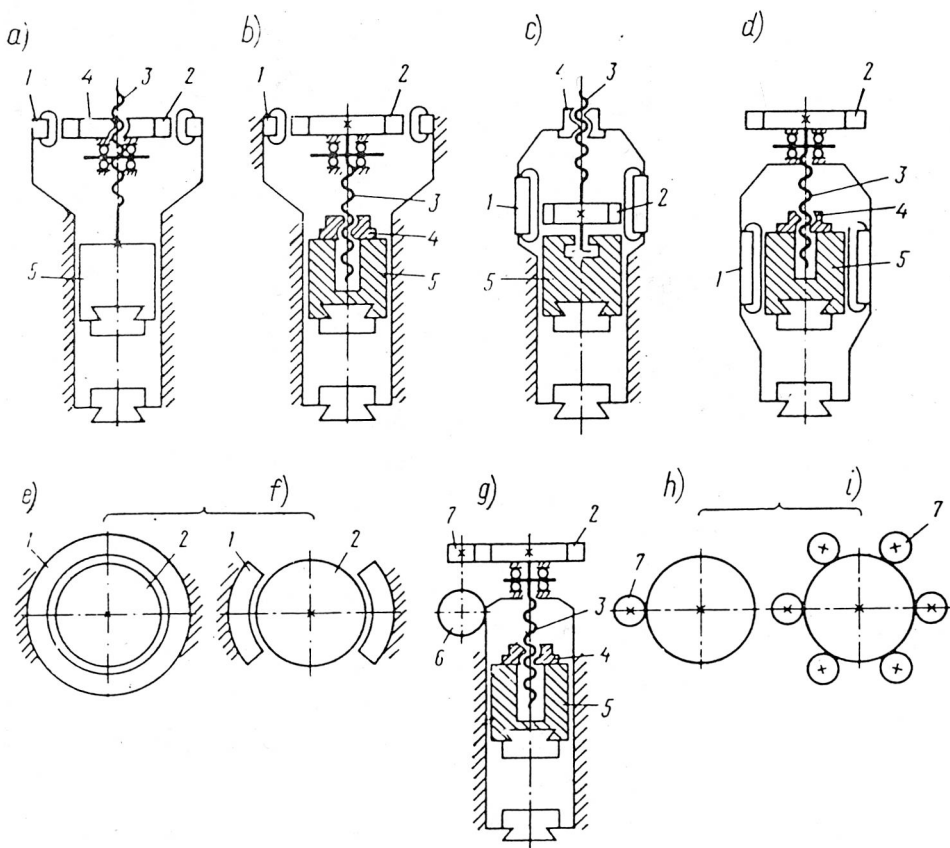
pędzane silnikiem elektrycznym 2 za pośrednictwem przekładni zębatej 3 oraz dwóch rolek 4 obracających się w przeciwne strony.

W celu wyeliminowania mechanizmu ciernego zaczęto produkować prasy z bezpośrednim napędem elektrycznym, nazywane dalej prasami elektrośrubowymi.

### 3.4.2. Prasy elektrośrubowe

Koło zamachowe prasy elektrośrubowej może być napędzane bezpośrednio siłami wywołanymi przez wirujące pole elektromagnetyczne stojana. Koło zamachowe stanowi przy tym często wirnik asynchronicznego silnika elektrycznego.

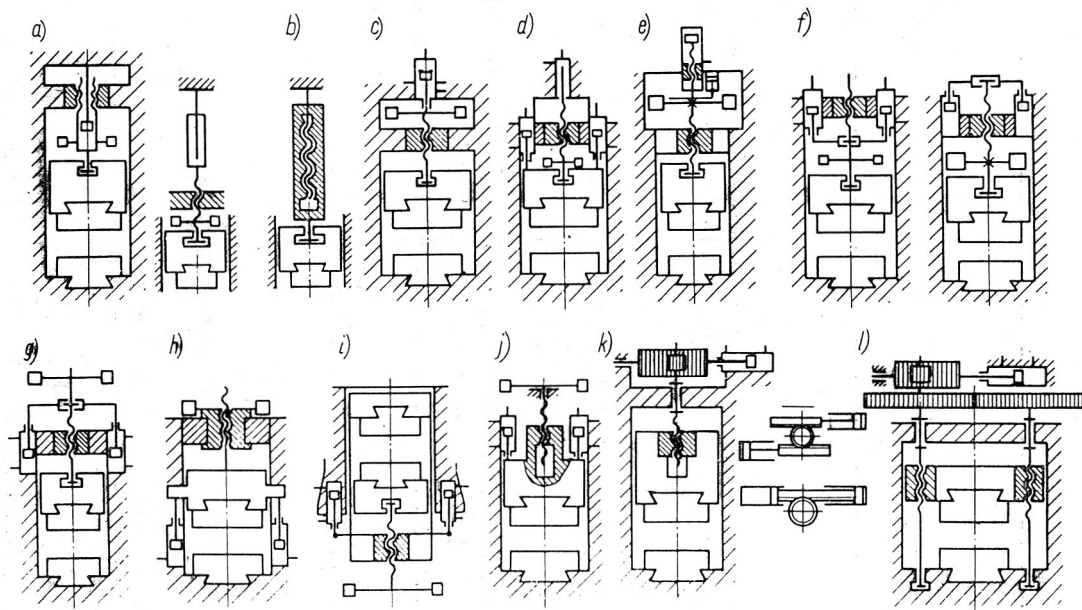
W prasach elektrośrubowych z napędem reduktorowym obrót koła zamachowego jest wywołany przez jeden lub kilka silników asynchronicznych za pośrednictwem przekładni zębatej. Na rysunku 3.10 przedstawiono schematy konstrukcyjne pras elektrośrubowych.



Rys. 3.10. Schematy pras elektrośrubowych: a-e - prasy ze stojanem kołowym, f - ze stojanem łukowym, g-h - o napędzie elektromechanicznym; 1 - stojan, 2 - wirnik - koło zamachowe, 3 - śruba, 4 - nakrętka, 5 - suwak, 6 - silnik elektryczny, 7 - przekładnia zębata [1]

### 3.4.3. Prasy śrubowe hydrauliczne

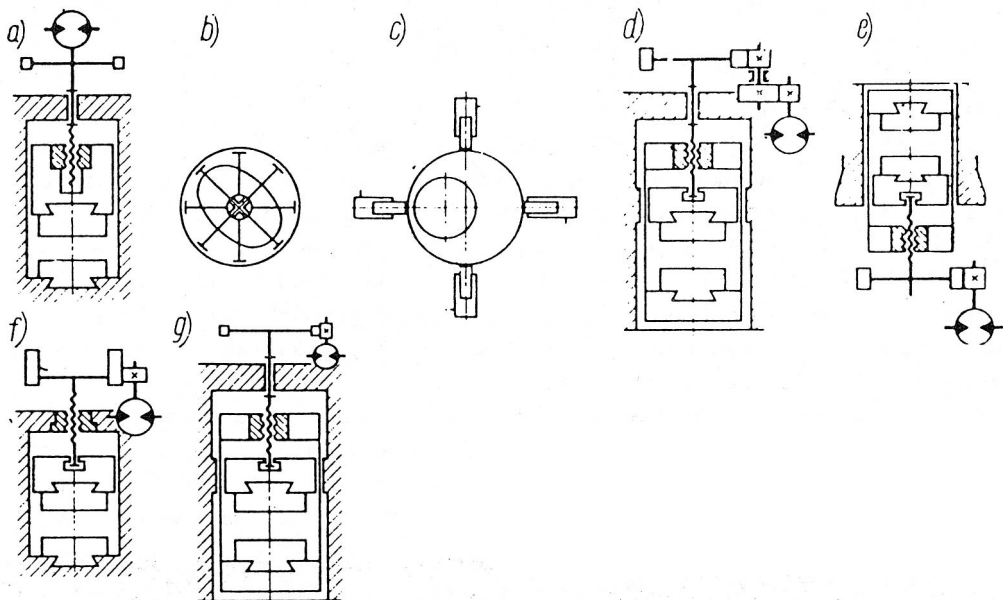
Mechanizm śrubowy pras z napędem hydraulicznym wprowadzany jest w ruch przez cylinder lub silnik hydrauliczny. Rozwiązania konstrukcyjne napędu pras śrubowych za pomocą cylindra o ruchu śrubowym pokazano na rys. 3.11 a,b,c,d,e. Prasy z cylindrami hydraulicznymi wykonującymi ruch postępowy pokazano na rys. 3.11 f,g. W rozważanym przypadku cylinder działa na śrubę. Cylinder działający na suwak przedstawiono na rys.



Rys. 3.11. Schematy pras śrubowych napędzanych cylindrami hydraulicznymi: a-e - ruchu śrubowego, f-l - ruchu potęgowego [1]

3.11 i, j. Cylinder hydrauliczny może również oddziaływać na śrubę za pośrednictwem zębátky i koła zębatego (rys. 3.11 k, l). Napęd zębatkowy nie sprawdził się w eksploatacji.

Spotyka się także rozwiązania, w których śruba prasy jest napędzana bezpośrednio od silnika hydraulicznego (rys. 3.12 a-c) lub przez przekładnię zębatą (rys. 3.12 d-g).



Rys. 3.12. Schematy pras śrubowych napędzanych silnikami hydraulicznymi [1]

### 3.5. Porównanie układów napędowych i konstrukcyjnych

Przedmiotem porównania są dwa rozwiązania. W pierwszym z nich układ napędowy oddziałuje na śrubę siłą  $P_1$ , a w drugim momentem  $M_2$ . Tak więc

$$W_1 = P_1 s, \quad (3.11)$$

$$W_2 = M_2 \varphi, \quad (3.12)$$

gdzie:  $W_1, W_2$  - praca użyteczna,  
 $s$  - przemieszczenie śruby,  
 $\varphi$  - kąt obrotu.

Siła przyłożona do śruby wywołuje moment skręcający

$$M_1 = P_1 \frac{d}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho). \quad (3.13)$$

Po podstawieniu do (3.11)  $s = (h/2\pi)\rho$  i siły  $P_1$  określonej ze wzoru (3.13) otrzymamy

$$W_1 = \frac{2M_1 h}{d \operatorname{tg}(\alpha + \rho) 2\pi} P. \quad (3.14)$$

Z porównania wartości pracy użytecznej obu rozwiązań wynika

$$M_1 = M_2 \frac{\pi d}{h} \operatorname{tg}(\alpha + \rho) \quad (3.15)$$

i dalej

$$M_1 = M_2 \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \rho)}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.16)$$

gdzie:  $\operatorname{tg} \alpha = h/\pi d$ .

Oznacza to, że moment skręcający  $M_1$ , wywołany siłą  $P_1$  działającą w osi śruby powinien być  $\operatorname{tg}(\alpha + \rho)/\operatorname{tg} \alpha$  razy większy niż moment skręcający  $M_2$ . Z tego też powodu śruby pras ciężkich powinny być napędzane momentem działającym na śrubę lub koło zamachowe.

W ciężkich prasach nie stosuje się również napędu ciernego ani napędu elektrycznego bezpośrednio od silnika. W prasach tych celowe jest stosowanie oddzielnych silników elektrycznych przekazujących napęd na koło zamachowe za pomocą przekładni zębatej.

Najbardziej racjonalną drogą rozwoju ciężkich pras śrubowych jest połączenie zalet napędu elektrycznego i hydraulicznego, to znaczy zastosowanie wysokoobrotowych silników elektrycznych i wysokoobrotowych pomp hydraulicznych. Pompy te powinny współpracować z akumulatorami hydraulicznymi.

Ze szczegółowych porównań wynika, że rozwiązanie konstrukcyjne prasy, w której śruba wykonuje tylko ruch obrotowy jest gorsze od rozwiązania, w którym śruba i koło zamachowe wykonują ruch śrubowy [1]. Dla przykładu, energia sprężystego odkształcenia kąтового korpusu i śruby wykonującej tylko ruch obrotowy jest dwukrotnie większa od energii rozwiązania konstrukcyjnego, w którym śruba wykonuje ruch śrubowy. Prasa o obrotowym ruchu śruby zużywa od 15% do 20% więcej energii niż podobna prasa o śrubowym ruchu śruby. Reakcje w prowadnicach oraz praca tarcia jest 5,5-krotnie większa w pierwszym z wymienionych rozwiązań, a zredukowane naprężenia w śrubie są większe o 46%.

### Literatura do rozdziału 3

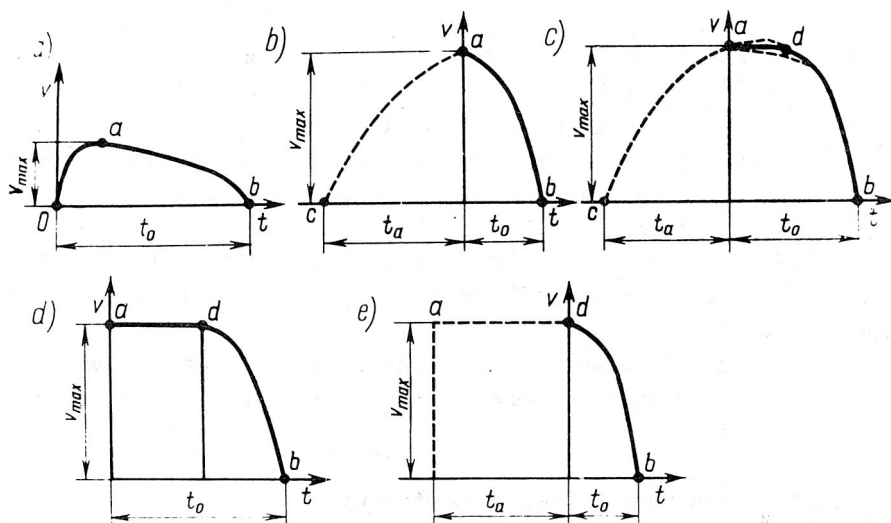
1. BOCZAROW J. A., Prasy śrubowe, Warszawa, WNT, 1980.
2. GOLATOWSKI T., Prasy mechaniczne - konstrukcja, eksploatacja i modernizacja, Warszawa, WNT, 1970.



#### 4. MASZyny Z NAPĘDEM HYDRAULICZNYM

##### 4.1. Podstawowe cechy i klasyfikacja napędów hydraulicznych

Do niedawna uważano, że napęd hydrauliczny jest napędem stosowanym w maszynach o działaniu wybitnie statycznym. Obecnie napęd hydrauliczny stosuje się w różnego rodzaju prasach, prasomłotach i młotach. Dawniej uważano, że prasa hydrauliczna nie nadaje się np. do wykrawania, a jeżeli już, to do wykrawania gumy. Dziś można natomiast spotkać wysokowydajne prasy hydrauliczne do wykrawania, pozbawione drgań wywołanych gwałtownym spadkiem ciśnienia w układzie hydraulicznym. Na rysunku 4.1 pokazano przebiegi prędkości ruchomych części maszyn z napędem hydraulicznym.



Rys. 4.1. Przebiegi prędkości ruchomych części maszyn z napędem hydraulicznym: a - prasy, b - młota, c - prasomłota, d - prasy impulsowej, e - młota impulsowego [1]

Prędkość ruchu roboczego prasy hydraulicznej zmienia się według krzywej pokazanej na rys. 4.1a, której charakter zależy od rodzaju napędu i rodzaju wykonywanej operacji technologicznej (kucie, wyciskanie

itp.). Prędkość maksymalna  $v_{\max}$  wynosi od kilku mm/s do 0,3 m/s. Czas odkształcania  $t_o$  trwa od kilkadziesiątych sekundy do kilku sekund.

Części ruchome młota hydraulicznego obustronnego działania zostają przyspieszane w czasie  $t_a$  (rys. 4.1b) od prędkości zerowej (punkt c) do prędkości  $v_{\max}$  wynoszącej około 1-3 m/s. Podczas przyspieszania zostaje nagromadzona energia kinetyczna niezbędna do odkształcenia obrabianego przedmiotu. Podawanie cieczy wysokiego ciśnienia zostaje wstrzymane podczas odkształcania, które rozpoczyna się przy prędkości maksymalnej (punkt a). Zmiany prędkości od punktu a do b zależą wyłącznie od rodzaju operacji technologicznej. Czasy  $t_a$  i  $t_o$  stanowią dziesiąte i setne części sekundy. Ciecz wysokiego ciśnienia jest pobierana podczas przyspieszania i powrotu bijaka do góry.

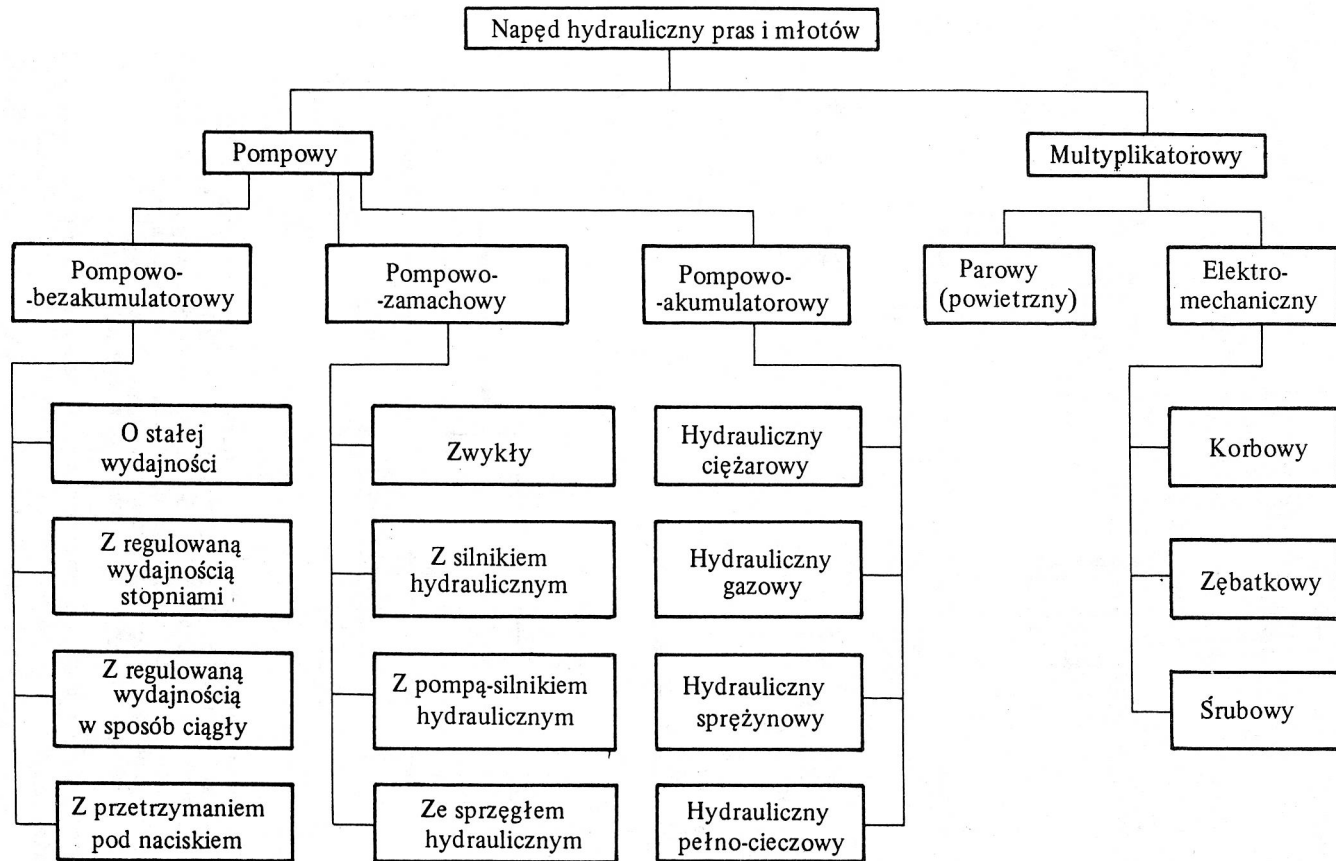
W prasomłotach (rys. 4.1c) ciśnienie cieczy powoduje nie tylko przyspieszenie części ruchomych od punktu c do a, ale odgrywa również istotną rolę podczas samego kształtowania materiału. W zależności od stosunku nacisku maszyny do oporu plastycznego kształtowania materiału, prędkość ruchu może przekroczyć  $v_{\max}$  osiąganą w punkcie a. Czas przyspieszania  $t_a$  i odkształcania  $t_o$  są równe dziesiątym częściom sekundy. Ciecz wysokiego ciśnienia jest pobierana podczas przyspieszania, odkształcania i powrotu.

W impulsowych maszynach hydraulicznych odkształcanie plastyczne materiału zachodzi w wyniku uderzeń hydraulicznych. Prędkość nurnika prasy impulsowej jest stała na odcinku ad (rys. 4.1d) i następnie maleje do zera (punkt b). Ciecz wysokiego ciśnienia jest pobierana dla wywołania impulsu uderzenia hydraulicznego. Ruchome części młota impulsowego osiągają natomiast praktycznie natychmiastowo prędkość  $v_{\max}$  dochodzącą do 20 m/s (rys. 4.1e). Ciecz wysokiego ciśnienia jest pobierana dla wywołania impulsu i napełniania układu w czasie przyspieszania i odkształcania.

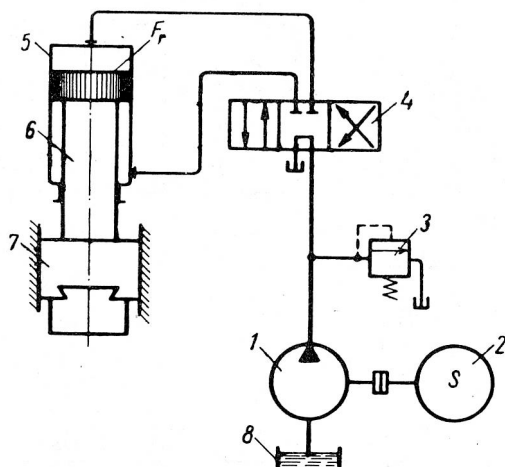
Na rysunku 4.2 przedstawiono klasyfikację napędu hydraulicznego. W dalszej części rozdziału omówiono niektóre z wyszczególnionych na rys. 4.2 napędów.

#### 4.1.1. Napęd pompowo-bezakupulatorowy

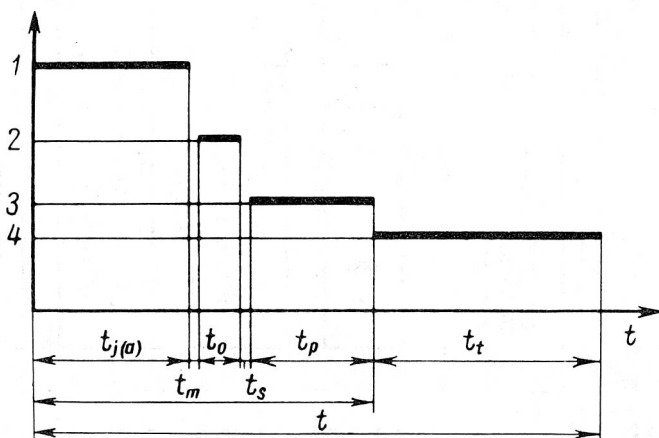
Schemat napędu pompowo-bezakupulatorowego o stałej wydajności pokazano na rys. 4.3. Stosowanie napędu pompowego o stałej wydajności jest celowe tylko wtedy, kiedy czas odkształcania  $t_o$  jest zbliżony do czasu pełnego cyklu  $t$  (rys. 4.4). Zachodzi to przy długim czasie  $t_o$  lub krótkich czasach skoku jałowego  $t_j$  i skoku powrotnego  $t_p$ . Omawiany napęd powinien być stosowany w prasach przeznaczonych do wyciskania lub głębokiego tłoczenia. Jałową pracę pompy w okresie przerwy tech-



Rys. 4.2. Klasyfikacja napędu hydraulicznego pras i młotów [1]



Rys. 4.3. Schemat napędu pompowo-bezakumulatorowego o stałej wydajności: 1 - pompa o stałej wydajności, 2 - silnik elektryczny, 3 - samoczynny wyłącznik ciśnienia, 4 - rozdzielacz suwakowy, 5 - cylinder roboczy, 6 - tłoczek, 7 - poprzeczka ruchoma z narzędziem, 8 - zbiornik zasila-  
jący [1]

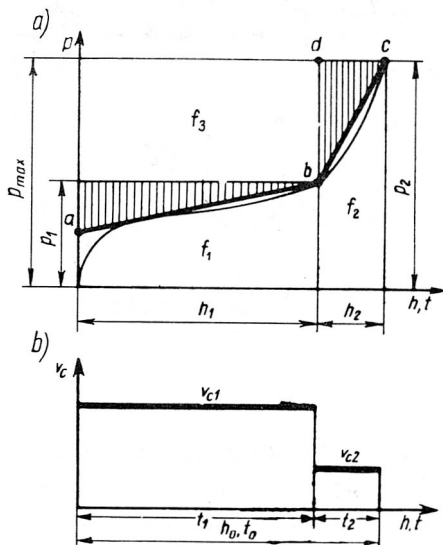


Rys. 4.4. Harmonogram pracy pras i młotów hydraulicznych: 1 - skok jałowy, 2 - skok roboczy (kształtowanie materiału), 3 - skok powrotny, 4 - przerwa technologiczna,  $t_j(a)$  - czas ruchu jałowego lub przyspieszania,  $t_0$  - czas kształtowania przedmiotu,  $t_p$  - czas ruchu powrotnego,  $t_s$  - czasy na przełączenie urządzeń sterujących,  $t_m$  - czas pracy maszyny (czas maszynowy),  $t_t$  - czas przerwy technologicznej [1]

nologicznej można uzyskać np. przez zastosowanie samoczynnego wyłącznika ciśnienia.

#### 4.1.2. Napęd pompowo-bezakumulatorowy ze stopniowo regulowaną wydajnością

Zastosowanie pomp z wieloma stopniami wydajności pozwala na lepsze wykorzystanie zainstalowanej mocy silnika i pompy w czasie ruchu roboczego. Wykres ciśnienia w pompie oraz prędkości tłoka prasy z pompą dwustopniową pokazano na rys. 4.5, natomiast schemat napędu na rys. 4.6.



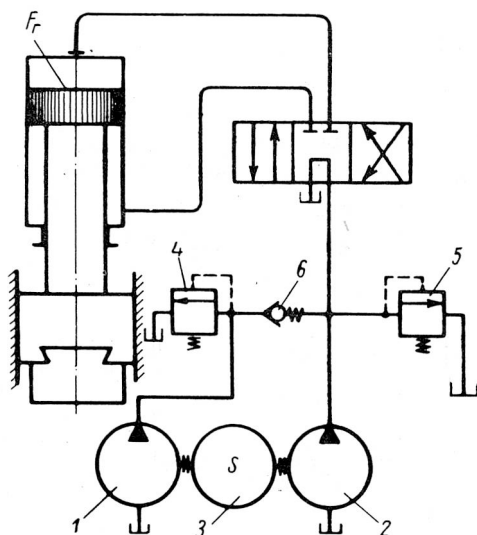
Rys. 4.5. Wykres ciśnienia w pompie oraz prędkości ruchu tłoka prasy podczas kucia matrycowego, a - ciśnienie w funkcji skoku i czasu, b - prędkość w funkcji skoku i czasu [1]

Obie pompy 1 i 2 są napędzane jednym silnikiem 3 i na początku wytwarzają ciśnienie powodujące przemieszczanie tłoka z prędkością  $v_1$  wynikającą z sumy wydajności  $Q_1$  i  $Q_2$  obu pomp

$$v_1 = \frac{Q_1 + Q_2}{F_r}, \quad (4.1)$$

gdzie:  $F_r$  - powierzchnia poprzecznego przekroju nurnika lub tłoka.

Po osiągnięciu przewidzianego ciśnienia pompa 1 zostaje przełączona na przelew za pomocą samoczynnego wyłącznika ciśnienia 4. Pompa 2 kontynuuje pracę, gdyż jej samoczynny wyłącznik 5 jest nastawiony na wyższe ciśnienie. Zawór zwrotny 6, oddzielający rurociągi obu pomp, umożliwia pracę drugiej pompy po przełączeniu pierwszej na bieg jałowy. Prędkość ruchu tłoka w drugim okresie pracy wynosi



Rys. 4.6. Schemat napędu pompowo-bezakumulatorowego z dwoma stopniami wydajności [1]

$$v_2 = \frac{Q_2}{F_r}. \quad (4.2)$$

Zastosowanie wielostopniowych pomp umożliwia jeszcze większe zbliżenie wykresu ciśnienia w pompach do wykresu ciśnienia w cylindrze prasy, odpowiadającego wykresowi siły określonego procesu technologicznego. Pompy wielostopniowe stosuje się w prasach specjalnych, to jest przystosowanych głównie np. do produkcji wyrobów giętych lub kutych. Wynika to ze specyfiki przebiegu siły w funkcji odkształcenia (rys. 4.5).

#### 4.1.3. Napęd pompowo-bezakumulatorowy z bezstopniową regulacją wydajności

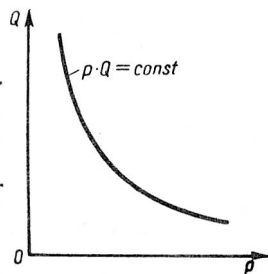
Napęd pompowy, zapewniający stałość mocy podczas całego ruchu odkształcania, daje pełne wykorzystanie zainstalowanej mocy. Stopień doskonałości takiego napędu może być oceniany przez porównanie z napędem idealnym. Zależność wydajności od ciśnienia dla pompy doskonałej pokazano na rys. 4.7. Pompa doskonała spełnia warunek  $pQ = \text{const}$ . Przybliżenie charakterystyki określonej pompy do charakterystyki pompy doskonałej zależy od sposobu regulowania wydajności pompy w zależności od ciśnienia.

Do samoczynnej regulacji ciśnienia rotacyjnego pomp tłoczkowych stosuje się między innymi mechanizmy ze sprężynami lub mechanizmy kopiu-

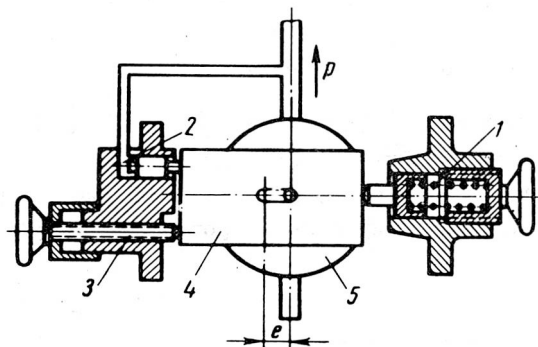
jące. Na rysunku 4.8 pokazano schemat regulacji wydajności pompy za pomocą jednej sprężyny.

Sprężyna 1 dociska mechanizm 4 zmiany skoku pompy do śruby nastawczej 3. Przy ustawieniu pokazanym na rys. 4.8 pompa osiąga maksymalną wydajność. Przy wzroście ciśnienia  $p$  do wartości, przy której siła działająca na tłok cylindra pomocniczego 2 przekroczy wartość siły  $P_s$  wywieranej przez sprężynę, kadłub mechanizmu 4 przesunie się w prawo. Zmniejsza się przez to wartość mimośrodów  $e$  (wartość skoku pompy) i wydajność pompy maleje.

Napęd z regulacją wydajności nie jest zalecany do szybkobieżnych pras i do wykonywania operacji o krótkich skokach roboczych. Gwałtowna zmiana mimośrodowości  $e$  wywołuje bowiem drgania mechanizmu i zakłócenia w pracy maszyny.



Rys. 4.7. Zależność wydajności od ciśnienia dla pompy doskonałej [1]

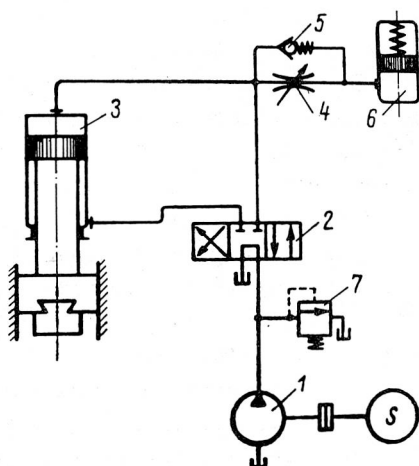


Rys. 4.8. Schemat regulacji wydajności pompy za pomocą jednej sprężyny: 1 - sprężyna, 2 - cylinder pomocniczy, 3 - śruba nastawcza, 4 - mechanizm zmiany skoku, 5 - kadłub pompy,  $e$  - wielkość mimośrodu [1]

#### 4.1.4. Napęd pompowy z przetrzymaniem pod naciskiem

Napęd umożliwiający przetrzymanie pod naciskiem jest stosowany do prasowania termoutwardzalnych tworzyw sztucznych i różnych polimerów. Schemat jednego z takich napędów pokazano na rys. 4.9.

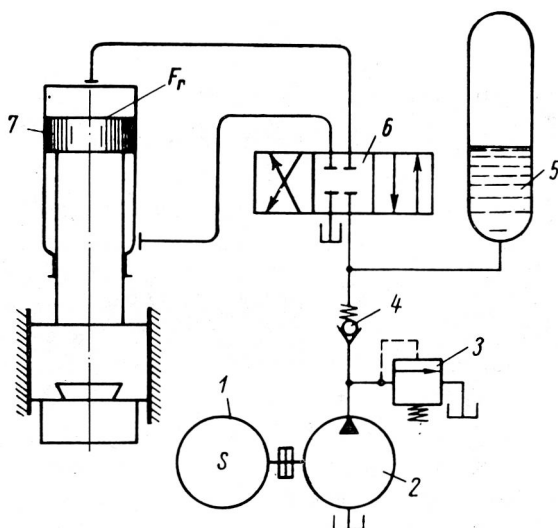
W miarę zwiększania oporów prasowania wzrasta ciśnienie cieczy w cylindrze 3, aż do wartości maksymalnej. Z tą chwilą pompa 1 podaje ciecz jednocześnie do cylindra roboczego 3 i mikroakumulatora 6 przez zawór zwrotny 5. Zatrzymanie pompy na początku okresu przetrzymywania powoduje przepływ cieczy z akumulatora przez dławik 4 do cylindra roboczego.



Rys. 4.9. Schemat napędu prasy z przetrzymywaniem pod naciskiem [1]

#### 4.1.5. Napęd pompowo-akumulatorowy

Na rysunku 4.10 pokazano schemat napędu pompowo-akumulatorowego. Akumulator hydrauliczny 5 służy do gromadzenia cieczy wysokiego ciśnienia w okresie przerw w pracy oraz, gdy zapotrzebowanie cylindra hydraulicznego 7 jest mniejsze od wydajności pompy 2. W okresach zwiększone-



Rys. 4.10. Schemat napędu pompowo-akumulatorowego [1]



go zapotrzebowania na ciecz wysokiego ciśnienia cylinder 7 jest zasilany jednocześnie przez pompę i akumulator. Pobór cieczy z akumulatora jest zazwyczaj znacznie większy niż wydajność pompy. Zwiększone zapotrzebowanie na ciecz wysokiego ciśnienia występuje podczas roboczego i powrotnego ruchu prasy oraz podczas przyspieszania i powrotu tłoczyska prasy. Rozładowaniu akumulatora przez zawór przelewowy 3 zapobiega zawór zwrotny 4.

Napęd pompowo-akumulatorowy zaleca się do maszyn wykonujących procesy technologiczne charakteryzujące się nieznacznymi zmianami nacisków podczas odkształcania.

Na rysunku 4.11 przedstawiono schematy akumulatorów hydraulicznych stosowanych w napędach indywidualnych. Najprostszym jest akumulator hydrauliczny gazowy beztłokowy (rys. 4.11a). Gaz może rozpuszczać się w cieczy. Jeżeli cieczą jest emulsja, to czynnikiem sprężystym powinno być powietrze. Azot stosuje się w przypadku cieczy roboczej w postaci oleju mineralnego, ponieważ powietrze z olejami tworzy mieszaninę wybuchową.

Akumulatory tłokowe i przeponowe, w przeciwieństwie do akumulatora hydraulicznego pokazanego na rys. 4.11a, nie stwarzają możliwości przedostania się gazu do przewodów hydraulicznych i są bezpieczniejsze. W prasach produkcji krajowej stosuje się rozwiązanie przedstawione na rys. 4.11e.

#### 4.1.6. Napęd multiplikatorowy

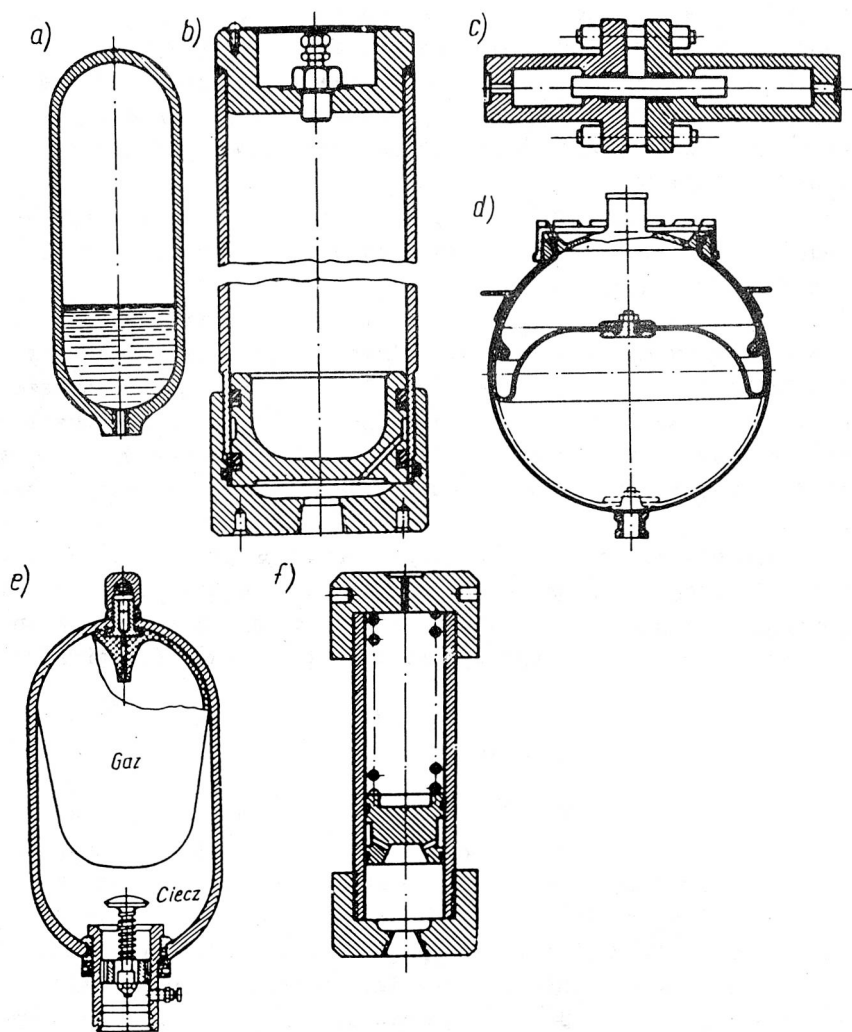
Multiplikator hydrauliczny stanowi urządzenie pozwalające zwiększać ciśnienie cieczy doprowadzanej do cylindra roboczego maszyny.

Schemat napędu multiplikatorowego pokazano na rys. 4.12. Ciecz roboczą przetłacza się do cylindra roboczego za pośrednictwem tłoka multiplikatora parowego, powietrznego lub mechanicznego. Tłok multiplikatora ma większą powierzchnię niż nurnik 3 multiplikatora. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie zwiększonego ciśnienia w cylindrze roboczym prasy. Długi skok roboczy suwaka prasy wymaga kilku skoków multiplikatora. Skok jałowy suwaka prasy odbywa się przeważnie pod działaniem urządzenia zalewowego. Ciśnienie cieczy na wyjściu z multiplikatora można określić z zależności

$$p_2 = p_1 \left( \frac{D_m}{d_m} \right)^2, \quad (4.3)$$

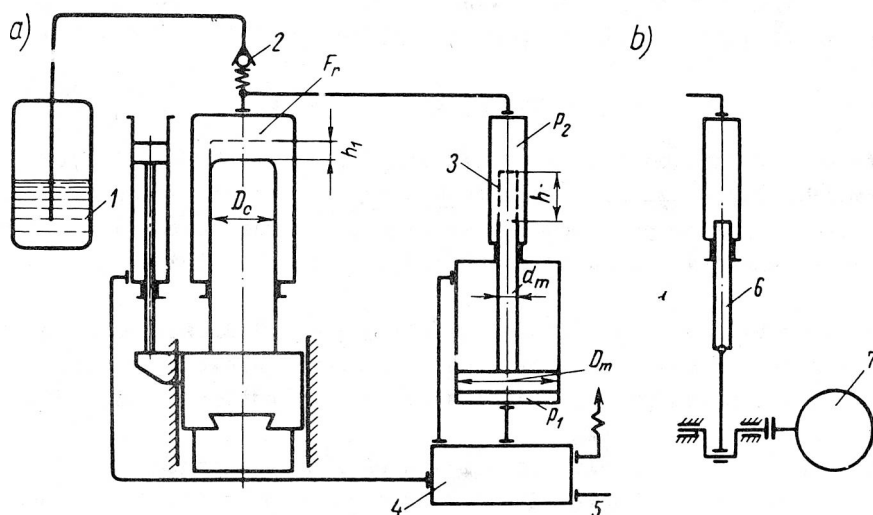
a skok nurnika prasy z zależności

$$h_1 = h \left( \frac{d_m}{D_c} \right)^2, \quad (4.4)$$

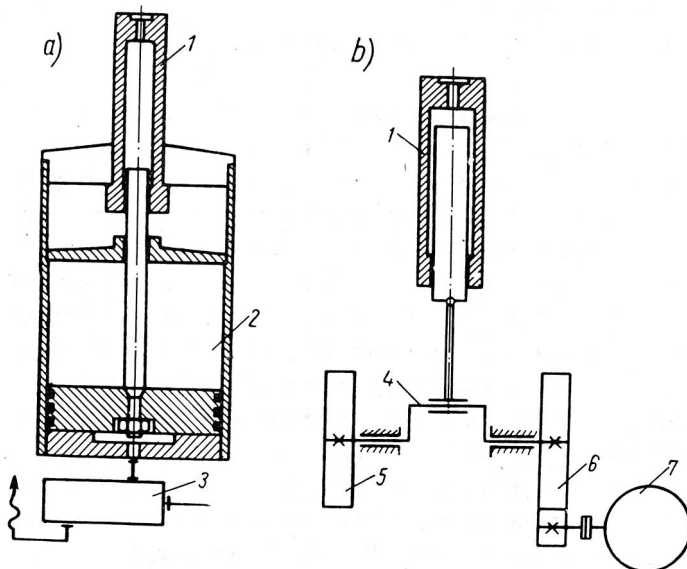


Rys. 4.11. Schematy akumulatorów hydraulicznych stosowanych w napędach indywidualnych: a) gazowy - bez oddzielania cieczy i gazu, b) gazowy z tłokiem oddzielającym ciecz od gazu, c) z oddzielnym zbiornikiem cieczy i gazu, d) gazowy z przeponą, e) gazowy z pęcherzem gumowym, f) sprężynowy z ruchomym tłokiem [1]

gdzie:  $D_m$  - średnica tłoka multiplikatora,  
 $d_m$  - średnica nurnika multiplikatora,  
 $h_1$  - przesunięcie nurnika cylindra roboczego prasy,  
 $h$  - skok nurnika multiplikatora,  
 $D_c$  - średnica nurnika roboczego prasy.



Rys. 4.12. Schemat napędu multiplikatorowego: a - powietrzno- lub parowo-hydrauliczny, b - mechaniczno-korbowy; 1 - zbiornik zalewowy, 2 - zawór zalewowy, 3 - multiplikator, 4 - rozdzielacz powietrzny lub parowy, 5 - rurociąg powietrzny lub pasowy, 6 - multiplikator mechaniczny (korbowy), 7 - silnik elektryczny [1]



Rys. 4.13. Schematy multiplikatorów: a - powietrzno-hydrauliczny, b - mechaniczno-korbowy, 1 - cylinder hydrauliczny, 2 - cylinder powietrzny, 3 - rozdzielacz powietrza, 4 - wał korbowy, 5 - koło zamachowe, 6 - przekładnia, 7 - silnik elektryczny [1]

Multiplikatory parowo-hydrauliczne (rys. 4.13a) stosuje się w prasach kuźniczych starszej konstrukcji. Ostatnio coraz powszechniejsze zastosowanie znajdują multiplikatory z napędem mechanicznym (rys. 4.13b).

#### 4.2. Schematy konstrukcyjne

Maszyny z napędem hydraulicznym można podzielić według kryteriów stosowanych przy podziale pozostałych maszyn do obróbki plastycznej. Najogólniej można je pogrupować w zależności od kierunku działania siły i rozróżnić maszyny hydrauliczne pionowe, poziome i złożone (np. skośne).

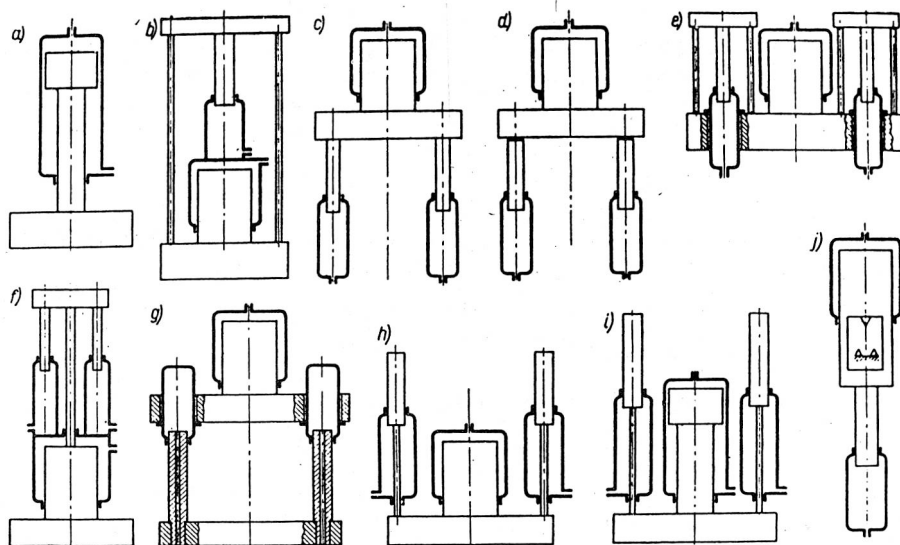
Maszyny hydrauliczne pionowe dzieli się w zależności od położenia cylindra głównego na: dolnocylindrowe, górnocylindrowe i przeciwbieżne. Dalszy podział można przeprowadzić w zależności od liczby cylindrów głównych i budowy kadłuba.

Maszyny poziome dzieli się w zależności od wzajemnego położenia osi cylindrów głównych na: jednokierunkowe jednostronne, dwukierunkowe dwustronne i wielokierunkowe oraz w zależności od liczby cylindrów i budowy kadłuba.

Maszyny złożone dzieli się w zależności od położenia osi cylindrów głównych na pionowo-poziome oraz pionowo-poziomo-skośne. Pozostałe kryteria podziału są takie same, jak dla maszyn pionowych i złożonych.

Każda z wymienionych grup maszyn może być wyposażona w cylindry pomocnicze o różnorodnym przeznaczeniu (powrotne, ułatwiające zalanie cylindra głównego, wypychacze, zrywacze, przesuwacze, podnośniki itp.).

Na rysunku 4.14 pokazano schematy układów cylindrów pras hydraulicznych pionowych górnocylindrowych. Rozwiązanie pokazane na rys. 4.14a utrudnia kontrolę stanu uszczelnienia i jego wymianę. Przy zużytym uszczelnieniu mogą zachodzić niewidoczne, wewnętrzne przecieki cieczy z jednej strony tłoka na drugą. Układ (rys. 4.14b) wymaga zastosowania górnej poprzeczki i dwóch ciągów łączących je z poprzeczką prasy. Uniesienie poprzeczki prasy w czasie powrotu odbywa się za pomocą cylindra pomocniczego, który znajduje się nad cylindrem głównym. Rysunek 4.14c i d ilustruje sposób unoszenia poprzeczki prasy za pomocą symetrycznie rozłożonych dolnych nurników powrotnych związanych z poprzeczką (rys. 4.14c) lub od niej oddzielonych (rys. 4.14d). Układ pokazany na rys. 4.14e ilustruje nurniki powrotne połączone z poprzeczką prasy przez ciąga i poprzeczkę górną. Powiązanie nurników powrotnych z nurnikiem głównym zilustrowano na rys. 4.14f. Układ z rysunku 4.14g ma nieruchome dwa dolne boczne nurniki powrotne. Ciecz jest doprowadzana przez wydrążone nurniki do ruchomych cylindrów powrotnych. Wadą układu pokazanego na rys. 4.14h jest zwiększona liczba uszczelnień nurników. Rozwią-



Rys. 4.14. Schematy układu cylindrów pionowych pras hydraulicznych gór-  
nocylindrowych [2]

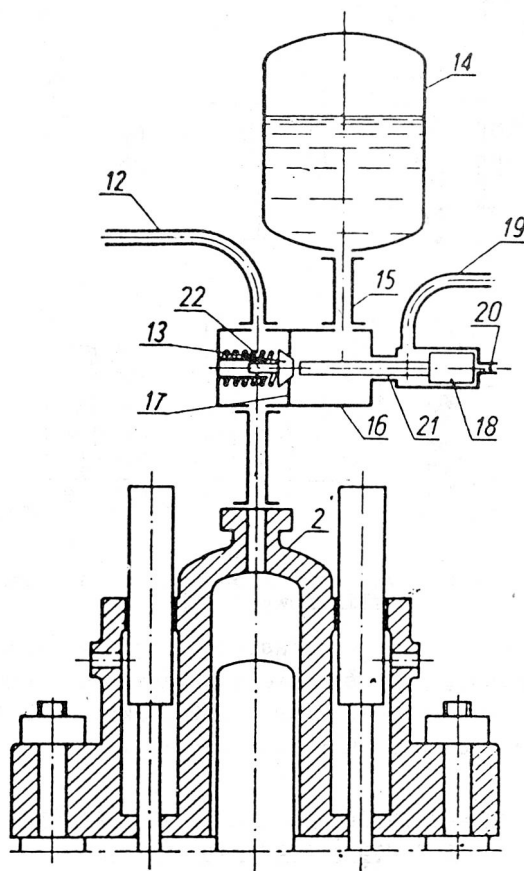
zanie z rys. 4.14i stosuje się wówczas, gdy jest wymagana duża siła po-  
wrotu. Prostą konstrukcję bezpośredniego połączenia nurników powrotnego  
i głównego ilustruje rys. 4.14j. Rozwiązanie takie stosuje się w łama-  
czach hydraulicznych stosowanych w kuźnictwie.

#### 4.3. Ważniejsze podzespoły usprawniające działanie maszyn z napędem hydraulicznym

##### 4.3.1. Urządzenie zalewowe

Urządzenia zalewowe stosuje się do napełniania cylindra głównego  
prasy cieczą o niskim ciśnieniu. Umożliwiają one zaoszczędzenie cieczy  
wysokiego ciśnienia podczas jałowego ruchu nurnika głównego. Ciecz o wy-  
sokim ciśnieniu jest podawana dopiero w czasie ruchu roboczego.

Przykład urządzenia zalewowego pokazano schematycznie na rys. 4.15.  
Jest to urządzenie współpracujące ze zbiornikiem hydroforowym. Urządze-  
nie zalewowe jest umieszczone nad cylindrem głównym 2 prasy. Zawór zale-  
wowy 13 jest wbudowany w kadłub 16 urządzenia zalewowego, ścianka 17  
rozdziela kadłub 16 na dwie części, przy czym w ścianie 17 znajduje się  
gniazdo zaworu zalewowego. Jedna z części kadłuba jest połączona za po-  
mocą rury 15 ze zbiornikiem zalewowym 14, a druga część kadłuba, z prze-  
wodem 12 wysokiego ciśnienia. Na mniejszą powierzchnię tłoczka 18 (od  
strony popychacza 21) działa stale ciecz o wysokim ciśnieniu, dochodzą-



Rys. 4.15. Schemat urządzenia zalewowego pionowej prasy hydraulicznej [2]

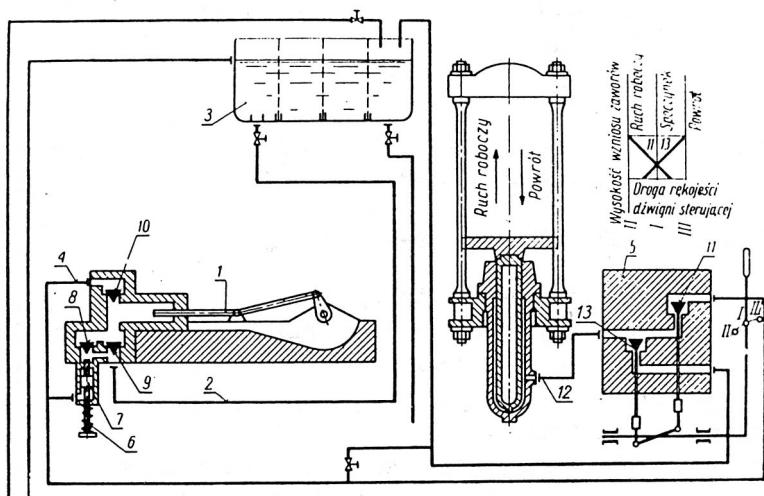
ca przewodem 19. Na większą powierzchnię tłoczka 18 może okresowo dochodzić przewodem 20 ciecz o wysokim ciśnieniu. Dochodząca przewodem 20 ciecz o wysokim ciśnieniu utrzymuje zawór zalewowy w stanie otwartym. Odcięcie dopływu cieczy wysokiego ciśnienia przez przewód 20 powoduje wycofanie popychacza 21 pod wpływem cieczy wysokiego ciśnienia, dochodzącej stale przewodem 19. Zawór zalewowy zamyka się pod działaniem sprężyny 22. W ten sposób zostaje przerwane połączenie zbiornika zalewowego z cylindrem głównym.

Otwarcie zaworu zalewowego podczas ruchu jałowego następuje na skutek różnicy ciśnień panujących po obu stronach grzybka 13. Różnica ta jest wywołana ciśnieniem cieczy w zbiorniku zalewowym oraz podciśnie-

nieniem panującym w cylindrze głównym. Podciśnienie to wywołuje opadający nurnik cylindra głównego.

#### 4.3.2. Samoczynny wyłącznik ciśnienia

Ciśnienie cieczy potrzebne do wykonania pracy przez prasę hydrauliczną napędzaną bezpośrednio od pompy powstaje w pompie dopiero w czasie pokonywania oporów plastycznego kształtowania materiału. Osiągnięcie potrzebnego ciśnienia wymaga czasu, w wyniku czego prasy z napędem od pompy pracują zbyt wolno. Zwiększenie szybkobieżności prasy można osiągnąć przez zastosowanie bardziej wydajnej pompy i większego silnika elektrycznego. Rozwiązanie takie prowadzi jednak do nadmiernego zużycia energii, szczególnie w czasie długich postojów prasy. Aby zapobiec tym stratom, stosuje się urządzenia do samoczynnego przełączania pompy na bieg jałowy, następuje to w chwili, gdy prasa przestaje pobierać ciecz.

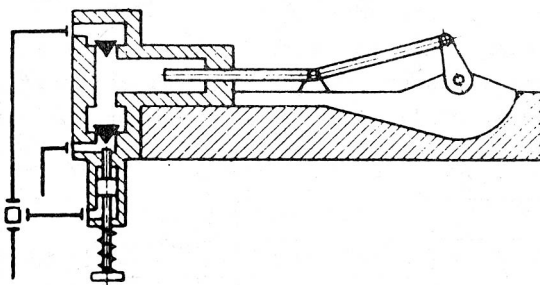


Rys. 4.16. Schemat bezpośredniego napędu prasy hydraulicznej dolnonurnikowej za pomocą pompy z samoczynnym wyłącznikiem [2]

Na rysunku 4.16 pokazano schemat napędu prasy hydraulicznej dolnonurnikowej za pomocą pompy z samoczynnym wyłącznikiem (wyłącznikiem ciśnienia). W czasie pracy pompy 1 ciecz jest zasysana ze zbiornika 3 przewodem 2 i przez otwarte zawory 11 i 13 przepływa do zbiornika zasilającego. Zamknięcie zaworu 11 powoduje wzrost ciśnienia w przewodzie tłocznym 4 i po przekroczeniu ciśnienia roboczego następuje samoczynne pokonanie siły sprężyny 6 przez nacisk cieczy na tłoczek 7. Następuje uniesienie grzybka zaworu wyłączającego 8. Ciecz ssana przez zawór ssawny 9 zostaje przetłaczana z powrotem do komory ssawnej pompy, przy czym nad

zaworem tłocznym 10 panuje nadal wysokie ciśnienie. Pompa pracuje na biegu jałowym. Po otwarciu zaworu 11 ciecz przedostaje się przewodem 12 do cylindra głównego na skutek czego następuje spadek ciśnienia w przewodzie 4 i tłoczek 7 wraca do pierwotnego położenia pod wpływem sprężyny 6. Ciśnienie wzrasta aż do wysokości odpowiadającej wartości oporów prasy, lecz nie większej od wartości ciśnienia, na które jest nastawiona sprężyna 6.

Zamiast specjalnego zaworu wyłączającego 8 (rys. 4.16) stosuje się również bezpośrednie podnoszenie zaworu ssawnego (rys. 4.17), co daje podobny skutek do wcześniej opisanego.



Rys. 4.17. Schemat pompy z samoczynnym wyłącznikiem przez unoszenie zaworu ssawnego [2]

#### 4.3.3. Zbiornik hydrauliczno-powietrzny

Zbiornik hydrauliczno-powietrzny (hydrofor) stosuje się jako urządzenie chwilowo akumulujące ciecz pod ciśnieniem (butle akumulatorów hydrauliczno-powietrznych i zbiorniki zalewowe) lub jako urządzenie amortyzujące uderzenia hydrauliczne w rurociągach (powietrzniki, amortyzatory hydrauliczno-powietrzne).

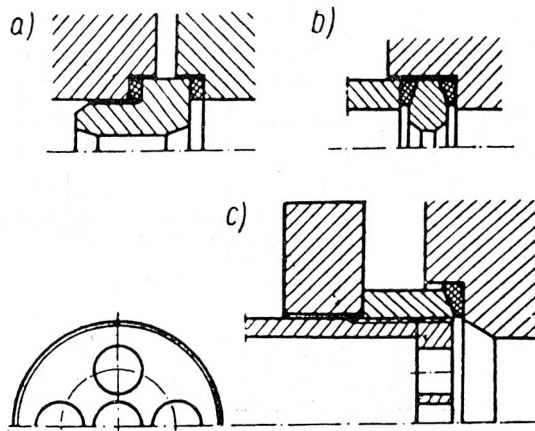
Rozprężanie powietrza znajdującego się w zbiorniku powoduje wypychanie cieczy ze zbiornika do miejsca o niższym ciśnieniu, a sprężanie powietrza dzięki dużej ściśliwości łagodzi uderzenia i nie dopuszcza do nadmiernego wzrostu ciśnienia.

#### 4.3.4. Urządzenia dławiące

Urządzenia dławiące służą do zmniejszenia uderzeń hydraulicznych w rurociągach, regulowania ciśnienia cieczy obiegowej (zmiana wielkości nacisku prasy) oraz regulowania ilości cieczy przepływającej (zmiana prędkości ruchu prasy).

Najprostszym urządzeniem dławiącym są przesłony, takie jak: korek dławiący (rys. 4.18a), wbudowany między kołnierzem przewodów, pierścien





Rys. 4.18. Przesłony dławiące [2]

dławiący (rys. 4.18b) oraz płytka wielootworowa (rys. 4.18c). Jeżeli zachodzi potrzeba częstej zmiany wielkości przekroju przepływowego, stosuje się zawory dławiące. Dokładne nastawienie wielkości przelotu umożliwiają zawory zamykające z iglicą (rys. 4.19) zamiast grzybka. Konstrukcja taka umożliwia wprowadzanie małych zmian przelotu przy dużych kątach obrotu wrzeciona zaworu.

W pewnych przypadkach zachodzi potrzeba dławienia przepływu cieczy tylko w jednym kierunku. Wtedy stosuje się zawory zwrotne.

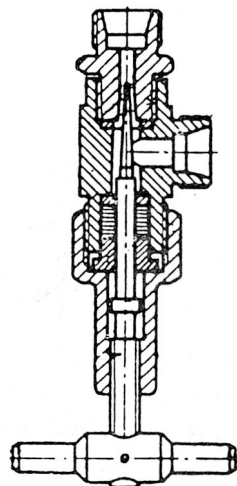
#### 4.3.5. Rozdzielacze hydrauliczne

Rozdzielacze, podobnie jak urządzenia zalewowe oraz dławiące służą do sterowania maszyn z napędem hydraulicznym.

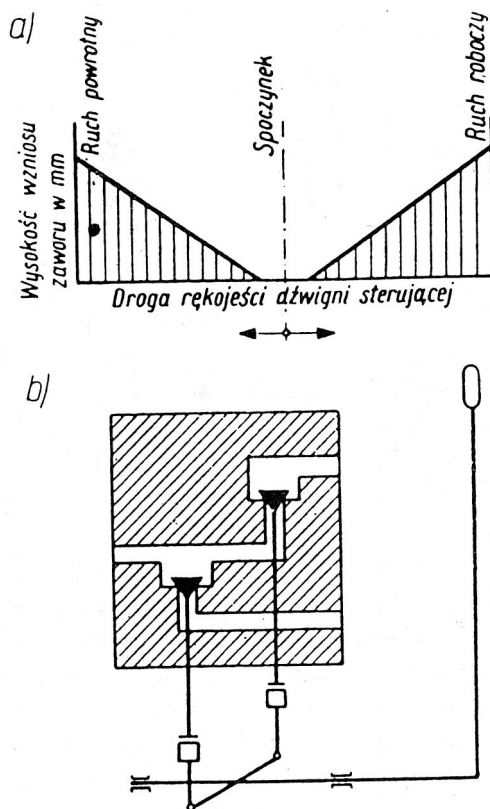
Najczęściej stosuje się rozdzielacze grzybkowe i suwakowe. Pierwsze z nich są dogodniejsze w eksploatacji ze względu na możliwość uzyskania większej szczelności przez wzajemne dotarcie. Nieszczelność rozdzielaczy suwakowych wymaga wymiany zużytych części.

W rozdzielaczach sterowanych ręcznie stosuje się napęd dźwigniowy (rys. 4.20b) lub krzywkowy (rys. 4.21a).

Zawory wyjściowe mają luzy mniejsze niż zawory wejściowe, dzięki czemu ciecz pod wysokim ciśnieniem nie może wpływać do cylindra głównego, aż cylindry powrotne nie połączą się z przewodem odpływowym.



Rys. 4.19. Zawór dławiący [2]

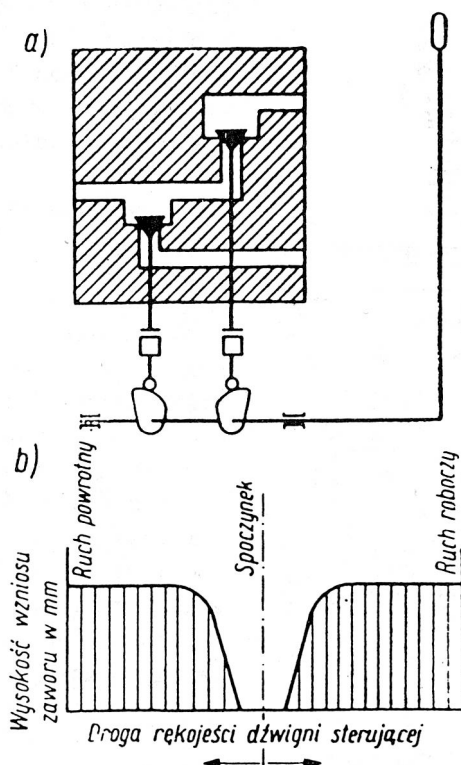


Rys. 4.20. Schemat dwuzaworowego rozdzielacza hydraulicznego z napędem ręcznym dźwigniowym wraz z krzywymi wzniosu zaworów [2]

Krzywe wzniosu zaworów rozdzielacza dźwigniowego są liniami prostymi (rys. 4.20a), a rozdzielacza krzywkowego odpowiadają ukształtowaniu krzywek (rys. 4.21b).

W dużych prasach kuteńskich o nacisku większym od 15000 kN opory tarcia i przepływu w zaworach są tak duże, że do obracania wałka sterowniczego stosuje się serwomotory. Nowsze prasy hydrauliczne mają zautomatyzowane rozdzielacze hydrauliczne z napędem krzywkowym (rys. 4.22). Automatyzacja ta polega na zastosowaniu silnika elektrycznego 1 napędzającego wał 2 z krzywkami 3 za pośrednictwem przekładni zębatej 4. Wał 2 może być obracany również ręcznie za pomocą koła 5 przy wyłączonym sprzęgle 6.

Rozdzielacze suwakowe stosuje się głównie w małych prasach hydraulicznych. Na rysunku 4.23 przedstawiono schemat rozdzielacza suwakowego, przy czym położenie suwaka odpowiadające ruchowi powrotnemu prasy pokazano na rys. 4.23a, odpowiadające spoczynkowi na rys. 4.23b i ruchowi robocznemu na rys. 4.23c. Rozdzielacz ten jest odciążony, ponieważ

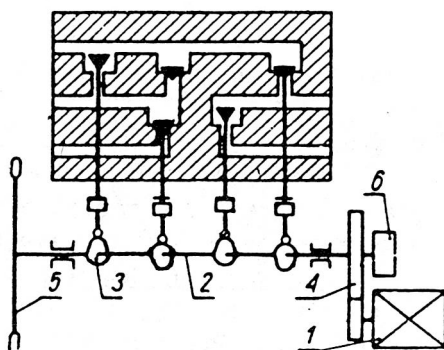


Rys. 4.21. Schemat dwuzaworowego rozdzielacza hydraulicznego z napędem ręcznym krzywkowym wraz z krzywymi wzniosu zaworów [2]

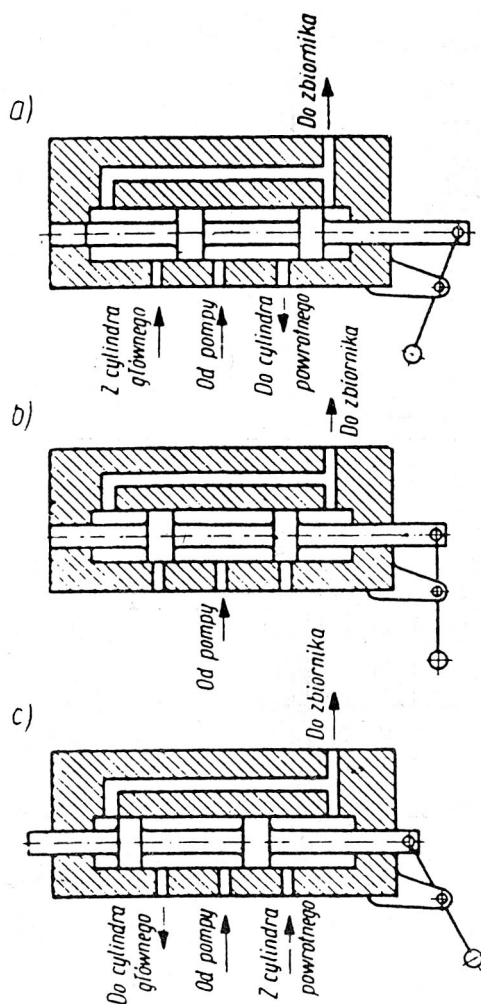
między tłoczkami panuje zawsze wysokie ciśnienie, a na zewnątrz tłoczków niskie, jednakowe z obu stron.

#### 4.3.6. Urządzenia pomocnicze

Prasy hydrauliczne, podobnie jak i inne maszyny do obróbki plastycznej mogą być wyposażone w różnego rodzaju urządzenia pomocnicze do usuwania kształtowanych przedmiotów z matrycy, zepchnięcia ich ze stempla, dociskania obrzeży wytłoczek lub do



Rys. 4.22. Schemat czterowrzecionowego zautomatyzowanego rozdzielacza hydraulicznego z napędem krzywkowym od silnika elektrycznego [2]



Rys. 4.23. Schemat rozdzielacza hydraulicznego suwakowego [2]

no powrót drąga 6 wymuszany nurnikami 4 połączonymi z belką 3.

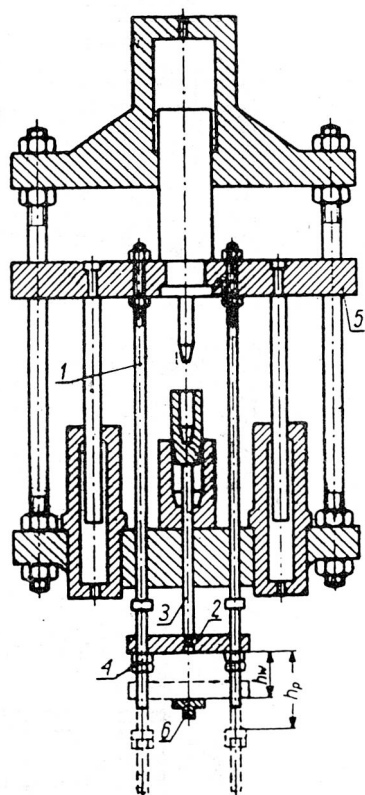
Prasy hydrauliczne stosowane do produkcji długich cienkościennych przedmiotów mają kilka wypychaczy mogących pracować jednocześnie lub według określonego harmonogramu (rys. 4.26).

**2. Zrywacze hydrauliczne.** Do zrywania przedmiotów ze stempla stanowiącego wyposażenie poziomych pras hydraulicznych stosuje się zrywacze hydrauliczne. Przykład takiego zrywacza pokazano na rys. 4.27.

przesuwania kowadła oraz podnoszenia i obracania odkuwki. Przykłady wybranych rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń pomocniczych omówiono w dalszej części rozdziału.

**1. Wypychacze hydrauliczne.** Najprostszym sposobem wypchnięcia przedmiotu z matrycy jest zastosowanie wypychacza mechanicznego. Na rysunku 4.24 pokazano schemat prasy hydraulicznej z wypychaczem o nastawnej długości skoku. Stosowanie wypychaczy mechanicznych sprawia, że wymiary nurników powrotnych muszą być większe niż w przypadku braku wypychacza. Zwiększa się przez to zużycie cieczy pod wysokim ciśnieniem. W celu zmniejszenia tego zużycia, należy stosować prasy wyposażone w oddzielne wypychacze hydrauliczne.

Układy różnych wypychaczy hydraulicznych pokazano na rys. 4.25. Powrót drągów 3 wypychaczy, które pokazano na rys. 4.25a i b zachodzi pod własnym ciężarem, co może spowodować zawieszenie drąga w razie dużych oporów tarcia w uszczelnieniu cylindra 1 i nurnika 2. Zastosowanie wypychaczy hydraulicznych z wymuszonym powrotem drąga za pomocą tłoka 2, którego tłoczysko 3 połączone jest z drągiem 4 przedstawiono na rys. 4.25c. Na rysunku 4.25d przedstawiono



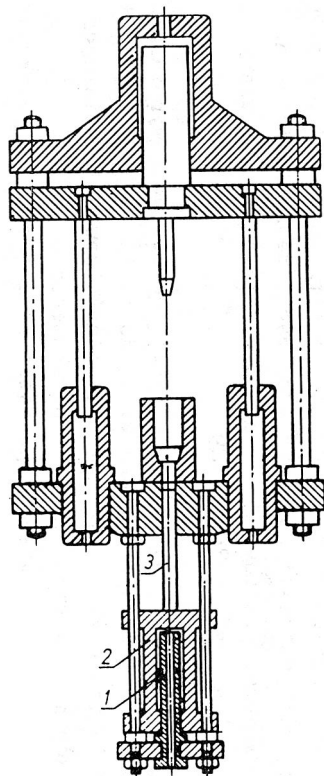
Rys. 4.24. Schemat prasy hydraulicznej z wypychaczem mechanicznym o nastawnej długości skoku [2]: 1 - ciągną wypychacza, 2 - belka poprzeczna, 3 - wypychacz, 4 - nakrętki regulacyjne, 5 - ruchoma belka poprzeczna prasy

3. Przesuwacze kowadła. Przesuwacze hydrauliczne stosuje się do przemieszczania stołów z kowadłami. Ułatwiają one wcześniejsze podparcie transportowanego do prasy wlewka na kowadle dolnym. Po podparciu wlewka podwieszonego na urządzeniu dźwigowym następuje przesunięcie kowadła wraz ze stołem w strefę działania górnego kowadła. Przesuwacze ułatwiają również realizację wielu operacji technologicznych, takich jak przeginanie, prostowanie i odsadzanie odkuwki. Przykłady przesuwaczy pokazano na rys. 4.28 i 4.29.

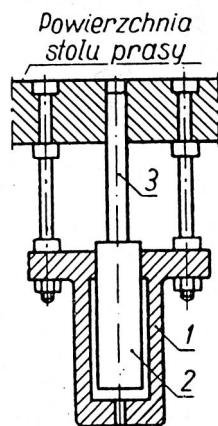
4. Podnośniki i obrotnice hydrauliczne stanowią wyposażenie dużych pras hydraulicznych, które służą do manipulowania ciężkimi wlewkami w czasie ich przekuwania. Zaletą podnośników hydraulicznych jest ich zwarta budowa przy znacznej sile podnoszenia.

Urządzenie umożliwiające podnoszenie i obracanie przekuwanego wlewka pokazano na rys. 4.30.

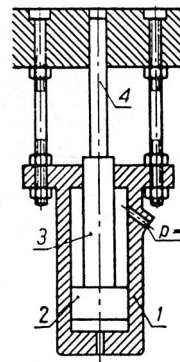
a)



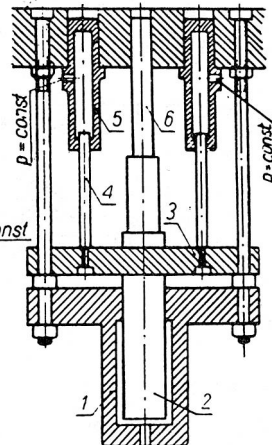
b)



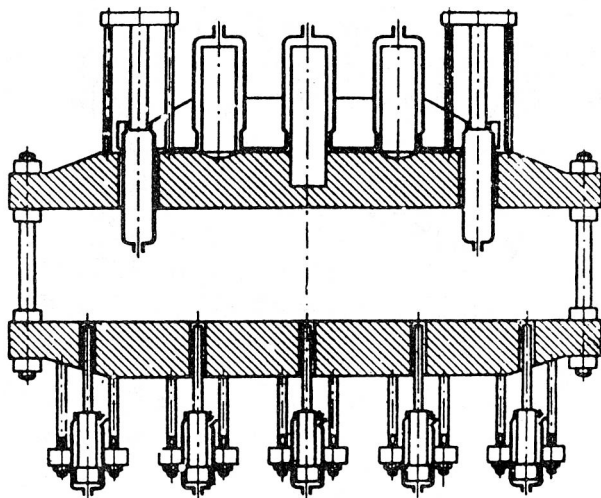
c)



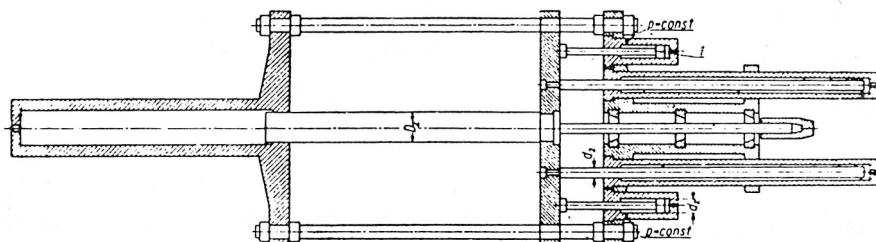
d)



Rys. 4.25. Schematy różnych wypychaczy hydraulicznych [2]

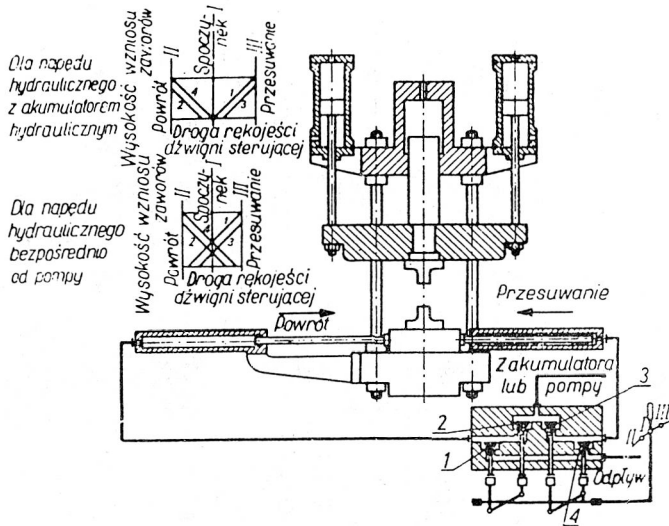


Rys. 4.26. Schemat prasy hydraulicznej z wieloma wypychaczami hydraulicznymi [2]



Rys. 4.27. Schemat prasy hydraulicznej ze zrywaczami hydraulicznymi [2]

W celu łagodzenia wstrząsów przy kuciu, podnośnik hydrauliczny 1 zawieszono na sprężynach 2. Łańcuch 8 przerzucony przez koło 3 służy do podwieszania odkuwki. Obrotnica hydrauliczna 4 działa w ten sposób, że przesuwający się nurnik z kołem 5 powoduje przesuw łańcucha 6 przy-  
 czeplonego jednym końcem 9 do nieruchomej części prasy, a drugim końcem z hakiem 7 do łańcucha 8. Łańcuch 8 pociągany przez hak 7 powoduje obrót odkuwki.

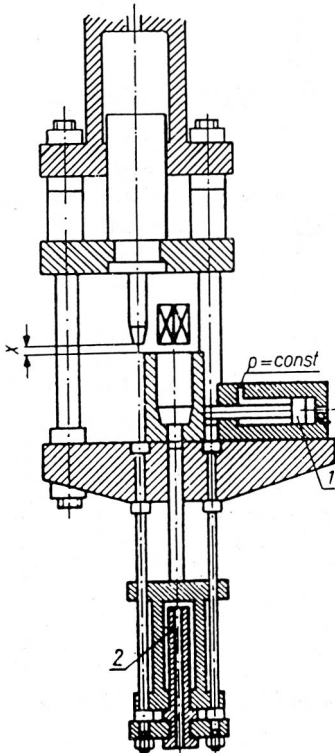


Rys. 4.28. Schemat prasy kuźnicznej ze stołem jednostronnie przesuwным [2]

#### 4.4. Prasy hydrauliczne do wykrawania i tłoczenia

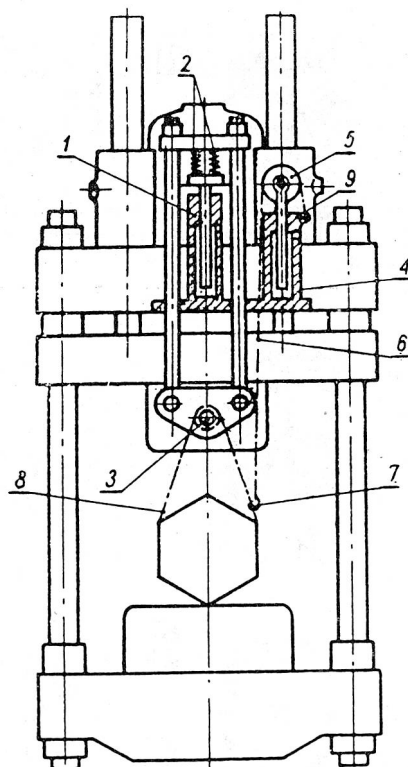
##### 4.4.1. Prasy do wykrawania

Do niedawna nie stosowano powszechnie pras hydraulicznych do wykrawania za pomocą normalnych wykrojników. Podczas procesu wykrawania następowały bowiem szybkie zmiany ciśnienia w układzie hydraulicznym, powodujące drgania w końcowej fazie procesu. Prasy hydrauliczne stosowano do wykrawania gumą przedmiotów z blachy o małej grubości. Prasy przystosowane do wykrawania gumą stosowano również do płytkiego tłoczenia. Charakterystyczną cechą pras do wycinania i tłoczenia gumą jest kilka stołów przesuwnych pozwalających zwiększyć wykorzystanie prasy.



Rys. 4.29. Schemat prasy hydraulicznej pionowej z przesuwacem i wypychaczem hydraulicznym [2]





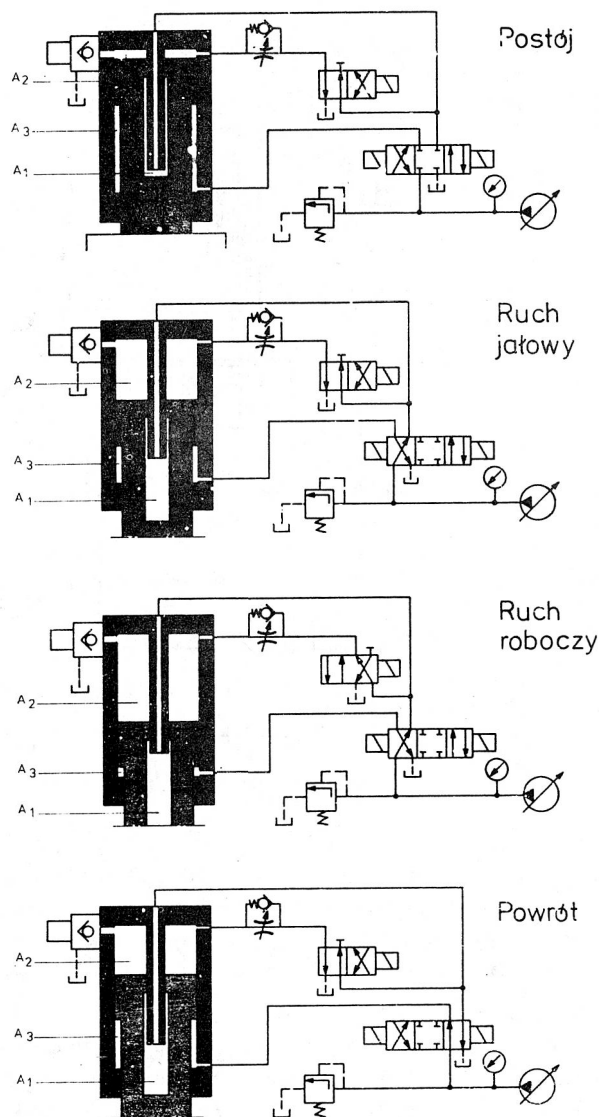
Rys. 4.30. Prasa hydrauliczna z podnośnikiem i obrotnicą hydrauliczną odkuwek [2]

W ostatnich latach opracowano napęd hydrauliczny, stanowiący podstawę dla budowy szybkobieżnych pras hydraulicznych do wykrawania (rys. 4.31). Na rysunku 4.31a przedstawiono klasyczną odmianę takiego napędu, a na rys. 4.31b unowocześnioną. Unowocześnienie to pozwoliło jeszcze bardziej skrócić całkowity czas pojedynczego cyklu pracy, to jest z około 0,9 sekundy (rys. 4.32a) do około 0,5 sekundy (rys. 4.32b). Skrócenie czasu pojedynczego cyklu pracy szybkobieżnych pras hydraulicznych stało się możliwe dzięki zmianom konstrukcyjnym cylindra hydraulicznego i utrzymywaniu stałego (wysokiego) ciśnienia na powierzchni  $A_2$  (rys. 4.31b). Powierzchnie  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  są przy tym tak dobrane, że:

- powierzchnia  $A_3$  jest większa od  $A_2$ ,
- suma powierzchni  $A_1$  i  $A_2$  jest większa od powierzchni  $A_3$ .

Pozwoliło to wyeliminować dwa bardzo czasochłonne etapy cyklu roboczego: etap nr 2 - narastanie ciśnienia na powierzchni  $A_2$  z początkiem ruchu roboczego oraz etap nr 3 - odciążanie powierzchni  $A_2$  przed ruchem powrotnym (rys. 4.31a i 4.32a).

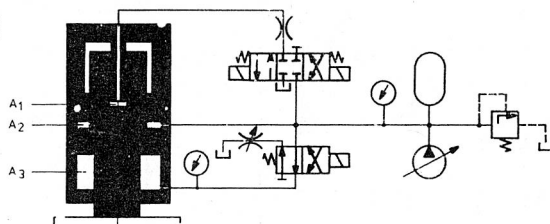
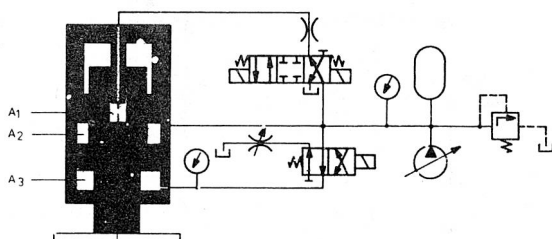
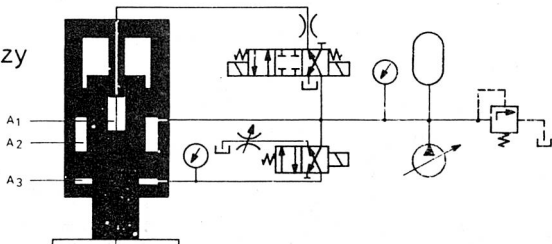
a)



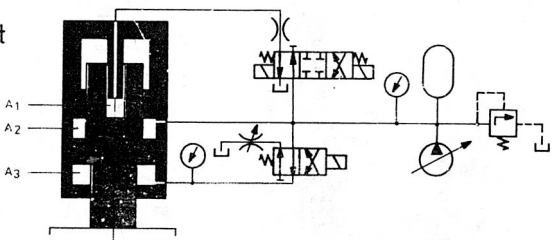
Rys. 4.31. Schematy napędów szybkobieżnych pras hydraulicznych do wykrawania: a) prasy klasycznej,

Zasadę działania obu omawianych napędów hydraulicznych można prześledzić na schematach sterowania (rys. 4.31a,b) przy jednoczesnym korzystaniu z tab. 4.1. Tabela 4.1 podaje informacje o tym, które z powierzchni tłoka ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ) znajdują się aktualnie pod ciśnieniem cieczy

b) Postój

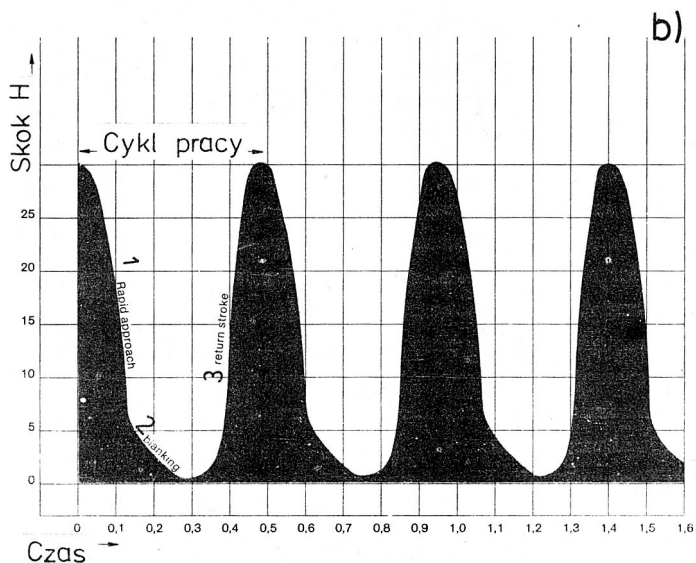
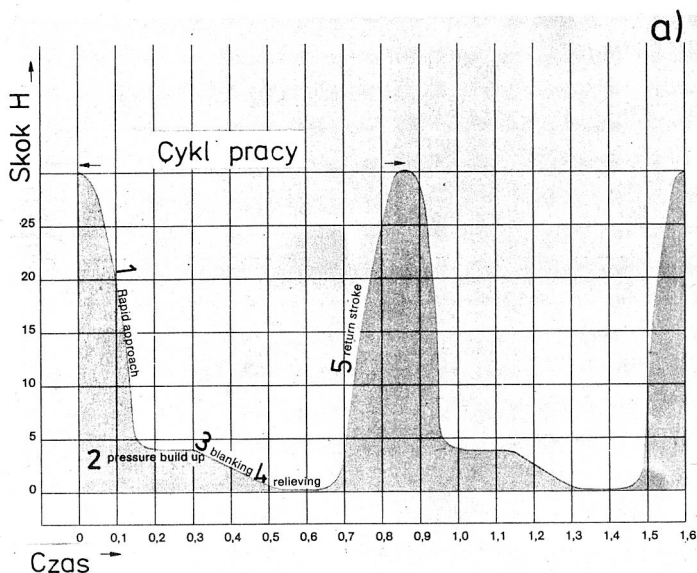
Ruch  
jąłowyRuch  
roboczy

Powrót



b) prasy unowocześnionej [4]

w zależności od rodzaju napędu i określonej fazy cyklu roboczego (postój, ruch jąłowy, ruch roboczy i powrót).



Rys. 4.32. Przebieg drogi (skoku)  $H$  suwaka w funkcji czasu: a) klasycznej, szybkobieżnej prasy hydraulicznej, 1 - ruch jałowy, 2 - narastanie ciśnienia, 3 - wykrawanie, 4 - odciążanie, 5 - ruch powrotny, b) unowocześnionej, szybkobieżnej prasy hydraulicznej, 1 - ruch jałowy, 2 - wykrawanie, 3 - ruch powrotny

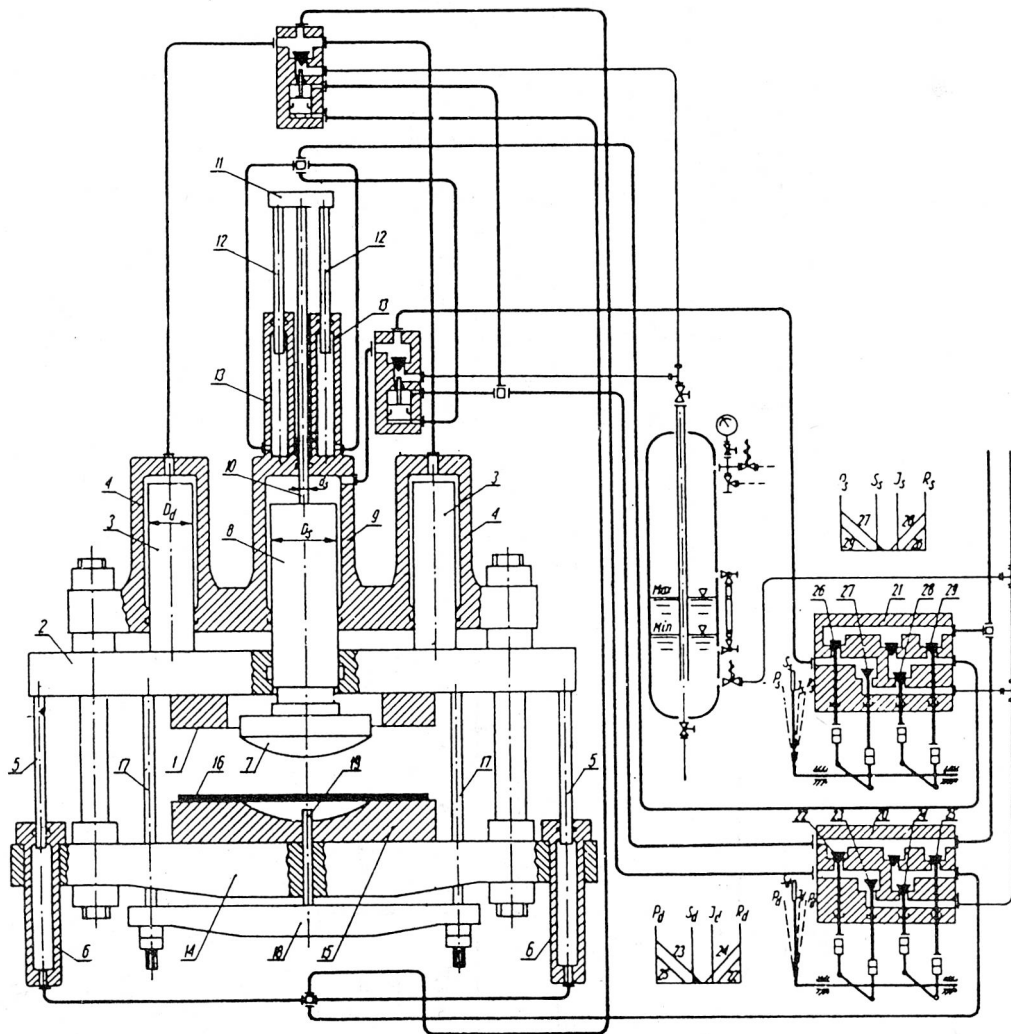
T a b e l a 4.1

Rozkład ciśnień na powierzchniach tłoka szybkobieżnych pras hydraulicznych

| Fazy cyklu pracy | Powierzchnie tłoka w prasie |                |                |                 |                |                |
|------------------|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                  | klasycznej                  |                |                | unowocześnionej |                |                |
|                  | $A_1$                       | $A_2$          | $A_3$          | $A_1$           | $A_2$          | $A_3$          |
| Postój           | odciążona                   | odciążona      | pod ciśnieniem | odciążona       | pod ciśnieniem | pod ciśnieniem |
| Ruch jałowy      | pod ciśnieniem              | napełnianie    | odciążona      | pod ciśnieniem  | pod ciśnieniem | pod ciśnieniem |
| Ruch roboczy     | pod ciśnieniem              | pod ciśnieniem | odciążona      | pod ciśnieniem  | pod ciśnieniem | odciążona      |
| Ruch powrotny    | odciążona                   | odciążona      | pod ciśnieniem | odciążona       | pod ciśnieniem | pod ciśnieniem |

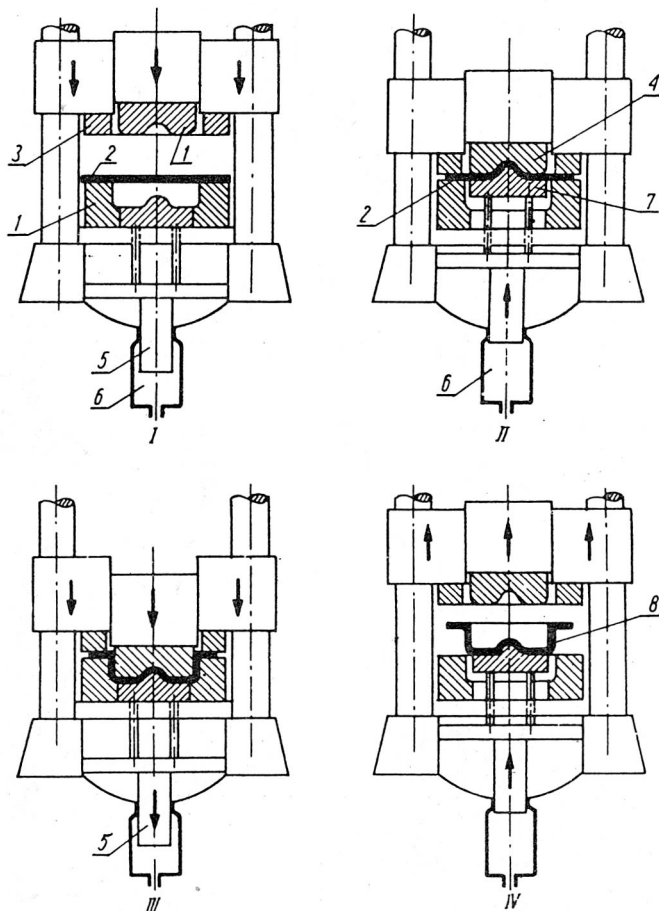
## 4.4.2. Prasy hydrauliczne ciągowe z dociskaczem

Schemat prasy hydraulicznej podwójnego działania pokazano na rys. 4.33. Dociskacz 1 jest uruchomiany poprzeczką ruchomą 2 współpracującą z dwoma bocznymi górnymi nurnikami 3 oraz dwoma dolnymi bocznymi nurnikami 5. Stempel 7 jest mocowany do środkowego nurnika 8. Nurnik 8 jest prowadzony w poprzeczce ruchomej 2 dociskacza, a ponadto jest połączony



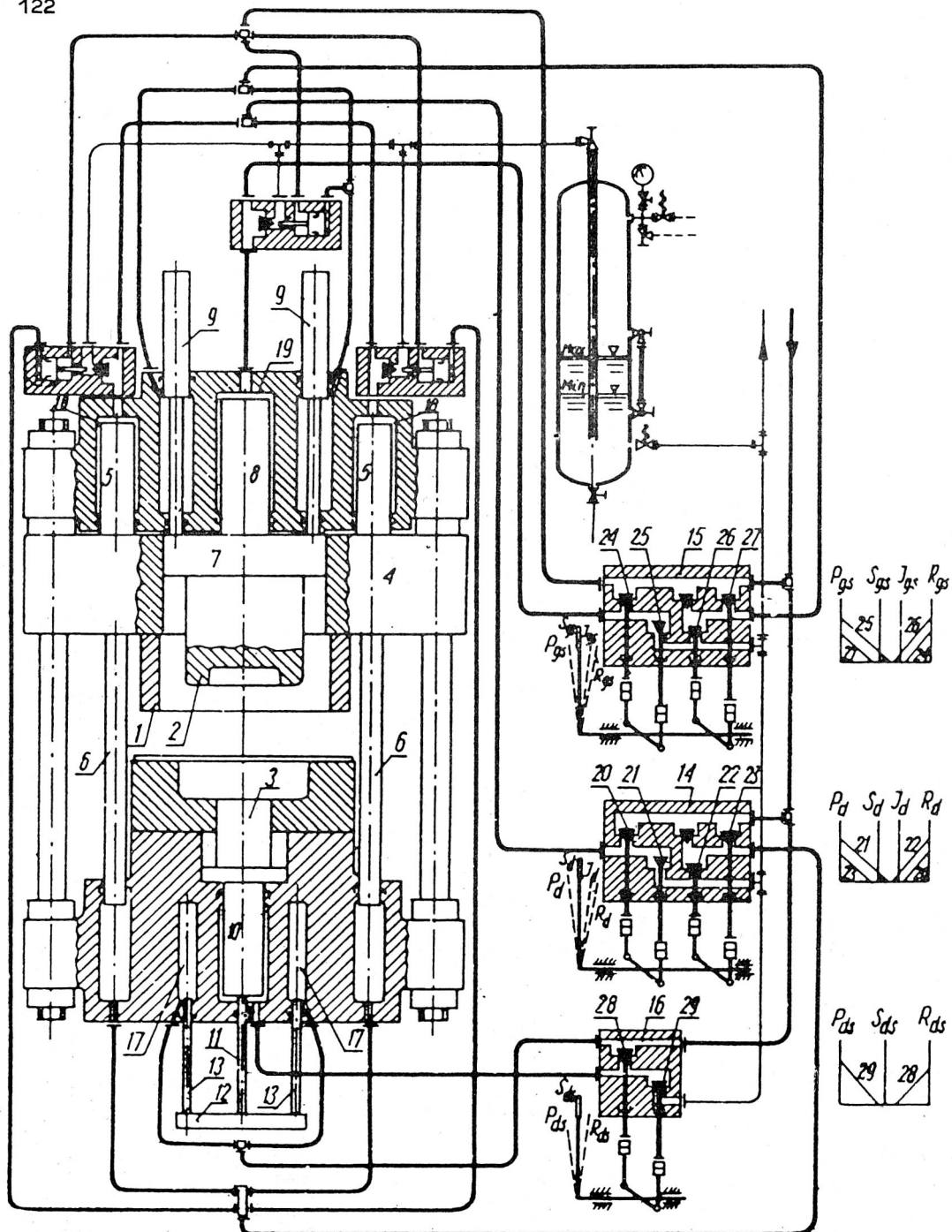
Rys. 4.33. Schemat prasy hydraulicznej podwójnego działania z górnym dociskaczem i górnym stemplem z zastosowaniem hydroforowego urządzenia zalewowego [3]

w górnej części ciągnem 10 z poprzeczną belką 11. Belka 11 jest połączona z dwoma bocznymi nurnikami 12. Matryca 15 jest przymocowana do stołu 14. Drąg 19 wypychacza, przechodzący przez otwór w matrycy 15, jest napędzany ciągnami 17 łączącymi ruchomą poprzeczkę 2 dociskacza z dolną belką 18 drąga 19 wypychacza.



Rys. 4.34. Fazy pracy prasy hydraulicznej potrójnego działania z górnym dociskaczem i dolną poduszką [3]: 1 - matryca, 2 - kształtowany materiał, 3 - dociskacz, 4 - stempel górny, 5 - nurnik, 6 - cylinder, 7 - stempel dolny, 8 - wytłoczek

Na rysunku 4.34 pokazano fazy pracy prasy hydraulicznej potrójnego działania. Schemat sterowania prasą hydrauliczną potrójnego działania ilustruje rys. 4.35. Prasy potrójnego działania stosuje się przy produk-



Rys. 4.35. Schemat sterowania prasy potrójnego działania z hydroforowym urządzeniem zalewowym [3]



cji wytłoczek o złożonym kształcie. Sterowanie dociskacza prasy pokazanej na rys. 4.35 odbywa się rozdzielaczem czterozaworowym 14 z zaworem antymultiplikacyjnym. Sterowanie górnego stempla - podobnym rozdzielaczem 15, a dolnego - dwuzaworowym rozdzielaczem 16. Cylindry powrotne 17 znajdują się pod stałym ciśnieniem cieczy. Dwa cylindry robocze 18 dociskacza i cylinder roboczy 19 stempla górnego są zasilane ze wspólnego zbiornika zalewowego, lecz wyposażone w oddzielne zawory zalewowe. Zrozumienie działania prasy umożliwiają zamieszczone obok wykresy wzniosu zaworów poszczególnych rozdzielaczy. Indeks d oznacza dociskacz, indeks  $g_s$  - górny stempel,  $d_s$  - dolny stempel.

#### 4.5. Prasy hydrauliczne do kucia

Prasy hydrauliczne do kucia charakteryzują się zwiększoną szybkością w porównaniu z prasami do tłoczenia.

##### 4.5.1. Prasy hydrauliczne do kucia matrycowego

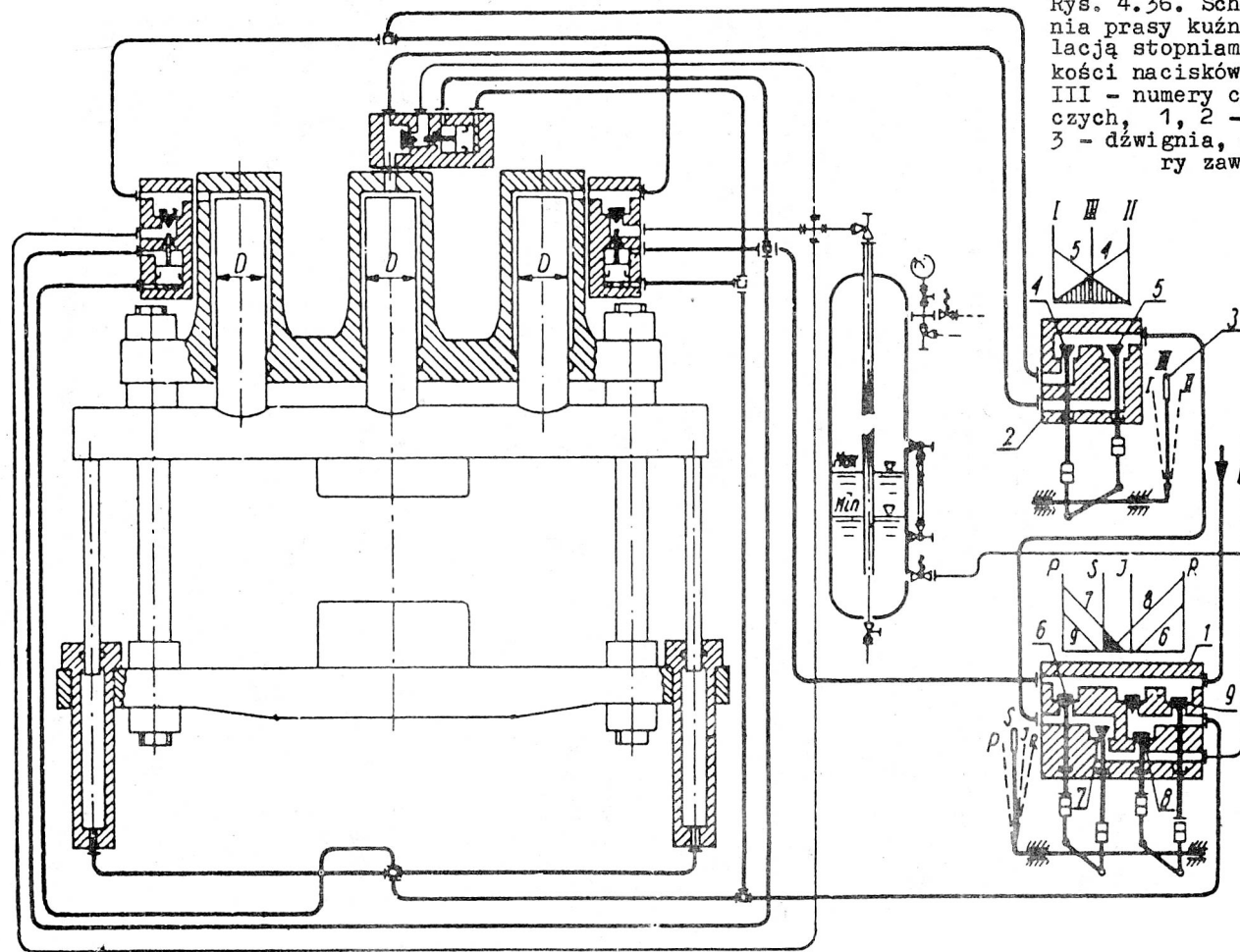
Na rysunku 4.36 przedstawiono schemat prasy hydraulicznej do kucia matrycowego. Prasa ma trzy górne cylindry robocze i dwa dolne powrotne. Może ona pracować przy zasilaniu cieczą wysokiego ciśnienia wszystkich trzech cylindrów, dwóch skrajnych lub jednego środkowego. Pozwala to dostosować wielkość nacisku prasy do chwilowych potrzeb.

Do sterowania prasy zastosowano czterozaworowy rozdzielacz 1 z zaworem antymultiplikacyjnym. Liczbę cylindrów roboczych włączanych do pracy ustala się przez odpowiednie sterowanie zaworami drugiego dwuzaworowego rozdzielacza 2. Zrozumienie działania prasy umożliwiają wykresy wzniosu zaworów umieszczone nad poszczególnymi rozdzielaczami.

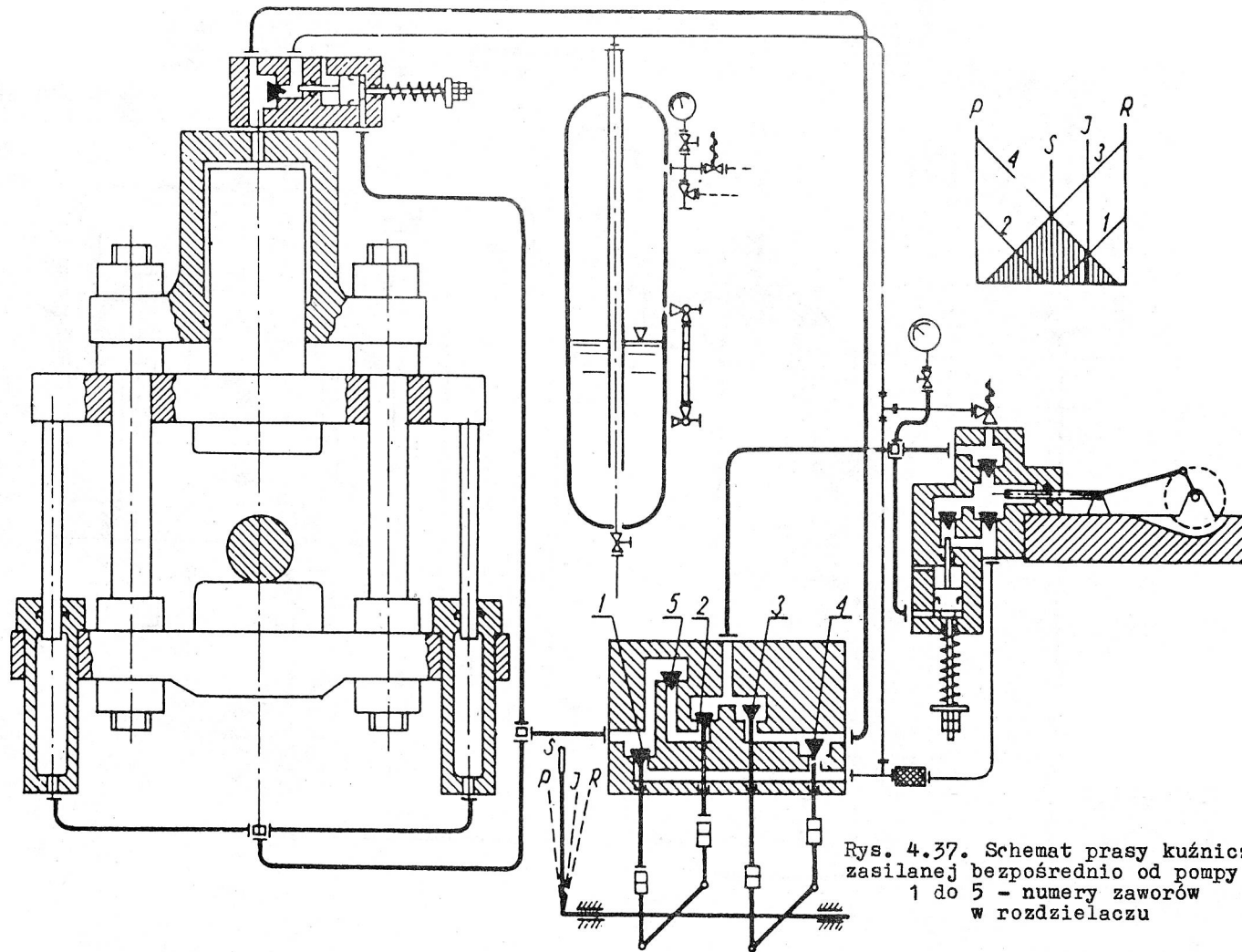
##### 4.5.2. Prasy hydrauliczne do kucia swobodnego

Do kucia swobodnego stosuje się zazwyczaj prasy z napędem bezpośrednim od pompy lub z multiplikatorem. Na rysunku 4.37 pokazano schemat prasy hydraulicznej napędzanej pompą nurnikową z samoczynnym wyłącznikiem ciśnienia. Prasa wyposażona jest w zbiornik zalewowy i zawór zalewowy. Litera P, S, J, R umieszczone nad wykresem wzniosu zaworów rozdzielacza oznaczają kolejno: P - ruch powrotny, S - spoczynek, J - ruch jałowy, R - ruch roboczy.

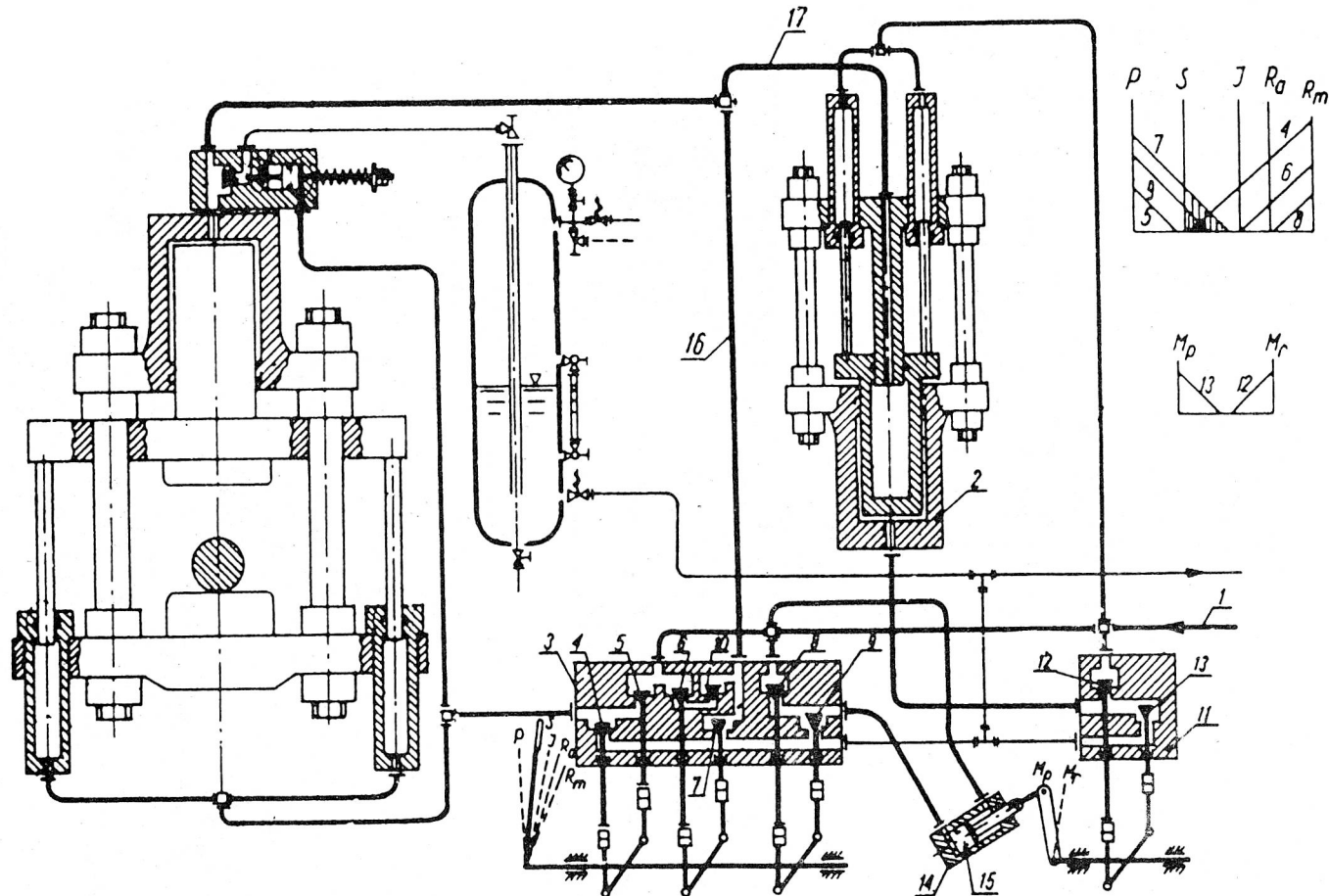
Na rysunku 4.38 przedstawiono schemat prasy hydraulicznej wyposażonej w multiplikator, przeznaczonej do kucia swobodnego. Napęd prasy jest napędem pompowo-akumulatorowym. Prasa ponadto jest wyposażona w urządzenie zalewowe ze zbiornikiem hydroforowym.



Rys. 4.36. Schemat sterowania prasy kutej z regulacją stopniami trzech wielkości nacisków [3]: I, II, III - numery cylindrów roboczych, 1, 2 - rozdzielacze, 3 - dźwignia, 4 do 9 - numery zaworów



Rys. 4.37. Schemat prasy kŹnicznej  
zasilanej bezpořrednio od pompy [3]:  
1 do 5 - numery zaworów  
w rozdzielaczu



Rys. 4.38. Schemat sterowania prasy do kucia swobodnego zasilanej z hydroforowego zbiornika zalewowego i z akumulatora hydraulicznego z zastosowaniem multiplikatora hydraulicznego [3]: 1, 3 do 15 - numery zaworów w rozdzielaczach,  $R_a$  - ruch roboczy (zasilanie z akumulatora),  $R_m$  - ruch roboczy (zasilanie z multiplikatora)

Cylinder prasy jest zasilany w czasie ruchu jałowego cieczą niskiego ciśnienia pochodzącą ze zbiornika zalewowego. Podczas ruchu roboczego cylinder ten jest zasilany początkowo z akumulatora hydraulicznego (przewodem 16), a następnie z multiplikatora (przewodem 17), co powoduje zwiększenie nacisku prasy. Ruch powrotny odbywa się pod działaniem cieczy podawanej z akumulatora przez zawór 5 rozdzielacza. Cylindry powrotne są pod stałym ciśnieniem pochodzącym od akumulatora. Prześledzenie pełnego cyklu pracy prasy umożliwiającą wykresy wzniosu zaworów.

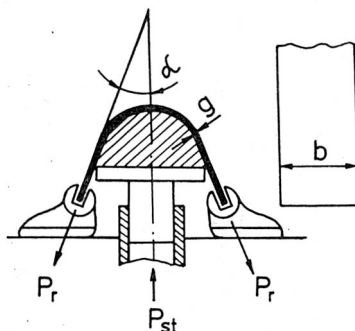
#### 4.6. Prasy do obciągania

Obciąganie (rys. 4.39) należy do jednych z najszybszych i najtańszych sposobów wykonywania powłok o małych krzywiznach, takich jak: dachy samochodów i ciągników, elementy przedniego i tylnego poszycia autobusów, elementy poszycia samolotów (rys. 4.40) itp.

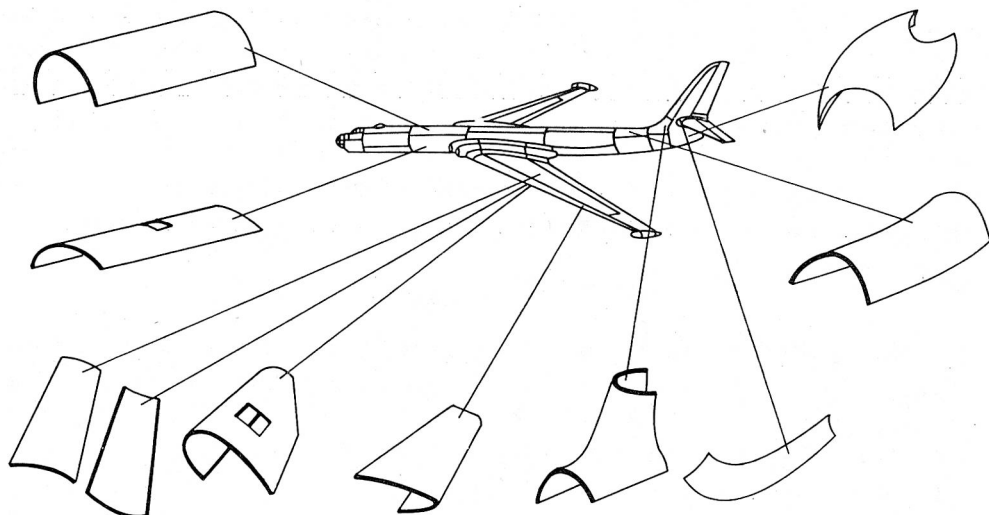
Obciąganie polega na jednoczesnym zginaniu i rozciąganiu kształtowanej blachy, dzięki czemu eliminuje się nadmierne sprężynowanie powrotne wyrobu. Gięcie blachy bez rozciągania (bez utwardzenia jej końców) może w razie małej krzywizny uniemożliwić utrwalenie założonego kształtu - gięta blacha wyprostuje się po zdjęciu sił gnących.

Na rysunku 4.41 pokazano rozkład naprężeń w przekrojach blachy tylko zginanej (rys. 4.41a) oraz zginanej z rozciąganiem (rys. 4.41b). Jak wynika z rys. 4.41b naprężenia rozciągające przemieszczają neutralną warstwę giętego materiału w stronę środka krzywizny. Im większe jest naprężenie rozciągające, tym większe będzie przemieszczenie warstwy obojętnej. Kiedy przemieszczenie to osiągnie wartość większą od połowy grubości obciąganej blachy, warstwa neutralna znajdzie się poza obrysem przekroju blachy, w którym pojawią się wyłącznie naprężenia jednego znaku (naprężenia rozciągające). Przy odpowiednio dużej wartości siły rozciągającej, minimalne naprężenie rozciągające przekroczy wartość granicy plastyczności i kształtowany materiał zostanie uplastyczniony w całym przekroju.

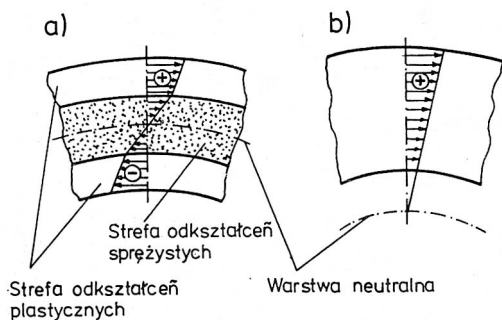
Wartość siły rozciągającej  $P_r$  potrzebnej do uplastycznienia materiału w całym przekroju można obliczyć ze wzoru:



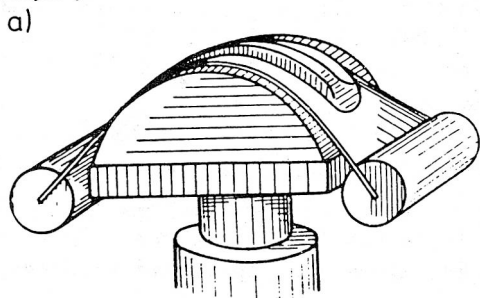
Rys. 4.39. Rozkład sił przy obciąganiu:  $P_r$  - siła rozciągająca,  $P_{st}$  - siła unoszenia stołu prasy,  $g$  - grubość blachy,  $b$  - szerokość blachy,  $\alpha$  - kąt między kierunkiem siły unoszenia stołu i kierunkiem siły rozciągającej



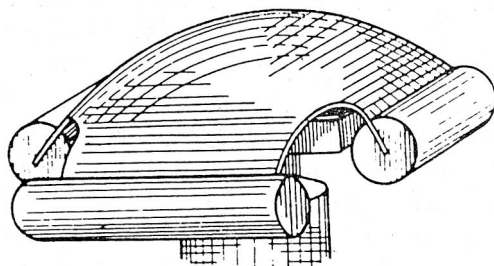
Rys. 4.40. Przykład zastosowań pras do obciągania w celu wykonania różnych fragmentów poszycia samolotu



Rys. 4.41. Rozkład naprężeń w przekroju blachy: a) zginanej, b) zginanej z rozciąganiem (obciąganej), I - położenie warstwy neutralnej przy zginaniu, II - położenie warstwy neutralnej przy obciąganiu



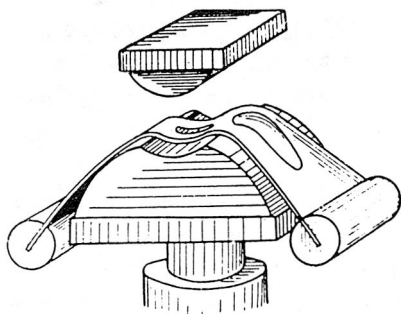
b)



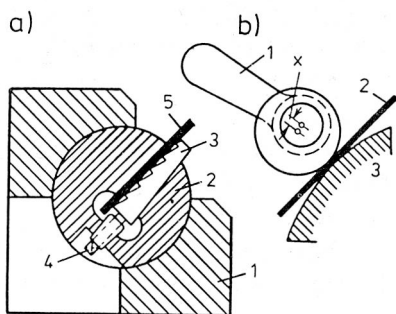
Rys. 4.42. Sposoby mocowania obciąganej blachy: a) dwustronny, b) czterostronny

$$P_r = R_{0,2} b g = 0,9 R_m b g,$$

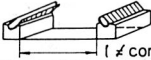
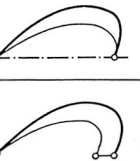
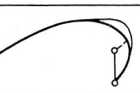
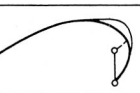
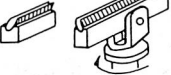
gdzie:  $b$  - szerokość arkusza blachy,  
 $g$  - grubość blachy,  
 $R_{0,2}$  - umowna granica plastyczności,  
 $R_m$  - wytrzymałość na rozciąganie.



Rys. 4.43. Schemat obciągania z zastosowaniem przeciwstempla



Rys. 4.44. Elementy zaciskające blachę, stosowane w prasach do obciągania: a) klinowy, 1 - oprawa, 2 - rolka, 3 - klin, 4 - śruba, 5 - blacha, b) mimośrodowy, 1 - mimośród, 2 - blacha, 3 - element oporowy, x - wartość mimośradowości

|                               |                         |     |                                                                                     | WYSOKOŚĆ SZCZĘK                                                                     |                                                                                      |                                                                                      |
|-------------------------------|-------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                         |     |                                                                                     | Jednakowa                                                                           |                                                                                      | Różna                                                                                |
|                               |                         |     |                                                                                     |  |                                                                                      |                                                                                      |
| REGULACJA<br>POŁOŻENIA SZCZĘK | W płaszczyźnie pionowej | nie | nie                                                                                 |  |   |   |
|                               |                         |     | tak                                                                                 |  |   |  |
|                               | tak                     | nie |  |  |  |  |
|                               |                         | tak |  |  |  |  |

Rys. 4.45. Wpływ położenia szczęk zaciskających na kształt wyrobów wykonywanych za pomocą tego samego stempla

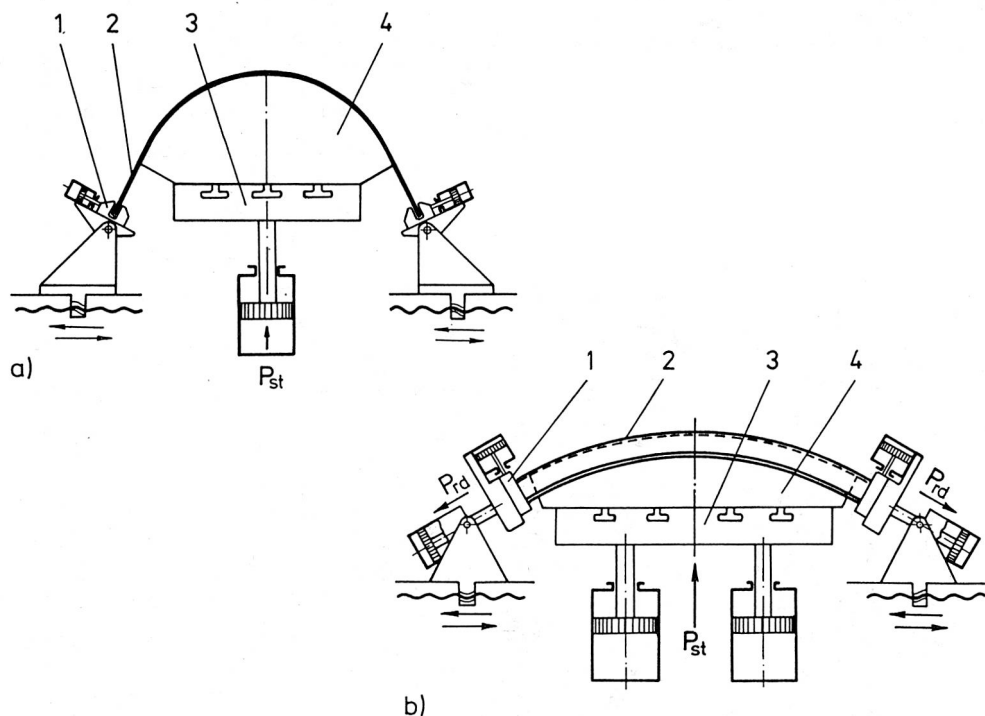
Siła  $P_{st}$  unoszenia stołu wyniesie przy tym:

$$P_{st} = 1,8 \text{ bg}R_m \cos \alpha,$$

gdzie  $\alpha$  - kąt między kierunkiem siły unoszenia stołu i kierunkiem siły rozciągającej (rys. 4.39).

Na rysunku 4.42 pokazano ideowe schematy obciążania z dwustronnym (rys. 4.42a) i czterostronnym (rys. 4.42b) mocowaniem arkusza blachy, a na rys. 4.43 obciążanie z zastosowaniem przeciwstempla. Stemple wykonuje się w zależności od rodzaju kształtowanego materiału z żeliwa lub twardego drewna. Przeznaczony do kształtowania arkusz blachy mocuje się w zaciskach (rys. 4.44), które w miarę wzrostu siły rozciągania automatycznie zwiększają siłę zaciskania.

W prasach do obciążania bardzo ważne znaczenie ma możliwość regulacji położenia elementów zaciskających i stołu. Regulacja położenia elementów zaciskających w płaszczyźnie poziomej i pionowej rozszerza możliwość zastosowań pras do obciążania i sprzyja zmniejszeniu strat materia-



Rys. 4.46. Schemat ideowy prasy: a) do obciążania, b) do obciążania z rozciąganiem; 1 - szczeka zaciskająca, 2 - blacha, 3 - stół, 4 - stempel



łu przeznaczanego do obciążenia. Na rysunku 4.45 pokazano schematycznie wpływ położenia elementów zaciskających na kształt wyrobu możliwego do uzyskania za pomocą tego samego stempla. Jak wynika z rys. 4.45 przez zmianę rozstawu, wysokości położenia i skręcenie elementów zaciskających można wpływać na zmianę kształtu powłoki, bez zmiany kształtu stempla.

Prasy do obciążania można podzielić ogólnie na dwie grupy:

a) prasy do obciążania (rys. 4.46a),

b) prasy do obciążania z rozciąganiem (rys. 4.46b).

Pierwsze z nich stosuje się przeważnie do wykonywania detali o dużych krzywiznach, a drugie do detali o małych krzywiznach – kiedy to w celu utrwalenia kształtu zachodzi potrzeba wprowadzenia dodatkowych naprężeń rozciągających jeszcze przed zasadniczym procesem obciążania.

#### Literatura do rozdziału 4

1. BOCZAROW J. A., PROKOFIEW W. N., Napędy hydrauliczne pras i młotów, Warszawa, WNT, 1971.
2. GOSZTOWTT L., Prasy hydrauliczne, Warszawa, PWT, 1955.
3. GOSZTOWTT L., Prasy hydrauliczne. Warszawa, Wyd. Politechniki Warszawskiej, 1972.
4. SMG ein Unternehmen der Schuler-Gruppe, prospekt firmy Süddeutsche Maschinenbau-Gesellschaft, RFN.

## 5. MŁOTY

### 5.1. Zasada działania i klasyfikacja

Ruchome części młotów, do których jest przymocowane jedno z kowadeł lub połowa matrycy, są napędzane sprężonym powietrzem, parą, gazem, cieczą, sprężyną lub siłą swobodnego spadku.

Praca sił ciążenia, ciśnienia pary, powietrza, gazu lub cieczy przekształca się w energię kinetyczną części rozpędzonych do określonej prędkości, co można zapisać

$$\int_0^{H_r} P(H) dH = \frac{mv^2}{2},$$

gdzie:  $H_r$  - droga rozbiegu ruchomych części młota,

$P(H)$  - siła działająca na ruchome części,

$m$  - masa części ruchomych,

$v$  - największa prędkość ruchomych części w momencie uderzenia (w końcu drogi rozbiegu).

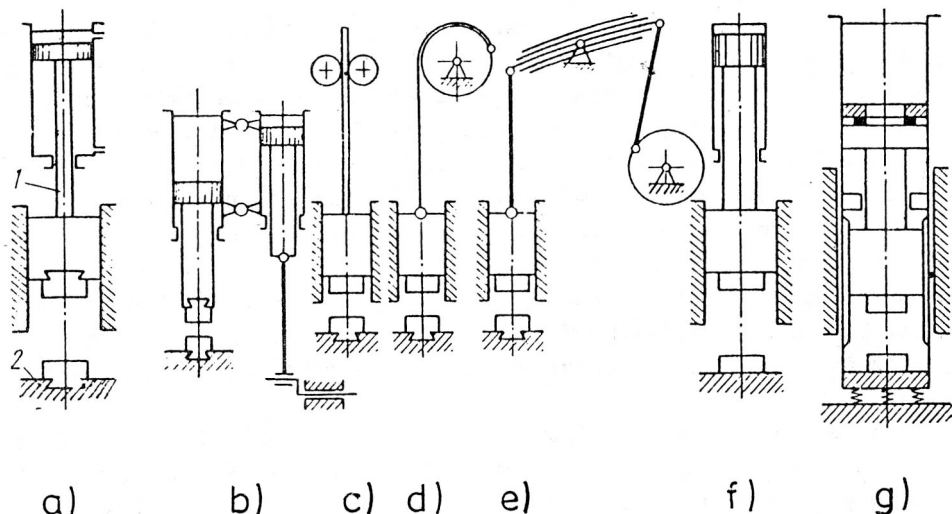
Odkształcanie kutego materiału rozpoczyna się przy największej prędkości, która pod koniec odkształcania osiąga wartość zerową. Charakter zmian prędkości podczas kształtowania nie zależy od maszyny, lecz od kształtu i temperatury obrabianego materiału.

Maksymalna wartość prędkości ruchomych części młotów dochodzi przeważnie do 9 m/s, a w przypadku młotów szybkobieżnych do 20 m/s. Czas kształtowania materiału podczas jednego uderzenia wynosi około kilkutyśięcznych sekundy.

Przez porównanie młotów np. z prasami hydraulicznymi można stwierdzić, że młot, którego ruchome części mają masę 1000 kg, odpowiada pod względem osiąganych sił uderzenia prasie hydraulicznej o nominalnej sile nacisku równej 7-10 MN.

Z technologicznego punktu widzenia młoty dzieli się na młoty do kucia swobodnego i do kucia matrycowego.

Ze względu na rodzaj napędu stosowanego do rozpędzania ruchomych części młotów można je podzielić na pięć grup konstrukcyjnych (rys. 5.1).



Rys. 5.1. Podział młotów na grupy: a - parowo-powietrzne, b - pneumatyczne, c, d, e - mechaniczne, f - hydrauliczne, g - gazowe (szybkobieżne)  
[1]

Do pierwszej grupy zalicza się młoty parowo-powietrzne (rys. 5.1a), Ruchome części tych młotów są napędzane parą lub sprężonym powietrzem, które pochodzą z sieci centralnej.

Do grupy drugiej należą młoty pneumatyczne, których części ruchome są napędzane sprężonym powietrzem wytwarzanym w sprężarce stanowiącej integralną część młota (rys. 5.1b).

Do grupy trzeciej zalicza się młoty mechaniczne. Napęd tych młotów jest przenoszony od silnika elektrycznego za pośrednictwem elementów mechanicznych, np. ciernych, giętkich lub sprężystych (rys. 5.1c,d,e). Młoty cierne są to młoty deskowe (rys. 5.1c). Bijak tych młotów jest przymocowany do deski unoszonej do góry za pomocą rolek ciernych. Elementami giętkimi, stosowanymi do unoszenia bijaków mogą być liny, pasy skórzane i łańcuchy (rys. 5.1d). Elementem sprężystym bywa najczęściej resor (rys. 5.1e).

Czwartą grupę młotów stanowią młoty hydrauliczne (rys. 5.1f). Czynnikiem energetycznym jest w tym przypadku ciecz (olej mineralny lub syntetyczny) pod wysokim ciśnieniem.

Do grupy piątej odnoszą się młoty gazowe (szybkobieżne) (rys. 5.1g). Czynnikiem energetycznym jest w tych młotach gaz (najczęściej azot) pod wysokim ciśnieniem. Zasada działania niektórych z tych młotów przypomina zasadę działania silników spalinowych. Czynnikiem energetycznym w tym ostatnim przypadku bywa mieszanina ciekłego paliwa z powietrzem.

Młoty ponadto można podzielić w zależności od sposobu działania na młoty prostego i podwójnego działania.

Młoty prostego działania, zwane spadowymi charakteryzuje swobodny spadek ich ruchomych części. Praca sił ciężkości przekształca się w tym przypadku w energię kinetyczną wykorzystywaną do kształtowania odkuwek. Unoszenie ruchomych części do góry odbywa się za pomocą pary, cieczy, gazu lub silnika elektrycznego. Do młotów prostego działania zalicza się niektóre młoty parowo-powietrzne i hydrauliczne oraz większość młotów mechanicznych (z wyjątkiem młotów resorowych).

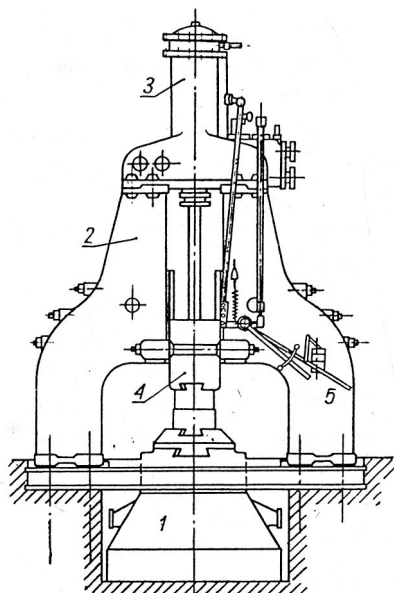
W młotach podwójnego działania ruch w dół odbywa się nie tylko pod działaniem siły ciężkości ruchomych części, ale i pod działaniem pary, powietrza, gazu, cieczy itp. Dlatego też, energia kinetyczna młotów podwójnego działania jest większa od energii kinetycznej młotów prostego działania.

Dalsze podziały młotów prowadzi się w zależności od rodzaju korpusu i typu szaboty, czyli części przejmującej uderzenie ruchomych części młota. Mogą to być młoty z nieruchomą szabotą, z ruchomą szabotą (bezszabotowe, np. przeciwbieżne) oraz z szabotą podwieszoną na amortyzatorach.

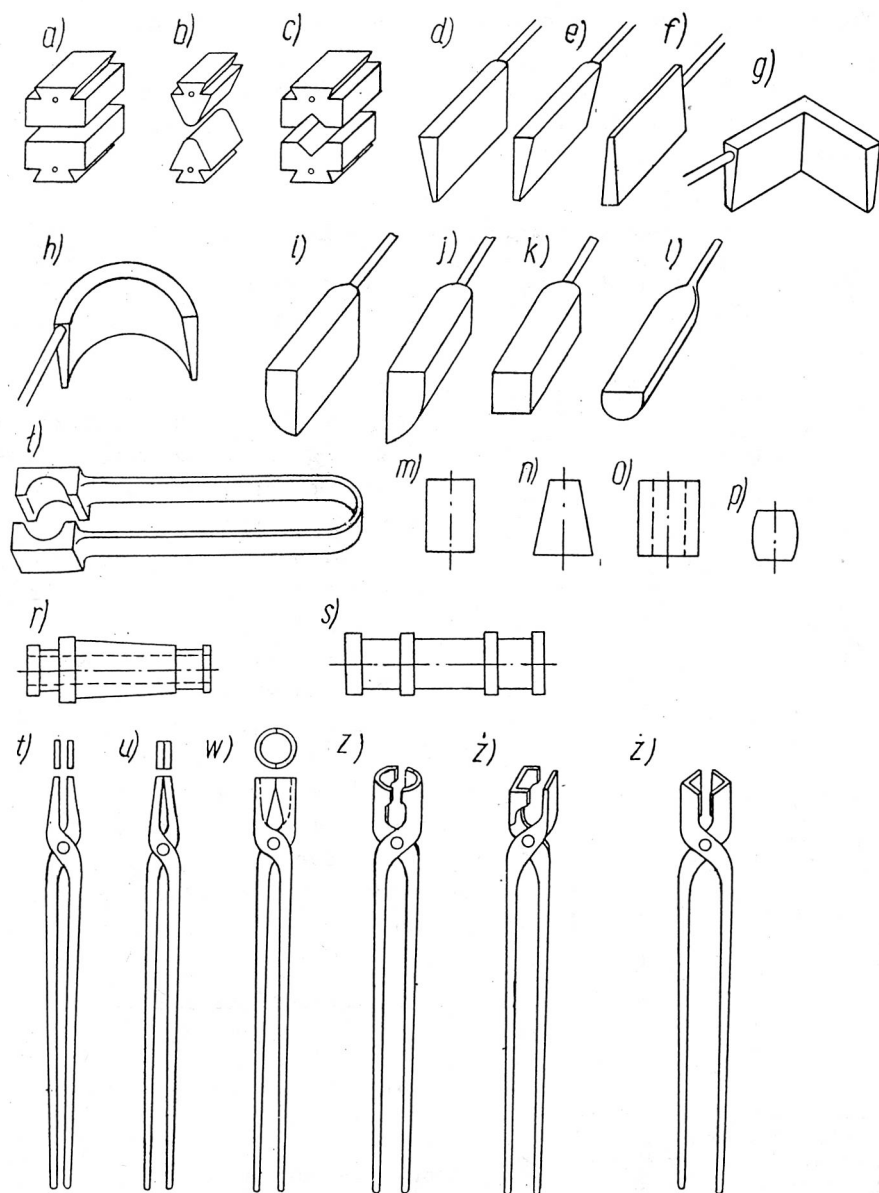
W młotach z nieruchomą szabotą energię uderzenia przejmują częściowo podłoże, na którym ustawiono młot. Prowadzi to do drgań gruntu. W celu zmniejszenia drgań gruntu stosuje się amortyzatory umieszczone między gruntem i szabotą. W młotach z ruchomą szabotą funkcje szaboty przejmują drugi bijak. Kształtowanie materiału odbywa się w tym przypadku między dwoma bijakami przemieszczającymi się w przeciwnych kierunkach. Fundament nie przenosi obciążeń dynamicznych.

## 5.2. Młoty do kucia swobodnego

Młoty do kucia swobodnego charakteryzuje brak sztywnego połączenia szaboty ze stojakami. Na rysunku 5.2 pokazano przykład młota do kucia swobodnego. Jest to młot parowo-powietrzny dwustojakowy. Szabota 1 nie ma sztywnego powiązania ze stojakami 2, co nie zapewnia współosiowego ustawienia dolnego i górnego kowadła. Z tego



Rys. 5.2. Młot parowo-powietrzny dwustojakowy do kucia swobodnego: 1 - szabota, 2 - stojaki, 3 - cylinder, 4 - bijk, 5 - dźwignie sterownicze [3]



Rys. 5.3. Narzędzia do maszynowego kucia swobodnego: a - kowadła płaskie, b - kowadła zaokrąglone, c - kowadła kształtowe, d - przecinak symetryczny, e - przecinak jednostronny, f - przecinak z szerokim spodkiem, g - przecinak kątowy, h - przecinak łukowy, i - odsadzka prawa, j - odsadzka lewa, k - odsadzka kwadratowa, l - odsadzka półokrągła, m - odsadzka dwustronna, n - przebijak walcowy, o - przebijak stożkowy, p - przebijak pierścieniowy, q - przebijak beczkowy, r - trzpień stożkowy, s - trzpień cylindryczny, t, u - kleszcze płaskie, w, z - kleszcze do prętów okrągłych, ż - kleszcze do prętów płaskich, ż - kleszcze do prętów kwadratowych [3]

też względu podobnych rozwiązań młotów nie stosuje się do kucia matrycowego.

Przykład kowadeł najczęściej stosowanych w młotach do kucia swobodnego pokazano na rys. 5.3a, b i c razem z innymi narzędziami do kucia swobodnego.

### 5.3. Młoty do kucia matrycowego

Zasadniczą cechą młotów do kucia matrycowego jest powiązanie wszystkich elementów konstrukcyjnych w jedną całość. Dzięki temu konstrukcja młota jest zwarta, zapewnia dobre prowadzenie bijaka i współosiowość obu części matrycy (ruchomej i stałej).

Na rysunku 5.4 pokazano przykład konstrukcji młota do kucia matrycowego. Szabota młota jest połączona z jego stojakami za pomocą śrub i sprężyn. Położenie stojaków względem szaboty ustala się za pomocą klinów podłużnych i poprzecznych. Przykład narzędzi (matryc) stosowanych przy kuciu na młotach matrycowych przedstawiono na rys. 5.5. Matryca składa się z dwóch części: dolnej i górnej. Dolną część matrycy mocuje się do szaboty, a górną do bijaka młota. Dokładność kształtu otrzymywanych odkówek zależy w znacznym stopniu od współosiowości obu części matrycy.

Na rysunku 5.6 przedstawiono tendencje w budowie korpusów młotów matrycowych.

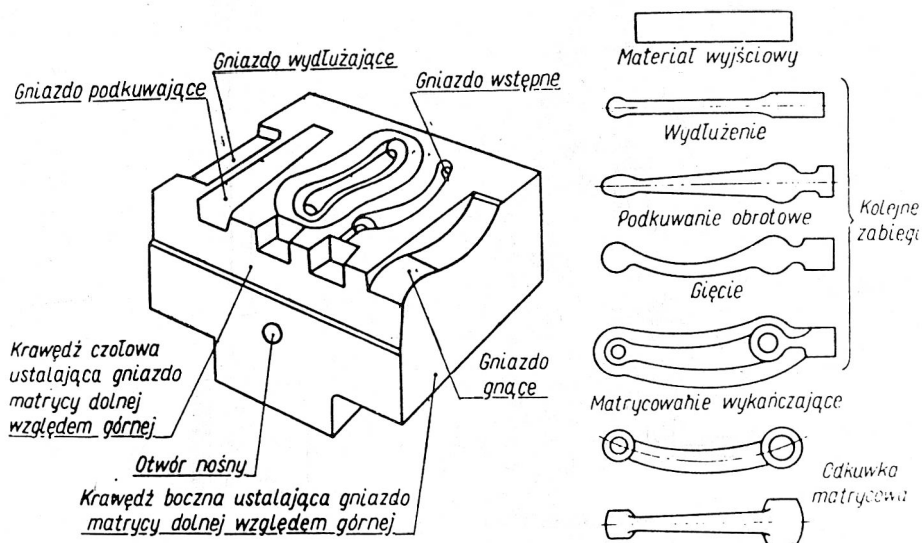
### 5.4. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych

#### 5.4.1. Młoty parowo-powietrzne szabotowe

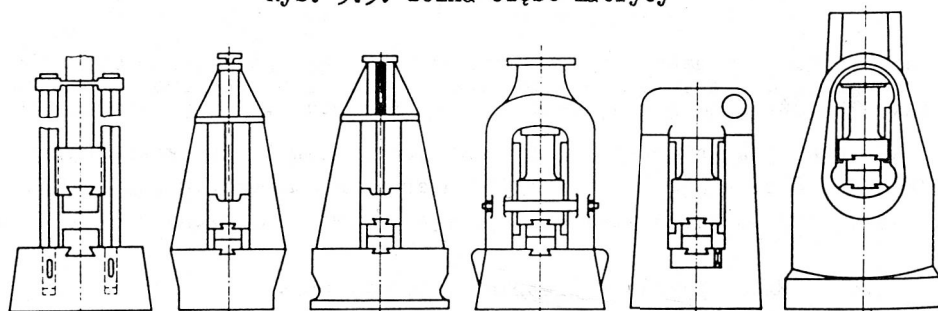
Młoty parowo-powietrzne są napędzane powietrzem lub przegrzaną parą o ciśnieniu 6-9 at. Wadą ich jest mała sprawność energetyczna (2-3%).

Rys. 5.4. Schemat konstrukcji młota matrycowego: 1 - szabota, 2 - stojaki, 3 - poprzeczka, 4 - mechanizm napędowy, 5 - bijak, 6 - śruby, 7 - sprężyny [3]

Skok młotów parowo-powietrznych zależy od długości trzona. W zależności od długości trzona rozróżnia się młoty z trzonem normalnym i skróconym.



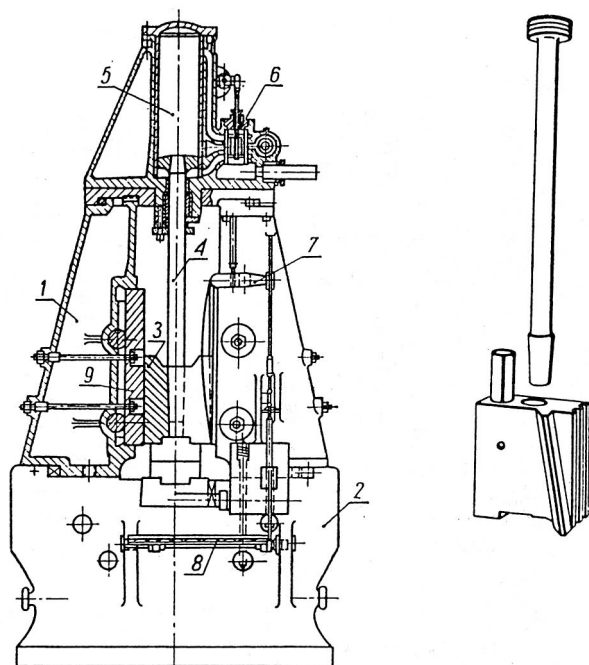
Rys. 5.5. Dolna część matrycy



Rys. 5.6. Tendencje rozwojowe w budowie korpusów młotów matrycowych

Młoty z trzonem normalnym (rys. 5.7) mają energię uderzenia do 500 kJ, a liczba uderzeń przy pełnym skoku wynosi 55–80 uderzeń na minutę. Wadą tych młotów jest pękanie trzonów, przeciętnie po około 400 maszynogodzinach pracy. Stosowane są do kucia wielowykrojowego.

Młoty krótkoskokowe (rys. 5.8) są sztywniejsze w porównaniu z młotami z trzonem normalnym. Części spadowe tych młotów są wykonane jako jednolite (tłok, trzon i bijak). Energia uderzenia tych młotów wynosi od 10 do 100 kJ, a liczba uderzeń od 90 do 100 na minutę. Prędkość bijaka osiąga wartość od 5 do 6 m/s. Nadają się do kucia wielowykrojowego. Do młotów krótkoskokowych zalicza się również młoty szybkobieżne, róż-



Rys. 5.7. Młot matrycowy z normalnym trzonem (parowo-powietrzny):  
1 - stojaki, 2 - szabota, 3 - bijaki, 4 - trzon, 5 - cylinder, 6 - stawidło, 7 - dźwignie sterujące z szablą, 8 - pedał, 9 - prowadnice [4]

nią się one tylko sterowaniem od zwykłych młotów krótkoskokowych. Młoty szybkobieżne osiągają od 160 do 240 uderzeń na minutę. Młoty szybkobieżne nadają się do kucia wielowykrojowego odkuwek wydłużonych.

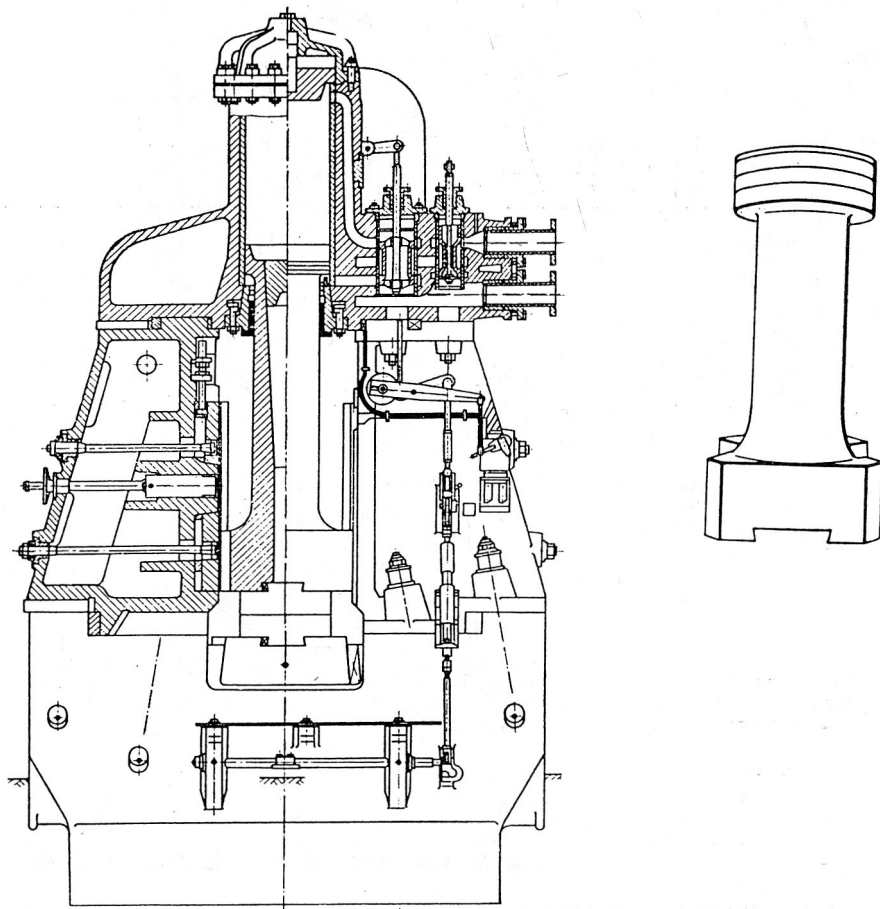
#### 5.4.2. Młoty parowo-powietrzne przeciwbieżne

Młoty przeciwbieżne mają dwa bijaki, które uderzają jednocześnie o przekuwany materiał. Młoty przeciwbieżne nie wymagają ciężkich fundamentów i mogą być ustawiane nawet na gruntach podmokłych lub w sąsiedztwie obiektów wrażliwych na wstrząsy. Ze względu na brak szaboty są one około 35% lżejsze od młotów szabotowych.

Energia młotów przeciwbieżnych dochodzi do 200 kJ. Młoty te nadają się do kucia średnich i ciężkich odkuwek w matrycach jednowykrojowych.

W grupie młotów przeciwbieżnych najbardziej rozpowszechnione są młoty taśmowe (rys. 5.9) ze względu na ich prostą konstrukcję. Wadą tych młotów jest częste zrywanie się taśm. Energia uderzenia młotów taśmowych wynosi od 50 do 400 kJ.



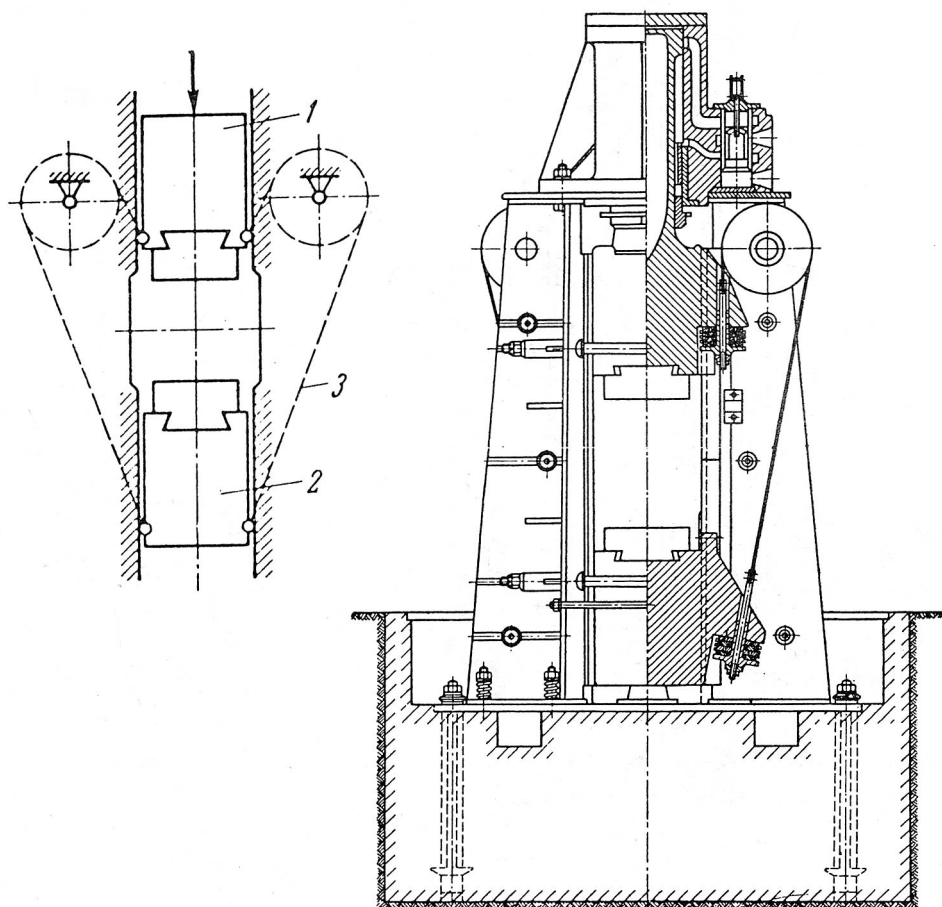


Rys. 5.8. Młot matrycowy parowo-powietrzny grubotrzonowy [3]

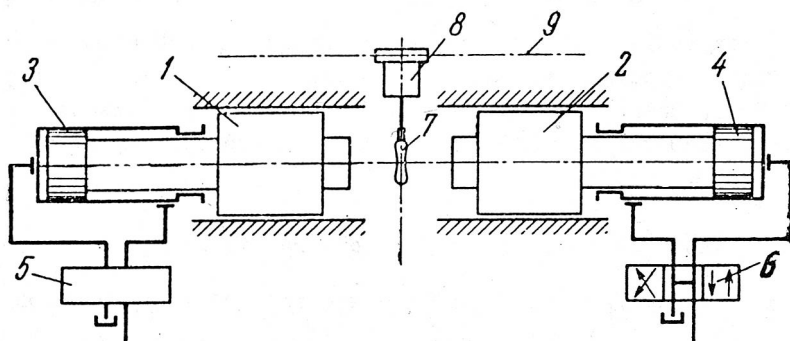
Do wykonywania drobnych odkuwek w dużych seriach stosuje się młoty przeciwbieżne napędzane sprężonym powietrzem (rys. 5.10) o ciśnieniu od 6,6 do 7,3 at. Energia uderzenia poziomych młotów przeciwbieżnych wynosi od 6,3 do 630 kJ. Wydajność dochodzi do kilku tysięcy sztuk na godzinę.

#### 5.4.3. Młoty hydrauliczne i pneumohydrauliczne

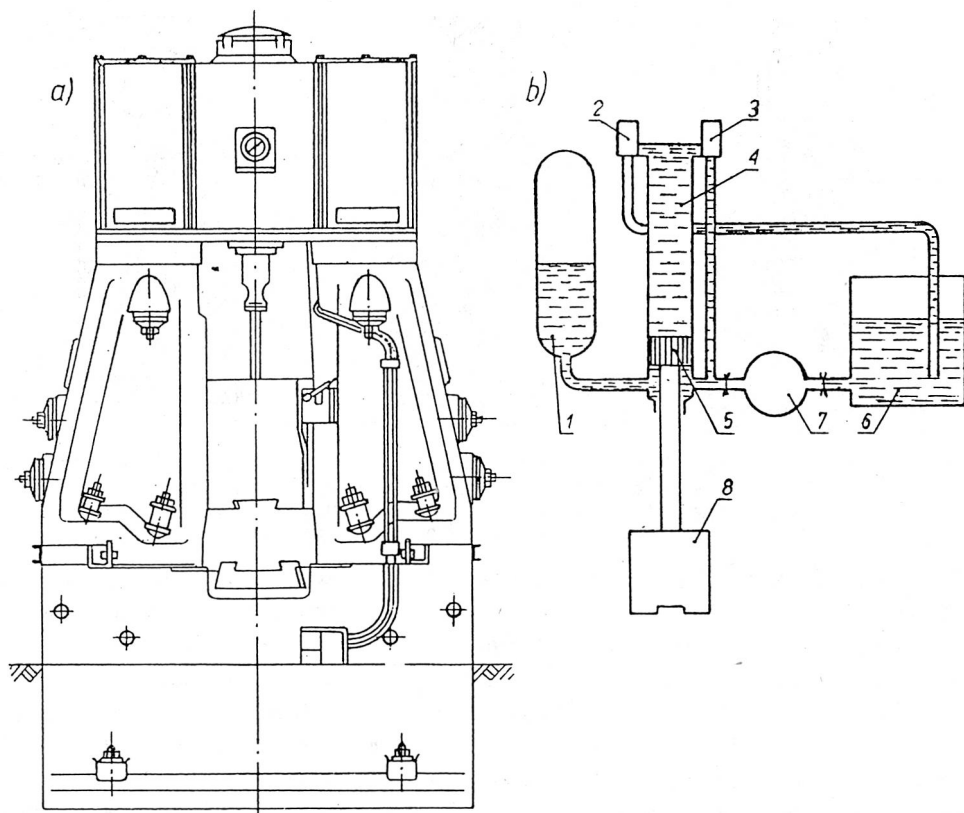
Do młotów bezszabotowych zalicza się również młoty pneumohydrauliczne, w których rolę szaboty spełnia poduszka pneumatyczna lub hydrauliczna. Zastosowanie np. poduszki hydraulicznej pozwoliło zmniejszyć masę młota o około 50% w stosunku do młotów parowo-powietrznych. Zasadę dzia-



Rys. 5.9. Młot przeciwbieżny taśmowy [4]: 1, 2 - bijaki, 3 - taśma



Rys. 5.10. Młot przeciwbieżny napędzany sprężonym powietrzem [3]:  
1, 2 - bijaki, 3, 4 - tłoki, 5 - zbiornik, 6 - rozdzielacz, 7 - odkuwka,  
8 - szczypce, 9 - prowadnica

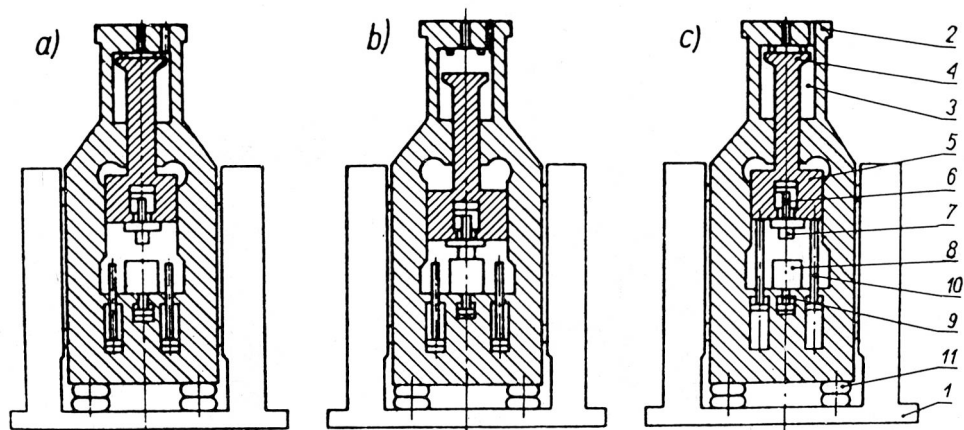


Rys. 5.11. Młot hydrauliczny podwójnego działania: a - widok ogólny, b - schemat [2]

łania takiego młota ilustruje rys. 5.11. Olej ze zbiornika 6 jest podawany za pomocą pompy 7 przez zawór 3 do górnej części cylindra 4, powodując ruch tłoka 5 i bijaka 8 w dół. Po wykonaniu uderzenia zamyka się zawór wlotowy 3 i odmyka wylotowy 2. Olej wypływa z cylindra 4 do zbiornika 6 i równocześnie przepływa pod tłok 5, powodując podnoszenie bijaka.

#### 5.4.4. Młoty szybkobieżne

Młoty szybkobieżne napędzane sprężonym azotem lub innym gazem osiągały prędkość bijaków od 18 do 40 m/s. Są stosowane do produkcji odlewów o bardzo skomplikowanych kształtach, wykonywanych z trudno odkształcalnych materiałów. Przykład takiego młota pokazano na rys. 5.12. Cykl pracy tego młota składa się z trzech etapów (rys. 5.13):

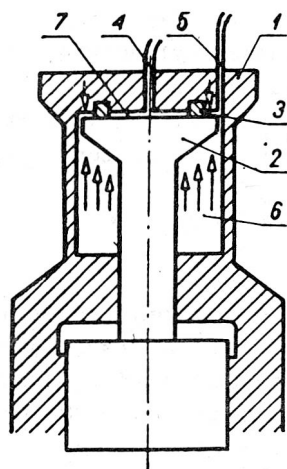


Rys. 5.12. Schemat młota szybkobieżnego: 1 - prowadnice, 2 - ruchoma rama, 3 - cylinder, 4 - trzon, 5 - bijak, 6 - wyrzutnik hydrauliczny, 7 - matryca górna, 8 - matryca dolna, 9 - wyrzutnik hydrauliczny, 10 - podnośniki hydrauliczne [2]

I. Położenie wyjściowe. Gaz wypełnia przestrzeń roboczą cylindra 6 i tłok 2 zostaje dociśnięty do uszczelki 3. Podnośniki hydrauliczne (rys. 5.12a) znajdują się w dolnym położeniu.

II. Ruch roboczy. Po włączeniu odpowiedniego rozdzielacza do górnej przestrzeni 7 cylindra wpływa przez otwór 4 niewielka ilość gazu pod wysokim ciśnieniem. Tłok zaczyna przemieszczać się do dołu i traci kontakt z pierścieniem uszczelniającym. Wyrównanie ciśnień nad i pod tłokiem oraz różnica powierzchni na jakie ono działa powoduje przyspieszony ruch tłoka z tłoczyskiem i bijakiem w dół.

III. Ruch jałowy w górę. Po uderzeniu bijaka uruchamiają się podnośniki hydrauliczne, unoszące bijak młota w górę. Tłok zostaje dociśnięty do pierścienia uszczelniającego i młot jest gotowy do następnego cyklu pracy.



Rys. 5.13. Schemat uszczelnienia młota z rys. 5.10: 1 - cylinder, 2 - tłok, 3 - pierścień uszczelniający, 4 - otwór połączony z atmosferą (w położeniu wyjściowym), 5 - otwór do prowadzący gaz o wysokim ciśnieniu, 6 - przestrzeń robocza cylindra, 7 - górna przestrzeń cylindra [2]

Literatura do rozdziału 5

1. BANKETOV A. N. i inni., Kuznečno-štampovočnoe oborudovanie, Moskva, Mašinostroenie, 1970.
2. WASIUNYK P., Kucie matrycowe, Warszawa, WNT, 1975.
3. WASIUNYK P., JAROCKI J., Kuźnictwo i prasownictwo, Bielsko-Biała, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1977.
4. WASIUNYK P., JAROCKI J., Kuźnictwo i prasownictwo, Warszawa, PWSzZ, 1969.

## 6. MASZyny ROTACYJNE

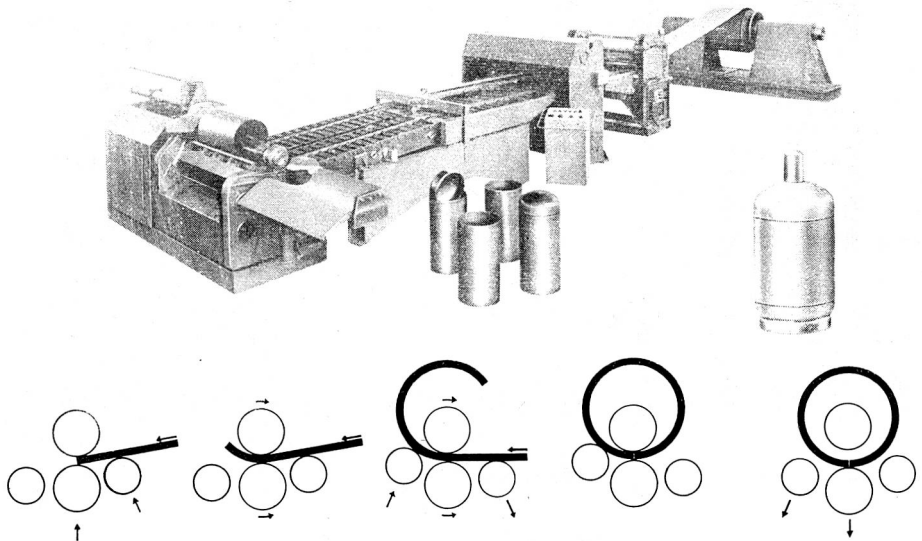
### 6.1. Przeznaczenie i klasyfikacja

Technologiczne zastosowania przetwórczych maszyn rotacyjnych (niehutniczych) pozwalają podzielić je najogólniej na maszyny do kształtowania blach i maszyny do obróbki objętościowej.

Do pierwszej grupy zalicza się nożyce krążkowe, niektóre maszyny do gięcia, walcarki do wyrobów profilowych, wyoblarki i maszyny do kształtowania metodą zgniatania obrotowego.

Do grupy drugiej zalicza się walce kuźnicze, automaty do walcowania gwintów, walcarki do rozwałcowywania pierścieni, walcarki do kół oraz ciężkie maszyny do kształtowania odlewów i odkuwek metodą zgniatania obrotowego.

Maszyny rotacyjne charakteryzują się ciągłością cyklu pracy. Operacje technologiczne są wykonywane w czasie transportu obrabianego materiału. Wymaga to oczywiście automatyzacji podawania materiału przeznac-



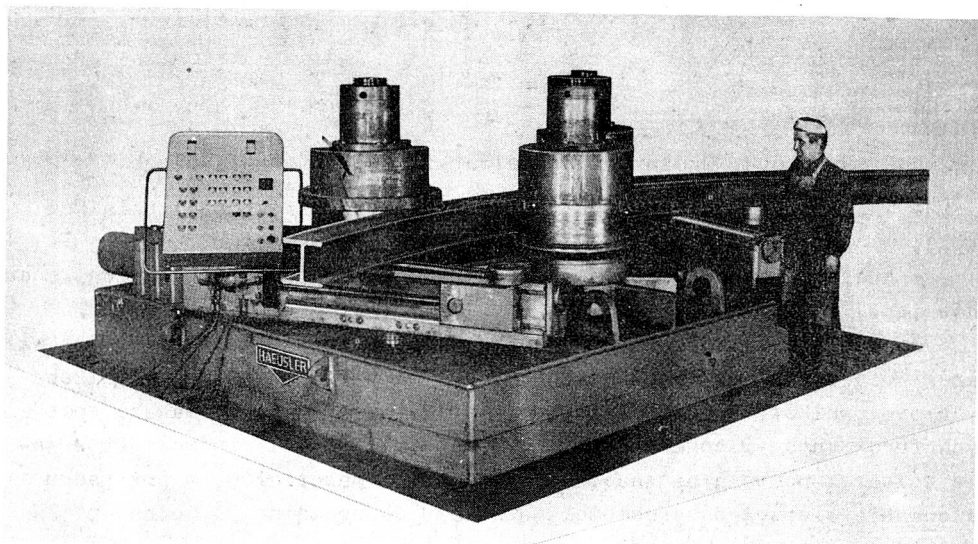
Rys. 6.1. Ogólny widok walcarki do gięcia blach [3]

czonego do obróbki. Omówione wcześniej maszyny, np. młoty i prasy wykorzystują tylko część swojego skoku na wykonanie operacji kształtowania. Dlatego też, maszyny rotacyjne znajdują coraz powszechniejsze zastosowanie, jako bardziej ekonomiczne.

Podstawowym parametrem użytkowym maszyn rotacyjnych jest nominalny moment skręcający, występujący na głównym wale maszyny. W niektórych przypadkach, np. w walcach kuźniczych, oprócz momentu skręcającego ważny jest również nominalny nacisk (siła).

## 6.2. Maszyny do prostowania i gięcia

Na rysunku 6.1 pokazano przykład czterowalcowej giętarki do obróbki blach, a na rys. 6.2 do gięcia profili. Na rysunku 6.3 przedstawiono walcarkę do prostowania blach. Rozkład sił i przebieg odkształceń materiału w czasie gięcia omówiono we wcześniejszych wykładach.

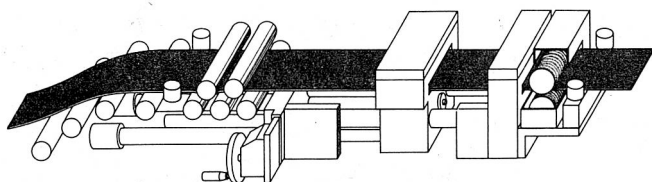
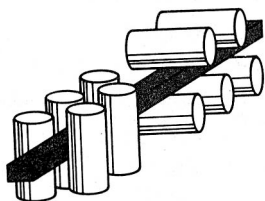
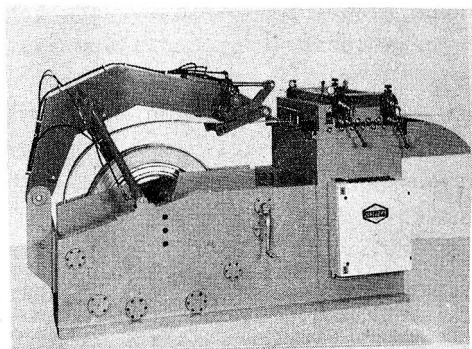


Rys. 6.2. Ogólny widok walcarki do gięcia kształtowników [2]

## 6.3. Walcarki kuźnicze

Roboczymi elementami walcarek kuźniczych są segmenty matrycowe przymocowane do walców i obracające się z nimi. Rozróżnia się trzy podstawowe grupy procesów technologicznych realizowanych na walcarkach kuźniczych:

- walcowanie wielowykrojowe przedkuwek przeznaczonych do kucia na młotach lub korbowych prasach kuźniczych,



Rys. 6.3. Ogólny widok walcarki do prostowania blach

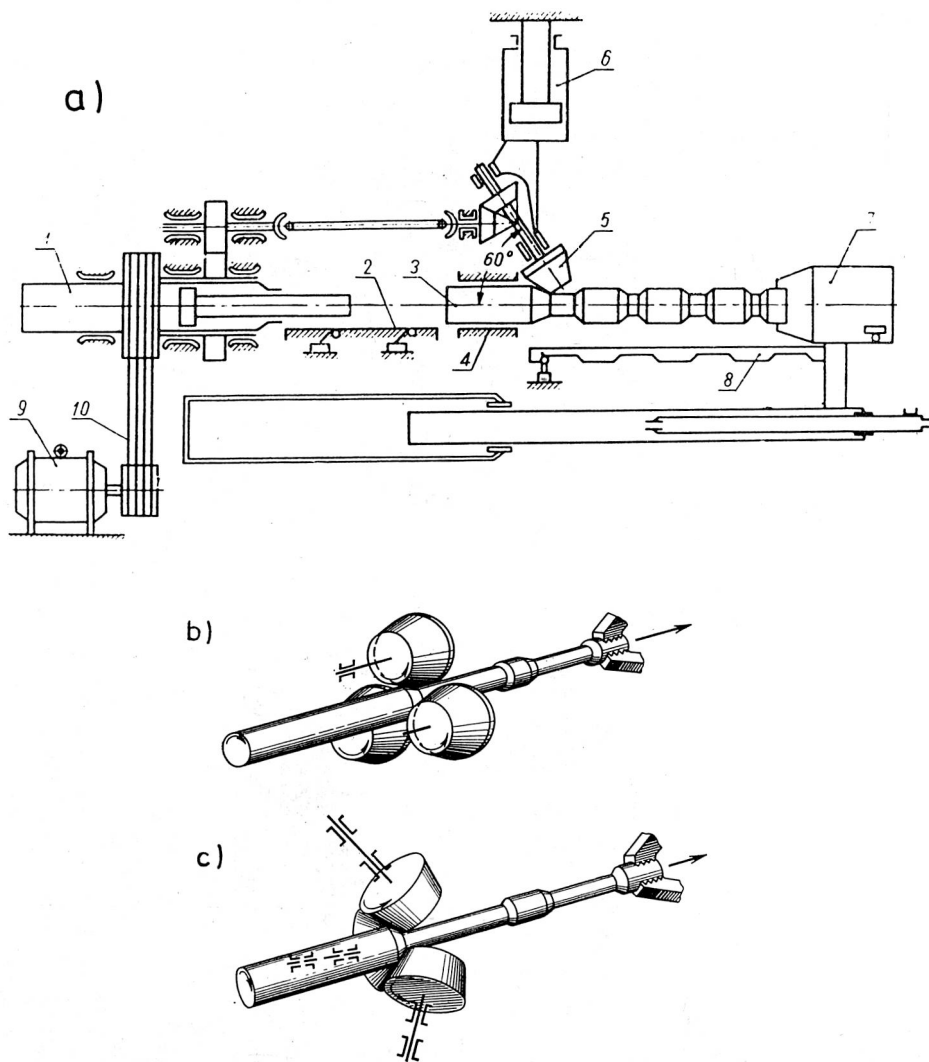
- walcowanie dokładne (półfabrykaty wiertel, rękojeści pilników itp.),
- kucie matrycowe odkuwek z wypływką (klucze do śrub, ogniwa łańcuchów itp.).

Największe zastosowanie znalazło walcowanie przedkuwek. Zaletą walcarek kuźniczych jest możliwość ich obsługi przez mniej wykwalifikowanych pracowników. W porównaniu z młotami, walcarki nie wymagają specjalnych fundamentów i mogą być przenoszone z miejsca na miejsce. Stosowanie walcarek pozwala na znaczne oszczędności materiałów. W przypadku walcowania wiertel oszczędności materiału dochodzą do 30, a nawet 50% w porównaniu z frezowaniem.

Walcarki do walcowania okresowego umożliwiają produkowanie wydłużonych przedmiotów o powtarzającym się zarysie przekroju poprzecznego lub kul wykonywanych bezpośrednio z pręta.

Przykłady walcarek do walcowania poprzecznego pokazano na rysunkach 6.4 do 6.7. Na rysunku 6.4 przedstawiono schemat trójwalcowej walcarki kopiującej. Walcarki tego typu stosuje się do produkcji półfabrykatów: półosi samochodowych, ciągnikowych, wagonowych oraz wałów silników elektrycznych i reduktorów, wrzecion włókienniczych, itp. Podstawową zaletą tych walcarek jest nieskomplikowany kształt narzędzi (rys.



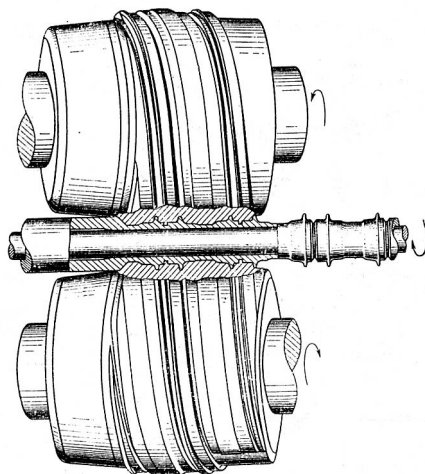


Rys. 6.4. Schemat walcarki i procesu walcowania: a) trójwalcowa walcarka kopiująca: 1 - podajnik, 2 - stół, 3 - walcowany pręt, 4 - prowadnica, 5 - narzędzia, 6 - cylinder sterujący, 7 - uchwyt, 8 - szablon, 9 - silnik, 10 - napęd; b) walcowanie walcami cylindrycznymi, c) walcowanie walcami stożkowymi [4]

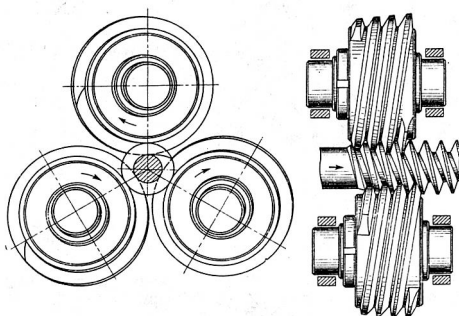
6.4b,c), ich uniwersalność i łatwość wykonania, a ponadto wysoka wydajność i automatyczny przebieg procesu walcowania.

Walcowanie poprzeczne walcami śrubowymi (rys. 6.5) polega na kształtowaniu materiału w wykroju utworzonym przez klinowe występy, rozmieszczone na obwodzie walców w formie linii śrubowej. Osie walców są położone pod kątem w stosunku do osi walcowanego pręta. Obrót walców wy-

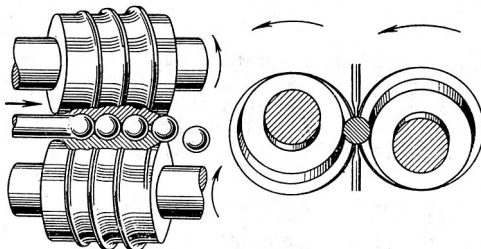
a)



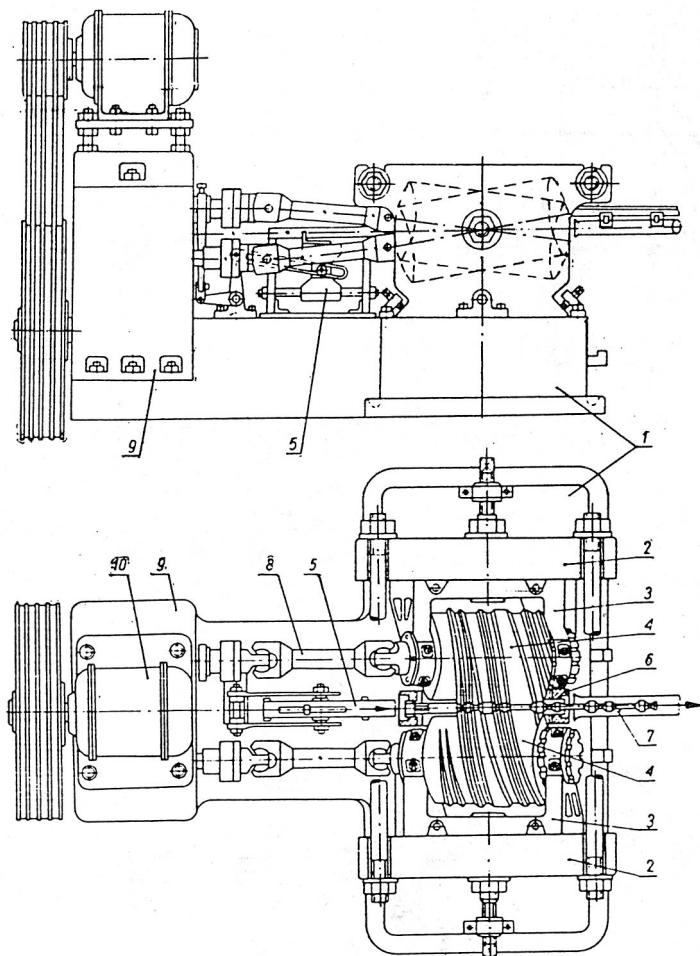
b)



c)



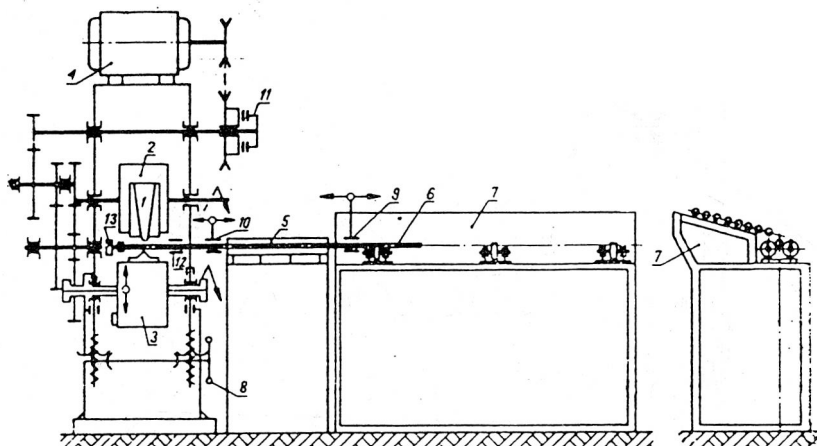
Rys. 6.5. Schematy walcowania walcami śrubowymi: a) płyty rowerowej, b) gwintu, c) kul



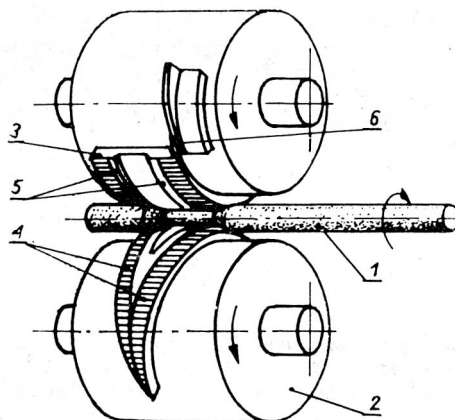
Rys. 6.6. Walcarka z dwoma walcami śrubowymi: 1 - korpus, 2 - klatka robocza, 3 - uchwyt, 4 - walce śrubowe, 5 - podajnik, 6 - prowadnica, 7 - uchwyt, 8 - wał napędowy, 9 - skrzynia napędowa, 10 - silnik [4]

wołuje postępowy i obrotowy ruch pręta. Walcarki tego typu stosuje się w produkcji małych przedkuwek oraz odkuwek o przekroju kołowym. Podstawową wadą tych walcarek jest trudność związana z wykonawstwem narzędzi i znaczny koszt narzędzi. Schemat walcarki z walcami śrubowymi pokazano na rys. 6.6.

Na rysunku 6.7 pokazano schemat walcarki poprzecznej z walcami klinowymi. Walcowanie walcami klinowymi (rys. 6.8) polega na kształtowaniu materiału między segmentami umieszczonymi na walcach (rys. 6.9).

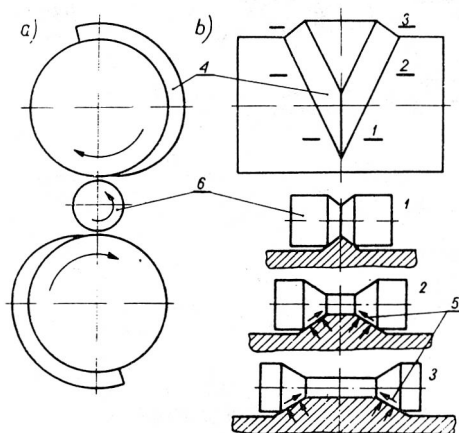


Rys. 6.7. Schemat walcarki poprzecznej z walcami klinowymi: 1 - narzędzie klinowe, 2 - walec górny, 3 - walec dolny, 4 - silnik napędowy, 5 - nagrzewnica indukcyjna, 6 - pręt wyjściowy, 7 - podajnik z rolkami prowadzącymi, 8 - mechanizm regulacji rozstawu walców, 9 - podajnik pręta do nagrzewnicy, 10 - podajnik nagrzaných prętów, 11 - sprzęgło, 12 - przewód, 13 - zderzak [4]

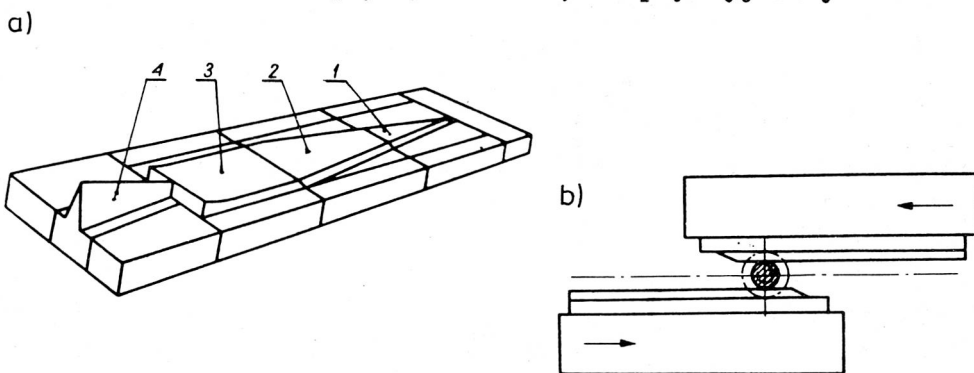


Rys. 6.8. Zasada walcowania poprzecznego walcami klinowymi: 1 - walcowany pręt, 2 - walec roboczy, 3 - narzędzie, 4 - robocza część narzędzia, 5 - kalibrująca część narzędzia, 6 - nóż

Ostatnio, ze względu na wysoką wydajność, wprowadzane jest coraz częściej walcowanie narzędziami płaskimi (rys. 6.10). Narzędzia wykonują ruch posuwisto-zwrotny w przeciwnych kierunkach. Przykłady wyrobów otrzymywanych metodą walcowania narzędziami płaskimi pokazano na rys. 6.11.



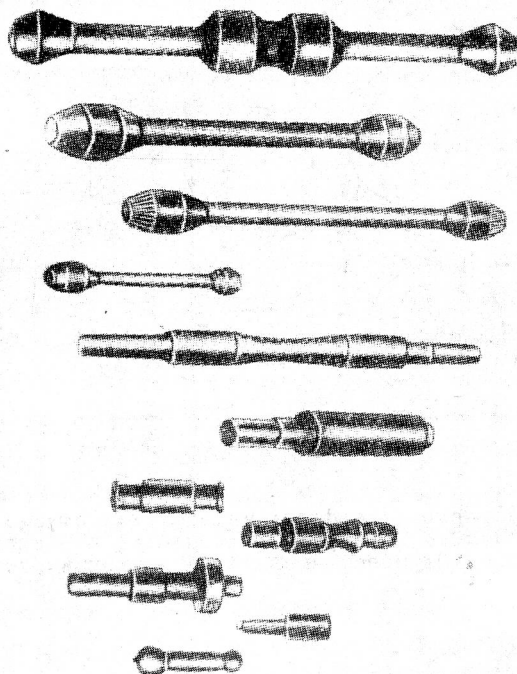
Rys. 6.9. Walcowanie poprzeczne dwoma walcami klinowymi: a) walce robocze, b) narzędzia, 1, 2, 3 - fazy kształtowania, 4 - część robocza, 5 - kierunek płynięcia metali, 6 - pręt wyjściowy



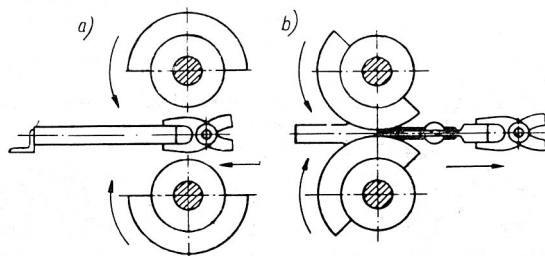
Rys. 6.10. Narzędzia (a) i zasada walcowania poprzecznego narzędziami płaskimi (b): 1, 2 - segmenty do wstępnego kształtowania, 3 - segment wykańczający, 4 - nóż

Najbardziej rozpowszechnioną metodą walcowania kuźniczego jest walcowanie wzdłużne (rys. 6.12). Metodą tą wykonuje się szeroki asortyment przedkuwek o wydłużonym kształcie (rys. 6.13) oraz odkuwki dźwigni, ogniw łańcuchowych itp.

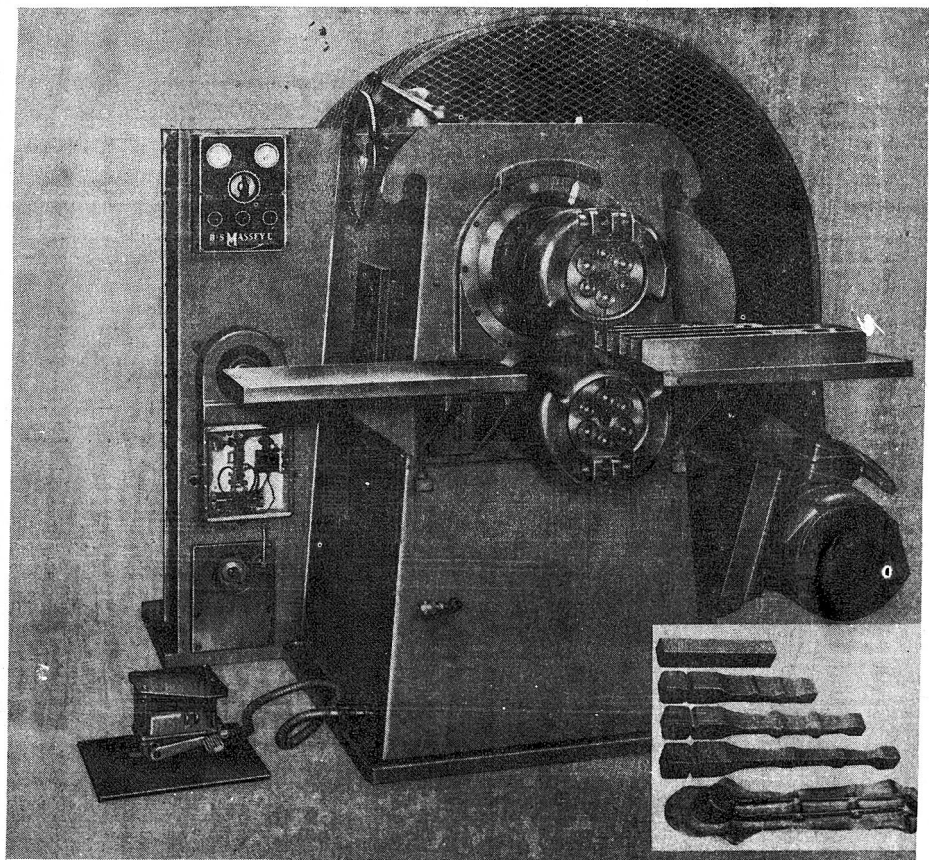
Przytoczone przykłady walcarek kuźniczych nie wyczerpują zagadnienia. Oprócz walcowania poprzecznego i wzdłużnego stosuje się również metody i maszyny specjalne. Walcarki stosuje się ponadto w obróbce plastycznej na zimno, np. w produkcji kół zębatach, śrub i innych części maszyn.



Rys. 6.11. Przykłady wyrobów wykonanych na walcarki z narzędziami płaskimi



Rys. 6.12. Schemat procesu walcowania wzdłużnego: a) wyjściowe położenie walców, b) położenie robocze

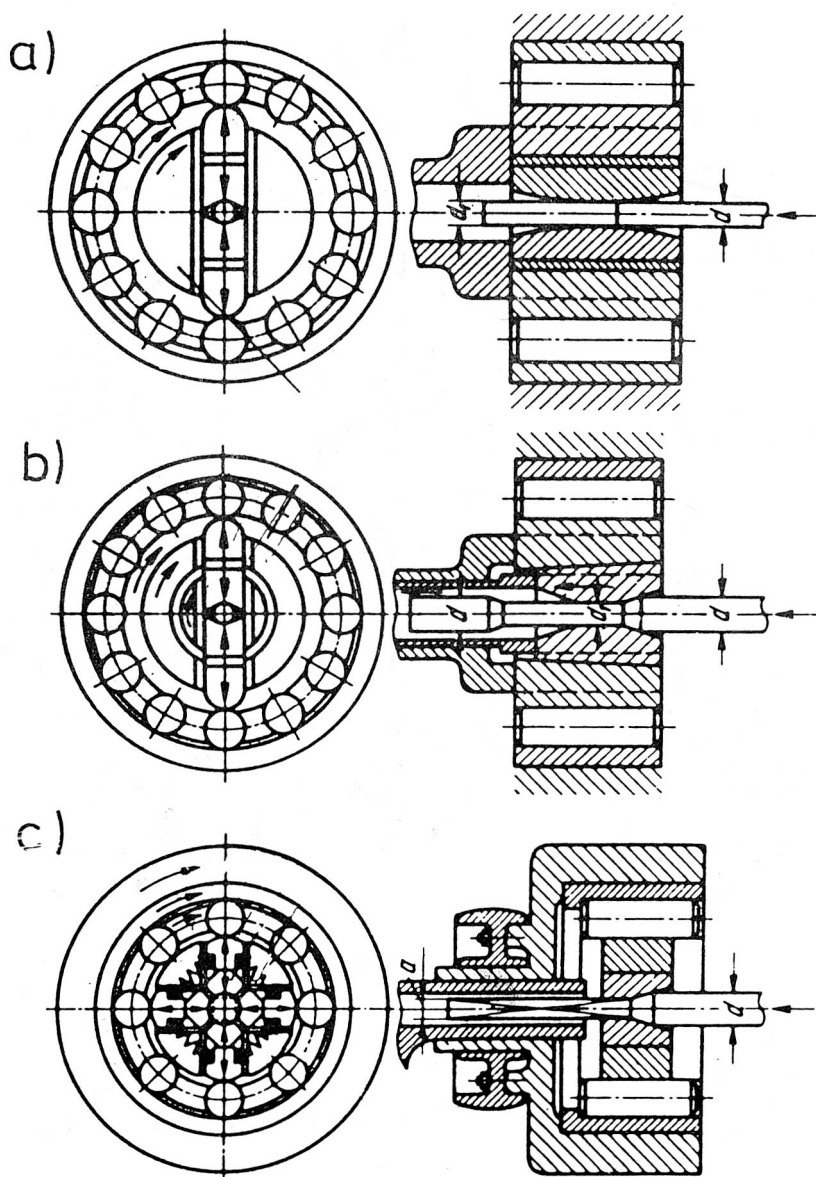


Rys. 6.13. Przykłady przedkuwek wykonanych na walcarkach do walcowania wzdłużnego

#### 6.4. Kowarki

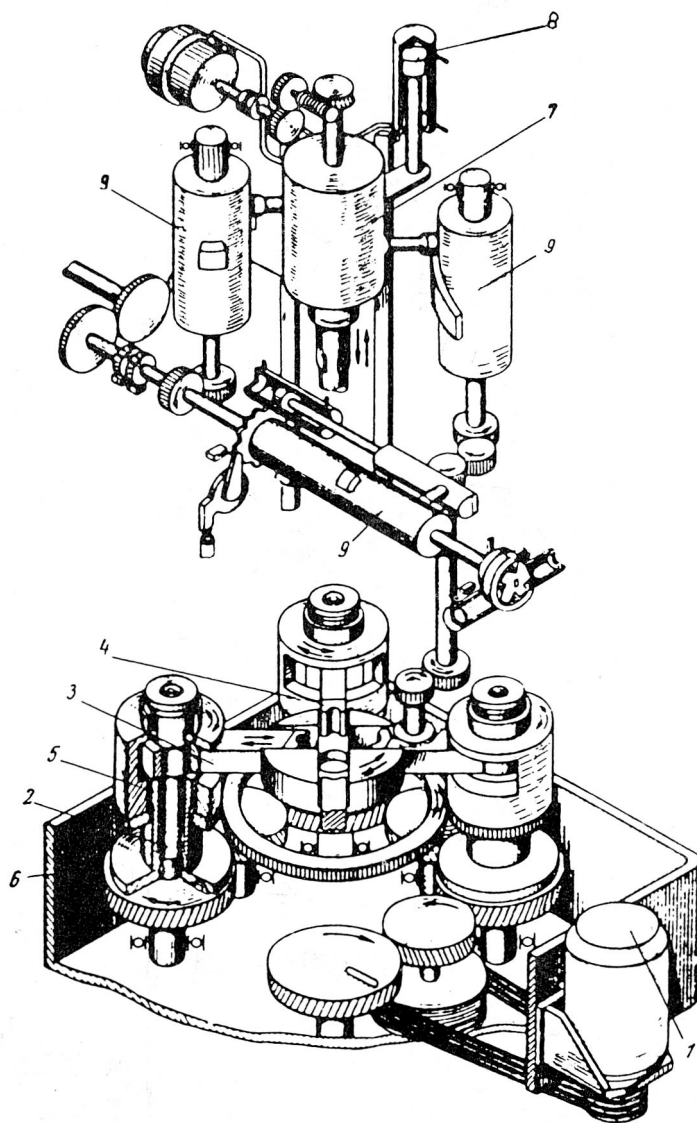
Kowarki stosuje się w produkcji wszelkiego rodzaju cylindrycznych i stopniowych wałków, stożków, do miejscowego zmniejszania średnicy rur i tulei rurowych. Kucie może zachodzić na całej długości wyrobu lub jego części.

Kucie na kowarkach zastępuje z powodzeniem obróbkę na tokarkach skrawających. Pozwala ono zwiększyć dokładność obróbki, zmniejszyć chropowatość powierzchni, poprawić parametry wytrzymałościowe oraz zmniejszyć straty materiału. Na rysunku 6.14 pokazano układ młoteczków i przebieg kucia na kowarce z wirującymi bijakami. Schemat kowarki czterobijakowej przedstawiono na rys. 6.15. Bijaki kowarki czterobijakowej są na-

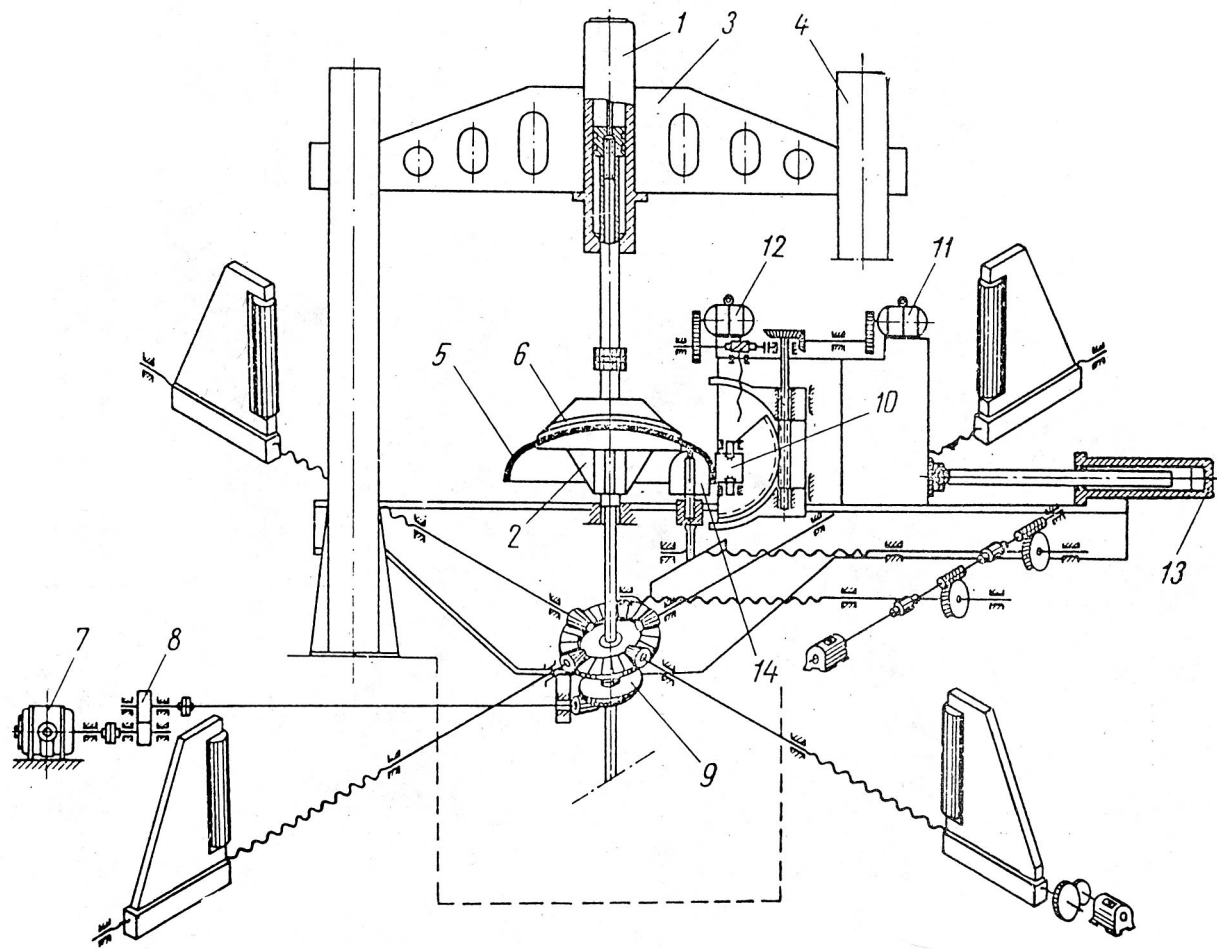


Rys. 6.14. Sposób napędzania młoteczków kowarki z wirującymi bijakami [1]: 1 - pierścień zewnętrzny, 2 - młoteczki, 3 - wałeczki, 4 - wkładki matrycowe, 5 - pierścień wewnętrzny, 6 - kuty pręt; 7 do 13 pierścienie





Rys. 6.15. Schemat kinematyczny kowarki czterobijakowej: 1 - silnik elektryczny, 2 - wały korbowe, 3 - korbowody, 4 - kowadła, 5 - tuleja mimośrodowa, 6 - korpus, 7 - suwak, 8 - cylinder hydrauliczny, 9 - bębny kopiujące [1]



Rys. 6.16. Schemat kinematyczny wyoblarki: 1 - cylinder hydrauliczny, 2 - wzornik, 3 - belka poprzeczna, 4 - kolumny prowadzące, 5 - obrabiany materiał, 6 - matryca, 7 - silnik, 8 - reduktor, 9 - koło zębate, 10 - rolka dociskająca, 11, 12 - silniki, 13 - siłownik hydrauliczny, 14 - rolka kształtująca [1]

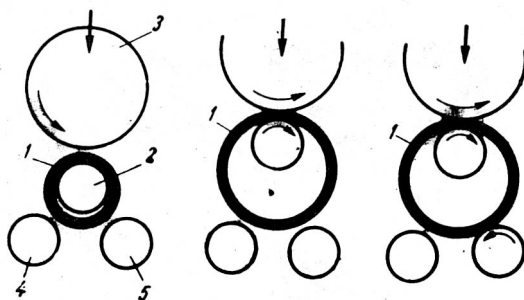
pędzane wałami korbowymi. Maszyny te osiągają naciski ok. 4 000 kN i częstość skoków kowadeł dochodzącą do 500 na minutę.

### 6.5. Maszyny do zgniatania obrotowego

Maszyny do zgniatania obrotowego pracują na zasadzie zbliżonej do pracy tokarki, w której nóż tokarki zastąpiono rolką zgniatającą. Maszyny tego rodzaju są coraz częściej wspomagane komputerami.

### 6.6. Maszyny do wyoblania

Na rysunku 6.16 pokazano schemat wyoblarki do produkcji dennic zbiorników. Wyoblarki pozwalają kształtować dennice o znacznych średnicach, np. 6 m z materiału o grubości do 50 mm (na zimno) i do 200 mm (na gorąco). Jeżeli na jedną dennicę trzeba kilku arkuszy blachy, arkusze te spawa się ze sobą. Maszyny te nadają się przede wszystkim do jednostkowej i małoseryjnej produkcji dennic.

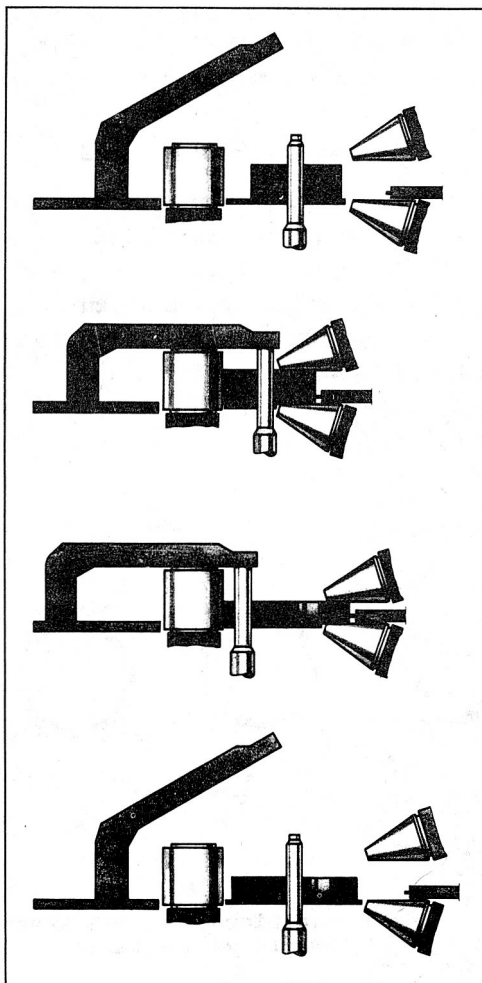


Rys. 6.17. Walcarka do walcowania pierścieni bez kontroli ich wysokości - kolejność rozwałcowywania

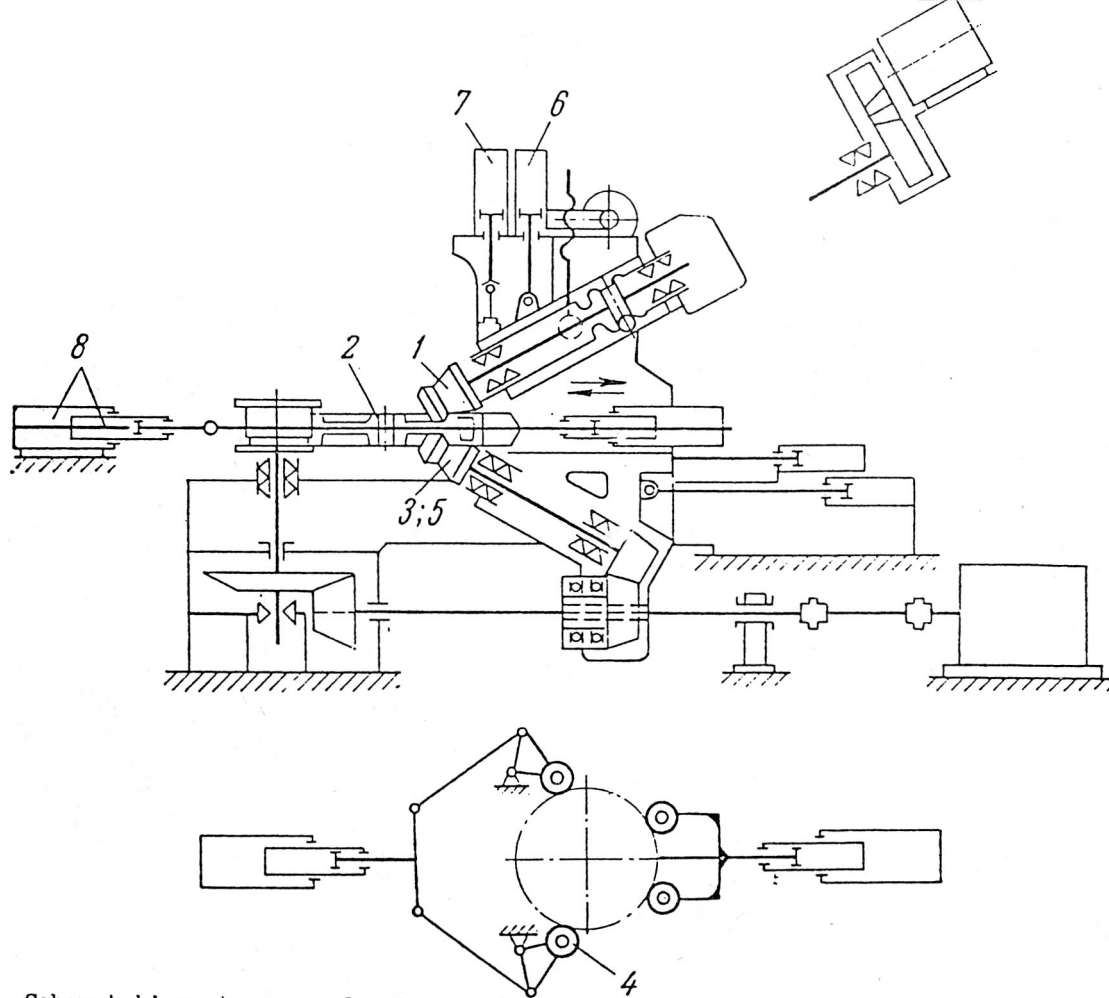
### 6.7. Walcarki do pierścieni i kół

Materiałem wyjściowym do produkcji pierścieni są krążki z grubej blachy wykrawanej na prasach lub pierścienie (tuleje) otrzymane metodą kucia i przebijania oraz odlewania lub spawania.

Nagrzany półfabrykat 1 zakłada się na rolkę 2 (rys. 6.17). Rolka 3 jest rolką napędzającą. Rolki 2, 4 i 5 nie mają napędu. Rolki 4 i 5 przemieszczają się w miarę przyrostu średnicy rozwałcowywanego pierścienia. Ogólny widok walcarki do pierścieni przedstawiono na rys. 6.18 a na rys. 6.19 schemat walcarki do kół wagonowych.



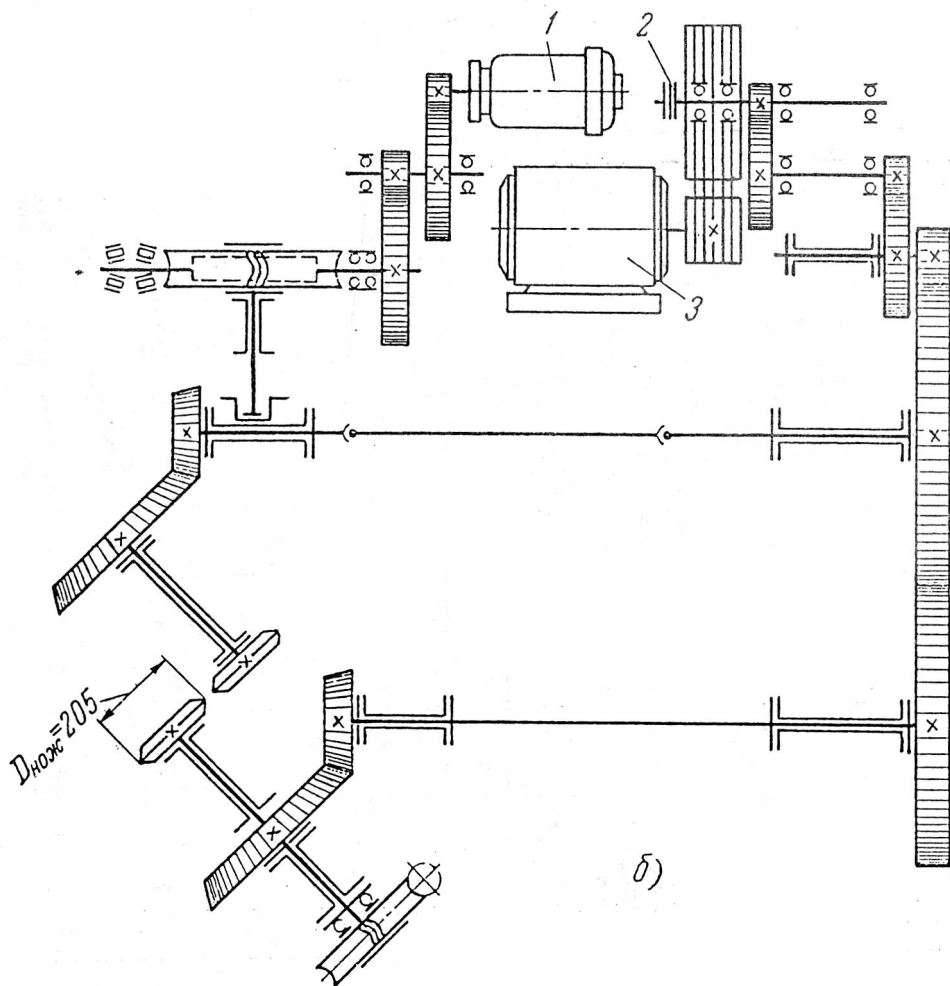
Rys. 6.18. Walcarka do walcowania pierścieni o kontrolowanej wysokości



Rys. 6.19. Schemat kinematyczny walcarki do kół wagonowych [1]: 1, 3, 5 - rolki walcujące, 2 - walcowane koło, 6 do 8 - cylindry nastawcze

### 6.8. Nożyce krążkowe

Nożyce krążkowe stosuje się do cięcia po linii prostej lub dowolnie krzywej. Wymiana noży krążkowych na specjalne rolki umożliwia zastosowanie maszyny do zaginania krawędzi lub gięcia materiału. Na rysunku 6.20 pokazano schemat nożyc krążkowych dwurolkowych. W zależności od wielkości nożyc można na nich ciąć blachy o grubości do 2,5-6,3 oraz 10 mm. Prędkość cięcia wynosi około 2,5-7,5 m/min.



Rys. 6.20. Schemat kinematyczny nożyc krążkowych [1]

Literatura do rozdziału 6

1. BANKETOV A. N. i inni, Kuznečno-stampovočnoe oborudovanie, Moskva, Mašinostroenie, 1970.
2. HPR-asym Asymmetrische Universal-Profilbiegemaschinen, prospekt firmy HAEUSLER, Szwajcaria.
3. VRM-hy Hydraulische Vierwalzen-Blechrund und Konischbiegemaschinen, prospekt firmy HAEUSLER, Szwajcaria.
4. LISOWSKI J., Walcowanie kuźnicze, Warszawa, WNT, 1974.

## 7. MASZyny I STANOWISKA DO KSZTAŁTOWANIA Z DUŻYMI ENERGIAMI

Rozwój techniki spowodował, że coraz częściej stosuje się odkształcanie materiałów za pośrednictwem cieczy, gazów lub pola elektromagnetycznego, z pominięciem stempli. Do kształtowania wykorzystuje się energię hydraulicznego uderzenia, energię wybuchu lub elektrycznego wyładowania w cieczy. Prędkość odkształcania dochodzi do 20, a nawet 300 m/s, przy czym czas działania siły kształtującej materiał określa się tysiącnymi i milionowymi częściami sekundy.

### 7.1. Stanowiska do kształtowania energią wybuchu

Na rysunku 7.1 pokazano przykładowo stanowisko do produkcji wyrobów z materiałów trudno odkształcalnych oraz wytwarzania przedmiotów o znacznych wymiarach lub złożonym kształcie. Jest to stanowisko do tłoczenia wybuchowego. Do wykonania wymienionych przedmiotów tradycyjną metodą tłoczenia należałoby stosować unikatowe, ciężkie prasy. Tłoczenie wybuchowe pozwala produkować praktycznie wyroby o nieograniczonych wymiarach.

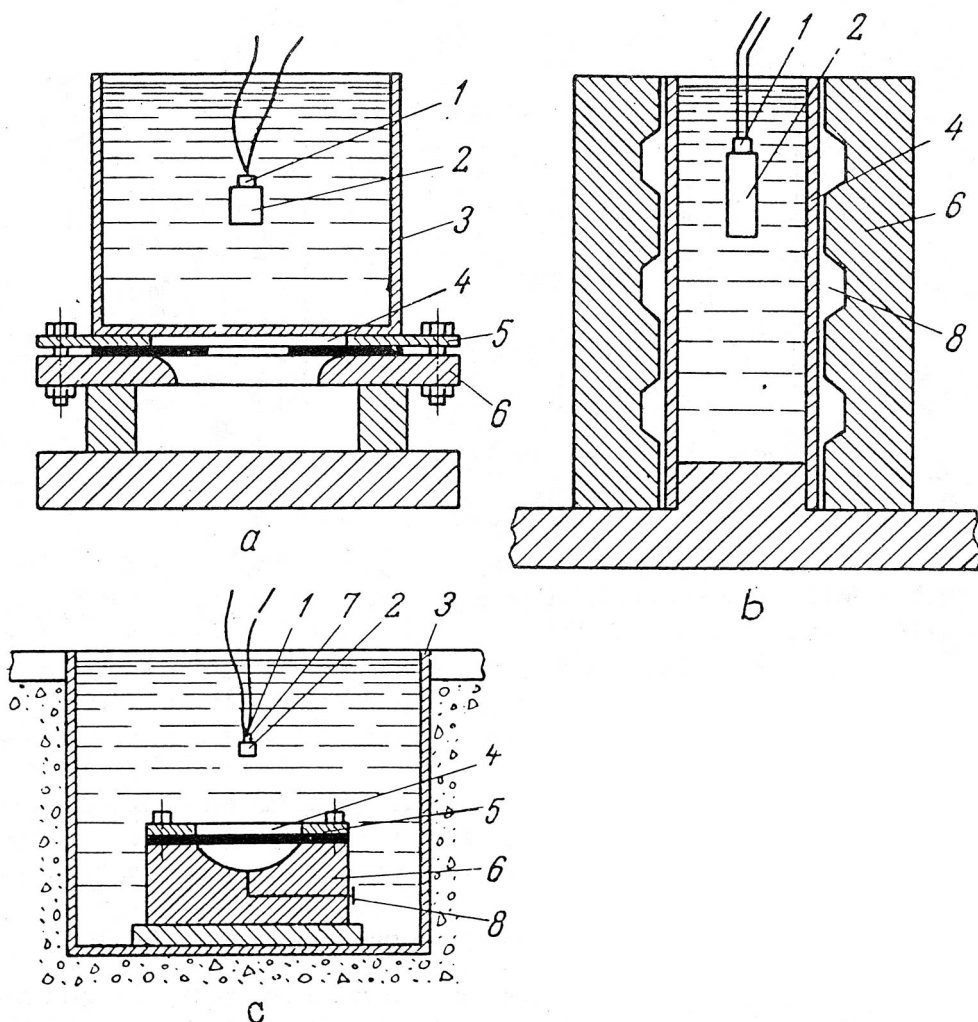
Rozróżnia się trzy podstawowe sposoby kształtowania wybuchowego (rys. 7.1): swobodne, kiedy kształtowany materiał przechodzi przez otwór w matrycy (rys. 7.1a), kształtowanie płaskiego materiału zdeterminowane jest kształtem matrycy (rys. 7.1b) oraz rozpęczanie (rys. 7.1c) rurowych lub tulejowych wstępniaków przyjmujących kształt rozbieralnej matrycy.

Źródłem energii przy kształtowaniu wybuchowym jest materiał wybuchowy w kształcie arkusza, sznura, pręta lub rurki itp. - łącznie z różnymi kombinacjami kształtu, pozwalającymi osiągnąć określony kierunek fali uderzeniowej.

Kształtowanie wybuchowe realizuje się w powietrzu lub wodzie po umieszczeniu ładunku wybuchowego w pewnej odległości od kształtowanego materiału. Osiąga się tym sposobem ciśnienie dochodzące do tysięcy MN/m<sup>2</sup>.

Matryce do kształtowania wybuchowego wykonuje się metodą odlewania tanich metali lub żywic epoksydowych oraz z materiałów ceramicznych.



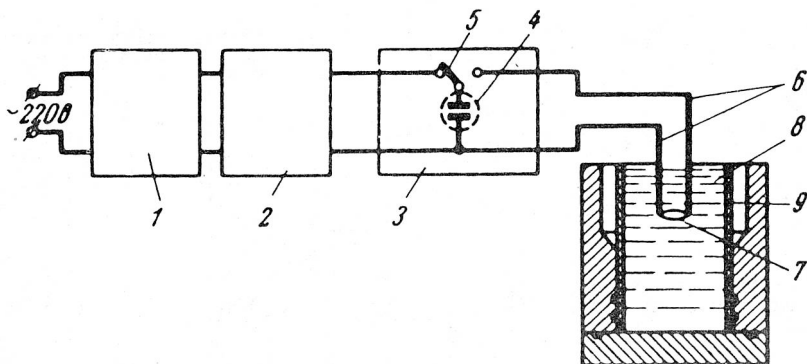


Rys. 7.1. Schematy stanowisk do kształtowania energią wybuchu:  
 a - kształtowanie swobodne, b - kształtowanie w matrycy, c - kształtowanie przedmiotów z materiału w postaci rury [1]: 1, 7 - zapalnik, 2 - materiał wybuchowy, 3 - zbiornik, 4 - kształtowany materiał, 5 - dociskacz, 6 - matryca, 8 - odpowiedźnik

Najbardziej wytrzymałymi okazują się matryce z niskotopliwych stopów i zbrojonych tworzyw sztucznych.

## 7.2. Stanowiska do kształtowania energią wyładowań elektrycznych w cieczy

Stanowiska do kształtowania energią wyładowań elektrycznych buduje się w ten sposób (rys. 7.2), żeby energia z sieci o napięciu 110–220 V mogła być przetworzona w sposób umożliwiający osiągnięcie napięcia od 5



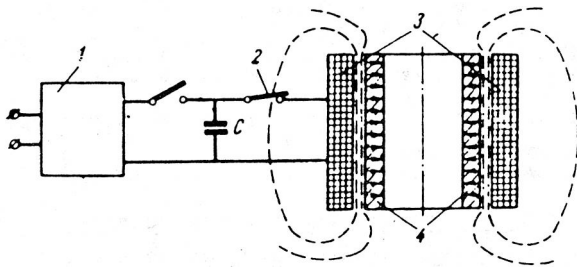
Rys. 7.2. Schemat stanowiska do kształtowania energią wyładowań elektrycznych: 1 - blok zasilania, 2 - prostownik, akumulator, 4 - kondensatory, 5 - przełącznik, 6 - elektrody, 7 - drut wolframowy, 8 - ciecz, 9 - kształtowany materiał [1]

do 10 kV. Energia gromadzi się następnie w bloku wyposażonym w specjalne kondensatory. Rozładowanie energii przebiega w cieczy, może być zainicjowane wolframowym drutem 7 łączącym elektrody. Przy impulsyjnym rozładowaniu kondensatorów drut wolframowy ulega nagłemu wyparowaniu, co stanowi źródło fali uderowej. Fala ta jest przekazywana przez środowisko wodne i powoduje kształtowanie materiału. Czas ładowania kondensatorów wynosi około 5 sekund.

Stanowiska do kształtowania energią wyładowań elektrycznych mają powszechne zastosowanie do wykonywania wyrobów i trudno odkształcalnych materiałów, takich jak: molibden, wolfram oraz stopy berylu i tytanu.

### 7.3. Stanowiska do kształtowania impulsem pola magnetycznego

Kształtowanie impulsem pola magnetycznego polega na przekształcaniu energii elektrycznej zgromadzonej w baterii kondensatorów w energię



Rys. 7.3. Schemat stanowiska do kształtowania impulsem pola magnetycznego: 1 - urządzenie zasilające, 2 - przełącznik, 3 - induktor, 4 - kształtowany materiał, C - kondensator [1]

pola elektromagnetycznego zdolnego do wykonania pracy mechanicznej związanej z odkształcaniem materiału.

Zasadę działania przedstawiono na rys. 7.3. Podczas przepływu prądu przez induktor 3 powstaje wokół niego pole elektromagnetyczne, którego natężenie zależy między innymi od położenia kształtowanego materiału 4. Metodą tą kształtuje się materiały, których przewodnictwo jest nie mniejsze niż  $1/10$  przewodnictwa miedzi.

#### Literatura do rozdziału 7

1. BANKETOV A. N. i inni, Kuznečno-stampovečnoe oborudovanie, Moskva, Mašinostroenie, 1970.
2. RINEHART J. S., PEARSON J., Explosive working of metals, Pergamon Press 1963.

## 8. ZASADY DOBORU MASZYN

### 8.1. Ogólne zasady doboru maszyn

Dobór maszyny zależy od wielu czynników, do których można zaliczyć:

- przeznaczenie wyrobu,
- graniczne wymiary wyrobu,
- dokładność wykonania,
- wielkość produkcji,
- żądaną wydajność procesu,
- kształt i rodzaj materiału wyjściowego,
- właściwości materiału wyjściowego,
- temperatura i prędkość kształtowania itp.

Od czynników tych zależą możliwości i ogólny koszt wykonania określonego przedmiotu oraz stopień uniwersalności maszyny przewidzianej do jego wykonania. Tak więc, zanim przejdziemy do wytypowania i następnie sprawdzenia przydatności określonej maszyny, należy wcześniej podjąć decyzję do jakiej grupy powinna należeć wybrana maszyna. Do ukierunkowania naszych poszukiwań niezbędna jest wcześniej zdobyta wiedza o znaczeniu wymienionych czynników. Zagadnienie to zostanie częściowo rozwinięte w następnych podrozdziałach, po czym zostaną omówione szczegółowe zasady doboru maszyn do obróbki objętościowej i kształtowania blach.

#### 8.1.1. Techniczno-ekonomiczne przesłanki doboru maszyn

Omówiono tu związek kształtu, wymiarów i dokładności przedmiotu z wielkością produkcji i wydajnością procesu w zależności od maszyny i jej technologicznych możliwości. W tablicy 8.1 zestawiono różne sposoby wykonania tego samego wyrobu, jakim jest przedmiot w kształcie cylindrycznego naczynia. Każdy z możliwych sposobów wykonania rozważanego przedmiotu dopuszcza zastosowanie określonej maszyny. Maszyny te różnią się jednak między sobą zasadą działania, stopniem uniwersalności oraz indywidualnymi cechami konstrukcyjnymi, wpływającymi na jakość wyrobu i wydajność procesu. Tylko szczegółowe rozważenie skutków określonego wyrobu pozwoli nam podjąć optymalną decyzję. Z tabeli 8.1 wynika np., że wydajność poszczególnych maszyn może różnić się o dwa rzędy wielko-

ści (0,2 i 120%) oraz różne są graniczne wymiary i szczegóły konstrukcyjne wykonywanego przedmiotu.

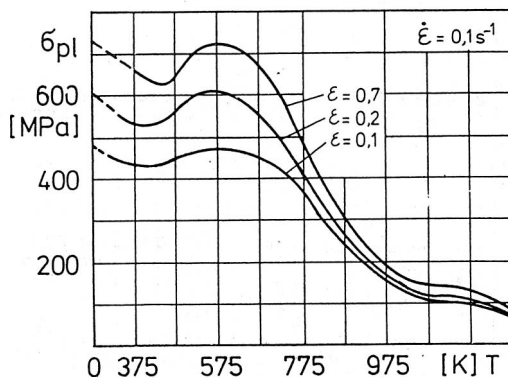
Inny przykład z zakresu tłocznictwa pokazano w tab. 8.2, gdzie zestawiono różne możliwości wykonania wyrobu za pomocą gięcia. Przykład ten ilustruje szczególnie dobitnie wpływ wielkości partii wyrobów przewidzianych do produkcji. W produkcji jednostkowej wystarcza zastosowanie ręcznej giętarki lub prasy krawędziowej. W przypadku produkcji seryjnej i masowej opłacalne jest zastosowanie wieloklatkowej giętarki walcowej. Tablica 8.3 ilustruje natomiast jak dalece ciężar odkuwki, kształt wyrobu oraz tolerancja jego wykonania wpływają na wybór maszyny do kucia.

Rozważanie tylko zewnętrznych cech przedmiotu w powiązaniu z konstrukcyjnymi cechami maszyny (sztywność itp.) nie wystarcza do optymalnego wyboru maszyny. Wartość nacisków nominalnych, energii użytecznej maszyny oraz dopuszczalna prędkość jej elementów roboczych zależą w znacznym stopniu od właściwości kształtowanego materiału.

#### 8.1.2. Wpływ temperatury i prędkości kształtowania na wybór maszyny

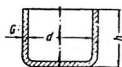
Na rysunku 8.1 pokazano wpływ temperatury  $T$  odkształcania, a na rys. 8.2 wpływ prędkości odkształceń na opór plastycznego kształtowania  $\sigma_{pl}$  węglowej stali 15. Opór plastyczny określano według zależności

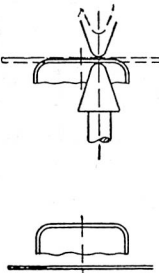
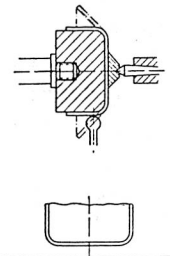
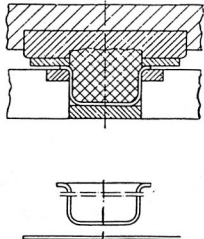
$$\sigma_{pl} = C \epsilon^n \left( \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^m; \quad \dot{\epsilon} = 1 \text{ s}^{-1}.$$



Rys. 8.1. Wpływ temperatury na opór plastycznego kształtowania [3]

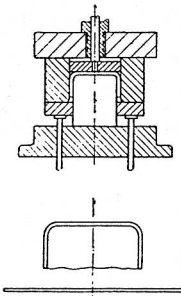
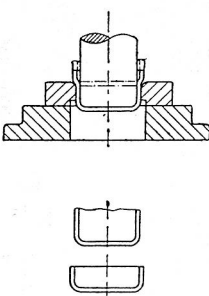
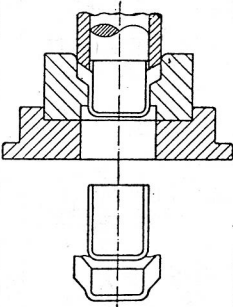
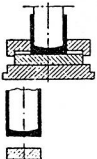
## Porównanie różnych sposobów wykonania



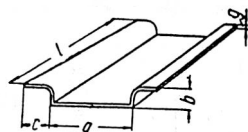
| Nazwa sposobu wykonania                                                                         | Wyklepywanie                                                                                                                                     | Wyoblanie                                                                                                                                           | Ciągnięcie gumą na prasie                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schemat sposobu wykonania<br>Konstrukcyjne kształty półfabrykatu dla różnych sposobów wykonania |                                                                 |                                                                    |                                                                                                    |
| Konstrukcyjne elementy półfabrykatu w zależności od sposobu wykonania                           | Duże zaokrąglenia przy dnie, zmniejszona grubość materiału o 10—40%, mała wysokość ścianek i nierówny ich brzeg, znaczna owalność i stożkowatość | Małe zaokrąglenia przy dnie, stosunkowo równomierna grubość ścianek i nierówny ich brzeg przy wysokości ścianek ponad 10—20% średnicy $\frac{1}{2}$ | Zaokrąglenia przy dnie większe od 5—10 grubości materiału, wysokość ścianek mniejsza od 40% wymiaru średnicy, znaczna różnica grubości ścianek i dna oraz mała stożkowatość ścianek |
| Graniczne wymiary w mm                                                                          | $d$ od 75 i więcej $g$ do 2                                                                                                                      | $d$ do 500—700, rzadko do 1500, $g$ do 2, rzadko do 3                                                                                               | $d$ do 100—1000, $g$ do 12 dla stali, do 2 dla metali nieżelaznych                                                                                                                  |
| Naddatki na obróbkę wykańczającą                                                                | Dla wymiaru $h$ 20% bez uwzględnienia tolerancji                                                                                                 | Dla wymiaru $h$ 10—15% bez uwzględnienia tolerancji                                                                                                 | Dla wymiaru $h$ wymiar promienia zaokrąglenia matrycy równy $5p-10 g$                                                                                                               |
| Orientacyjna wielkość partii w szt.                                                             | 1—50                                                                                                                                             | 1—1000                                                                                                                                              | 100—10000                                                                                                                                                                           |
| Wydajność względna w %                                                                          | 0,2                                                                                                                                              | 1                                                                                                                                                   | 12                                                                                                                                                                                  |

T a b l i c a 8.1

przedmiotu w kształcie cylindra [2]

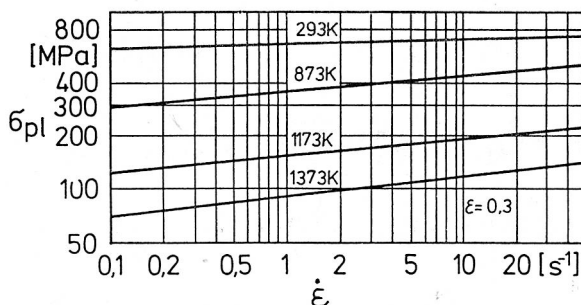
| Ciągnięcie w tłoczniku na prasie mechanicznej                                                                                                                        | Ciągnięcie ze ścieraniem ścianek na prasie mechanicznej                                                                                                                | Wyciskanie współbieżne na prasie podwójnego działania                                                                              | Wyciskanie przeciwbieżne na prasie korbowej                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                      |                                                                                       |                                                   |                                                          |
| Małe zaokrąglenia przy dnie i jednakowa grubość dna i ścianek. Nierówne brzegi przy wysokości ścianek ponad 10—25% średnicy, mała stożkowość wewnętrzna i zewnętrzna | Małe zaokrąglenia przy dnie i grubość ścianek o 20—40% mniejsza od grubości ścianek przed tą operacją ciągnięcia, mała stożkowość wewnętrzna i nierówne brzegi ścianek | Małe zaokrąglenia przy dnie, grubość dna większa od grubości ścianek i równe brzegi. Wysokość ścianek znacznie większa od średnicy | Wklęsła wewnętrzna powierzchnia dna, płaska zewnętrzna powierzchnia dna. Grubość dna większa od grubości ścianek, nierówne brzegi ścianek |
| $d$ do 1500, $g$ do 10—15                                                                                                                                            | $d$ do 200—250, rzadko do 500, wyjściowa grubość $g$ od 6—10 i mniej, końcowa grubość do 1—0,3                                                                         | $d$ do 50—75<br>$h$ do 300—500,<br>$g$ do 0,5—0,2 rzadko do 0,08. Operacja stosowana dla stopów metali nieżelaznych                | $d$ do 75—100<br>$h$ do 200—250<br>grubość ścianek od 0,2—0,3 do 1,5—2. Operacja stosowana dla stopów metali nieżelaznych                 |
| Dla wymiaru $h$ 6—10% bez uwzględnienia tolerancji                                                                                                                   | Tak samo jak w poprzednim przypadku                                                                                                                                    | —                                                                                                                                  | Tak samo jak w przypadku ciągnięcia na prasie mechanicznej                                                                                |
| 500 i więcej                                                                                                                                                         | 5000 i więcej                                                                                                                                                          | 3000 i więcej                                                                                                                      | 1000 i więcej                                                                                                                             |
| 100                                                                                                                                                                  | 90                                                                                                                                                                     | 110                                                                                                                                | 120                                                                                                                                       |

Porównanie różnych sposobów gięcia [2]



| Nazwa sposobu wykonania                                            | Gięcie na krawędziarce                                                                                                                                           | Gięcie na prasie krawędziowej                                                          | Gięcie gumą w matrycy                                                                                                   | Gięcie na maszynie do rowkowania                                 | Gięcie w tłoczniku na prasie korbowej lub cierniej                        | Gięcie na giętarcie rolkowej                                    |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Schemat sposobu wykonania                                          |                                                                                                                                                                  |                                                                                        |                                                                                                                         |                                                                  |                                                                           |                                                                 |
| Konstrukcyjne elementy półfabrykatu w zależności od sposobu gięcia | Z zaokrągleniami w miejscach gięcia i pochyleńściami ścianek w wyniku sprężynowania, z różnymi wysokościami ścianek w wyniku niedokładności ustawienia materiału | Tak samo jak w przypadku gięcia na krawędziarce                                        | Z zaokrągleniami w miejscach gięcia, z pochyleńściami ścianek o wielkość kąta sprężynowania; wysokość ścianek jednakowa | Tak samo jak w przypadku gięcia gumą                             | Możliwe zaokrąglone i niezaokrąglone zarysy w miejscach gięcia            | Dowolne włącznie z zarysami zamkniętymi                         |
| Graniczne wielkości wymiarów                                       | $g$ do 5 mm, wyjątkowo do 8 mm, $l$ do 2500—3000 mm;<br>$a \approx 15$ —25 g;<br>$b = c \approx 10$ —15 g                                                        | $g$ do 8 mm, $l$ do 3000—5000 mm;<br>$a \approx 25$ —35 g;<br>$b = c \approx 10$ —15 g | $g$ do 1 mm dla stali i do 2 mm dla metali nieżelaznych; $l$ do 1500—1800 mm $a > b$ ;<br>$b > 100$ mm; $c$ 20—25 g     | $g$ do 1,5—2 mm; $l$ — dowolna;<br>$a + 2c < 75$ mm; $b < 20$ mm | $g$ do 10—12 mm; $l$ do 1000—1500 mm, niekiedy do 5000 mm<br>$b < 150$ mm | $g$ do 2 mm; $l$ — dowolna<br>$a + 2c < 100$ mm,<br>$b < 50$ mm |
| Orientacyjna wielkość partii w szt.                                | 1—1000                                                                                                                                                           | 1—3000                                                                                 | 500—1000                                                                                                                | 300—3000                                                         | 5000 i więcej                                                             | 5000—10000 i więcej                                             |
| Wydajność względna w %                                             | 3                                                                                                                                                                | 6                                                                                      | 30                                                                                                                      | 5                                                                | 100                                                                       | 400                                                             |





Rys. 8.2. Wpływ prędkości odkształceń na opór plastycznego kształtowania [3]

Krzywe umocnienia stali węglowych (od 10 do 60) mają następujące wartości stałej  $C$  i wykładników potęgowych  $n$  i  $m$  [3] :

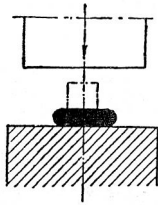
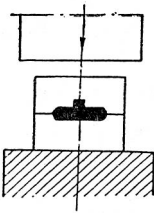
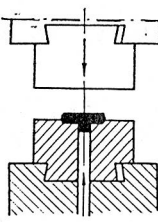
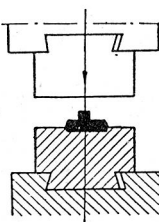
|     | 293 K (20 °C)<br>obróbka<br>na zimno | 973 K (700 °C)<br>obróbka<br>na ciepło | 1173 K (900 °C)   1473 K (1200 °C)<br>obróbka na gorąco |
|-----|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $C$ | 700–1200                             | 200–350                                | 150–200   40–80                                         |
| $n$ | 0,15–0,25                            | 0,05–0,10                              | 0,02–0,06   0                                           |
| $m$ | 0,02–0,04                            | 0,08–0,12                              | 0,10–0,16   0,16–0,20                                   |

Z wykresów wynika, że jednostkowy opór plastyczny  $\sigma_{pl}$  materiału zależy od wartości odkształcenia  $\epsilon$  i zwiększa się z odkształceniem, a maleje ze wzrostem temperatury (rys. 8.1). Zwiększanie prędkości odkształceń powoduje zwiększenie oporu  $\sigma_{pl}$  odkształcania wraz ze wzrostem temperatury (rys. 8.2). Gdy znane jest naprężenie oporu plastycznego, można obliczyć wartość siły kształtowania, która występuje w określonych warunkach temperaturowo-prędkościowych w zależności od wartości odkształceń występujących w procesie kształtowania wyrobu.

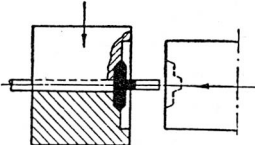
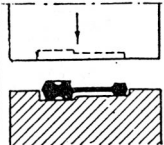
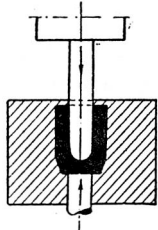
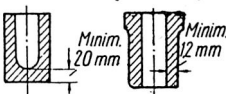
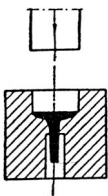
Znajomość siły niezbędnej do pokonania plastycznego oporu kształtowanego materiału pozwoli dobrać maszynę o odpowiednim nacisku nominalnym oraz energii użytecznej.

Obliczenia takie nie mówią jednak wszystkiego o ewentualnym zachowaniu się materiału podczas odkształcania. Technolog powinien również dysponować wiadomościami o wartości odkształceń granicznych obrabianego materiału. Wiadomo bowiem, że zdolność materiałów do odkształcenia plastycznego jest limitowana utratą stateczności lub pękaniem materiału. W tabeli 8.4 pokazano dla przykładu zalecane prędkości odkształcenia stali i stopów oraz określono charakter zmian wartości oporu plastycznego i odkształceń granicznych ze wzrostem prędkości kształtowania do 7 m/s.

## Porównanie różnych sposobów

| Nazwa sposobu wykonania                           | Kucie swobodne                                                                                                                        | Kucie w matrycach podkładanych                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Kucie matrycowe na młocie                                                                                                                                         | Kucie matrycowe na kuźniczej prasie mechanicznej                                   |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Schemat sposobu wykonania                         |                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                  |  |
| Orientacyjny ciężar półfabrykatu                  | Do 120 — 180 T                                                                                                                        | Do 50 kG                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Od części kilograma do 1000 kG                                                                                                                                    | Do 30 kG                                                                           |
| Dopuszczalne kształty konstrukcyjne półfabrykatów | Najprostsze kształty; dla złożonych części upraszcza się odkawkę przez danie dodatkowych naddatków                                    | Dla rubryki 3 kształt półfabrykatu stosunkowo prosty; dla rubryki 4 mogą być dopuszczone złożone kształty i półfabrykat nie powinien mieć wewnętrznych i zewnętrznych wybrzeń przeszkadzających wyjmowaniu go z matrycy (lub wybrania powinny być pokryte naddatkami). Pionowe ścianki odkuwki powinny mieć pochylenia kuźnicze 5—7°, ułatwiające wyjęcie odkuwki z matrycy. W miarę możliwości należy dążyć, aby odkuwki były symetryczne w stosunku do powierzchni podziału i aby ona była płaska |                                                                                                                                                                   | Patrz rubryka 3—4                                                                  |
| Naddatki na stronę w mm                           | W przekroju poprzecznym od 2 do 40, na długości od 8 do 70                                                                            | W przekroju od 3 do 12, na długości od 7 do 30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Naddatek zmienia się w zależności od dokładności wykonania i największych wymiarów półfabrykatu w granicach od 0,75 do 4,25                                       | W przybliżeniu 25—50% mniejsze od podanych w rubryce 4                             |
| Tolerancje wymiarów półfabrykatów                 | W zależności od wymiarów i kształtu półfabrykatów tolerancje zmieniają się w szerokich granicach na przykład od $\pm 1,5$ do $\pm 22$ | Od $+1,5$ do $+3$ i od $-1$ do $-2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Tolerancje zmieniają się w zależności od dokładności półfabrykatów i największych pionowych i poziomych wymiarów, np. od $+0,5$ do $+4,0$ i od $-0,25$ do $-2,75$ | Od $\pm 0,125$ do $\pm 0,5$                                                        |
| Pochylenia kuźnicze ścianek w stopniach           | 0                                                                                                                                     | Od 5 do 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Od 5 do 7                                                                                                                                                         | Od 0 do 3                                                                          |

## obróbki objętościowej [2]

| Kucie na kuźniarce                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Kucie matrycowe z dogniataniem                                                                                                                          | Prasowanie na prasach hydraulicznych                                                                                                                                                                              | Wyciskanie                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                        | <br><i>Części obratowe: głównie tulejki</i><br> | <br><i>Części typu zaworów grzybkowych</i><br> |
| Do 30 kG <sup>°</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | —                                                                                                                                                       | —                                                                                                                                                                                                                 | —                                                                                                                                                                                                                |
| Półfabrykaty o bardzo różnorodnych kształtach. Najbardziej typowe są tu trzpienie o różnych kształtach ze splaszczonymi i wydrążonymi łbami, np. śruby, zawory, klucze czołowe, dźwignie, widelki, bryły obrotowe typu kół zębatach, zespołów kół zębatach, pierścieni, tulei z walcowymi otworami i złożonymi zarysami zewnętrznymi | Zastosowanie płaskiego dogniatania może wyprzeć obróbkę skrawaniem, dogniatanie objętościowe może wyprzeć jeszcze w większym stopniu obróbkę skrawaniem | —                                                                                                                                                                                                                 | —                                                                                                                                                                                                                |
| W zależności od wymiaru półfabrykatu od 1,5 do 3,25                                                                                                                                                                                                                                                                                  | W miejscach półfabrykatu podlegających dogniataniu nie stosuje się nadatków                                                                             | Na wymiar: zewnętrznej średnicy 2,5—3,0, wewnętrznej 3,5—4,0                                                                                                                                                      | 0,5 tylko na szlifowanie                                                                                                                                                                                         |
| W kierunku wysokości półfabrykatów + 1,0 do + 2,5 i od -0,5 do -1,0, dla wymiarów średnic od +1,0 do +1,5 i od -0,5 do -1,0                                                                                                                                                                                                          | Od $\pm 0,1$ do $\pm 0,2$                                                                                                                               | Od + 1,5 do + 3 i od - 1,0 do - 2,0 po przeciągnięciu przez otwór matrycy                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                  |
| 0 w matrycach, od 0,5 do 3 w stemplach                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Od 5 do 7                                                                                                                                               | 5—6, po przeciągnięciu 0                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |

| Nazwa sposobu wykonania                                                       | Kucie swobodne | Kucie w matrycach podkładanych                                        | Kucie matrycowe na młocie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Kucie matrycowe na kuźniczej prasie mechanicznej                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Orientacyjna wielkość partii                                                  | Do 50—200 szt. | Powyżej 25—200 sztuk w zależności od stopnia złożoności półfabrykatów | Wielkość partii powinna być ustalona na podstawie porównawczej analizy ekonomicznej sposobów kucia swobodnego i matrycowego. Powinna być przy tym wzięta pod uwagę trwałość matrycy i częstość powtarzania partii. Z tego względu dla partii nie powtarzających się, w celu uzyskania pełnej amortyzacji matrycy, rentowna partia powinna być bliska trwałości do pierwszego przebrojenia. Trwałość matrycy na młoty wykonanych ze stali stopowej zawarta bywa w granicach: dla ciężkich odkuwek od 2500 do 3500 szt., dla średnich i małych od 4000 do 10000 szt. | Patrz wyjaśnienia o doborze partii podane w rubryce 4; trwałość matrycy na kuźniarkach w przybliżeniu taka sama jak na młotach; trwałość matrycy do zupełnego zużycia od 24000 do 64000 szt., stemple do przebijania 3000 szt.; stemple do kształtowania 11000 szt. |
| Koszty własne w %                                                             | 130 — 220      | —                                                                     | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 86 — 100                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Uwaga: za 100% przyjęto koszty własne w przypadku kucia matrycowego na młocie |                |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                     |

cd. tablicy 8.3

| Kucie na kuźniarce                      | Kucie matrycowe<br>z dogniataniem | Prasowanie<br>na prasach hydraulicznych                                                                                      | Wyciskanie |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Patrz wyjaśnienia podane<br>w rubryce 5 | —                                 | Sposób rentowny dla partii od<br>700 do 2000 sztuk, bardziej<br>dokładnie określa się wielkość<br>partii wg danych rubryki 4 |            |
| 70—75                                   | 77—93                             | 110—115                                                                                                                      |            |
|                                         |                                   |                                                                                                                              |            |

Zalecane prędkości kucia wybranych metali i ich stopów

| Materiał                                              | Prędkość<br>odkształ-<br>cania<br>m/s | Odształ-<br>cenie<br>% | Zmiany zachodzące wraz<br>ze wzrostem prędkości<br>do 7 m/s                              |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stale konstrukcyjne<br>węglowe i niskosto-<br>powe    | 0,6-1,5                               | > 15-25                | $\epsilon_{gr}$ - nie zmniejsza się<br>$\sigma_{pl}$ - zwiększa się nie-<br>znacznie     |
| Stale wysokostopowe<br>(żaroodporne)                  | 0,6-2,5                               | -                      | $\epsilon_{gr}$ - zmniejsza się<br>$\sigma_{pl}$ - zwiększa się                          |
| Aluminium i niskowy-<br>trzymałe jego stopy           | 0,6-2,0                               | $\leq 60-75$           | $\epsilon_{gr}$ - nie maleją<br>$\sigma_{pl}$ - nie wzrasta                              |
| Stopy aluminium śred-<br>nio- i wysokowytrzy-<br>małe | 0,6-1,0                               | 35-75                  | $\epsilon_{gr}$ - zmniejsza się,<br>pojawia się kru-<br>chość<br>$\sigma_{pl}$ - wzrasta |
| Stopy miedzi                                          | 0,6-2,0                               | $\leq 70$              | $\epsilon_{gr}$ i $\sigma_{pl}$ - niewiele<br>się zmie-<br>niają                         |
| Stopy magnezu                                         | 0,4-0,7                               | $\leq 70-95$           | $\epsilon_{gr}$ - zmniejsza się,<br>pojawia się kru-<br>chość                            |
| Stopy magnezowo-cyrko-<br>nowe                        | 0,4-0,7                               | -                      | $\epsilon_{gr}$ - zmniejsza się,<br>pojawia się kru-<br>chość                            |
| Stopy tytanu                                          | 0,2-3,0                               | -                      | $\epsilon_{gr}$ - zmniejsza się<br>$\sigma_{pl}$ - wzrasta                               |
| Molibden                                              | 1,5-3,5                               | $\leq 65-70$           | $\epsilon_{gr}$ - zmniejsza się<br>$\sigma_{pl}$ - wzrasta                               |

 $\epsilon_{gr}$  - odkształcenie graniczne, $\sigma_{pl}$  - opór plastyczny

W rozdziałach poświęconych omówieniu poszczególnych rodzajów maszyn określano maksymalne prędkości ich części roboczych. Na podstawie tabeli 8.4 można więc zorientować się jaka grupa maszyn (prasy hydrauliczne, korbowe, młoty itp.) jest najwłaściwsza do kształtowania określonej grupy materiałów, bez naruszenia ich spójności. Po określeniu najwłaściwszej grupy maszyn, można przystąpić do wyboru maszyny o określonych parametrach użytkowych.

## 8.2. Podstawowe zasady doboru maszyn do kształtowania wyrobów z blachy

Przy doborze maszyn do obróbki plastycznej na zimno powinny być spełnione następujące wymagania:

- typ maszyny i skok suwaka powinny odpowiadać operacji technologicznej,
- nominalny nacisk prasy powinien być równy lub nieco większy od siły potrzebnej do wykonania danej operacji,
- energia użyteczna prasy powinna być równa lub nieco większa od pracy odkształcenia plastycznego w danej operacji,
- wysokość przestrzeni roboczej prasy powinna być większa lub równa wysokości tłoczniaka,
- wymiary stołu i powierzchni suwaka powinny umożliwiać dogodne ustawienie i zamocowanie tłoczniaka oraz podawanie materiału (przy tłoczeniu przelotowym otwór w stole prasy powinien umożliwiać swobodne spadanie tłoczonych przedmiotów),
- liczba skoków suwaka prasy powinna zapewniać żądaną wydajność tłoczenia,
- dodatkowe wyposażenie prasy (poduszki, wypychacze, podajniki) powinno ułatwiać realizację procesu technologicznego,
- prasa powinna gwarantować odpowiednie bezpieczeństwo i higienę pracy.

Przy typowaniu i sprawdzaniu poprawności wyboru prasy należy mieć na uwadze następujące parametry techniczne:

- a) nacisk nominalny,
- b) nacisk dopuszczalny,
- c) praca użyteczna,
- d) skok suwaka,
- e) wysokość przestrzeni roboczej,
- f) wymiary stołu prasy.

Wybór prasy ze względu na wartość nacisku nominalnego polega na porównaniu wartości sumy wszystkich sił występujących podczas kształtowania przedmiotu z wartością nacisku nominalnego

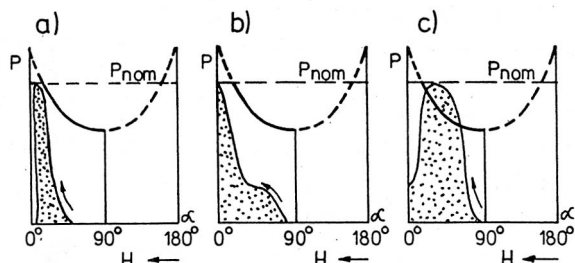
$$P_{\text{nom}} \geq P_{\text{procesu}} \quad (1)$$

Naciski pras krajowych są stopniowane według ciągu Renarda o ilorazie  $\sqrt[5]{10}$  zgodnie z PN-70/M-68021 (dla pras mimosrodowych) oraz PN-70/M-68023 (dla pras korbowych). Dlatego też, najczęściej obliczana siła nacisku nie odpowiada ściśle nominalnemu naciskowi prasy. Przyjmuje się wartość nacisku nominalnego większą od siły operacji. Wybór war-

tości nacisku nominalnego prasy stanowi zaledwie pierwsze przybliżenie. Wiadomo bowiem, że np. w prasach korbowych nacisk nominalny występuje jedynie na części drogi suwaka prasy, to jest w pobliżu dolnego zwrotnego położenia suwaka. Konieczne jest więc sprawdzenie doboru prasy pod względem jej pozostałych parametrów użytkowych.

Sprawdzenie doboru prasy ze względu na naciski dopuszczalne polega na nałożeniu wykresu siły operacji na wykres nacisków dopuszczalnych prasy (rys. 8.3). Jak wynika z rys. 8.3 we wszystkich rozważanych przypadkach operacji technologicznych został spełniony warunek

$$P_{nom} \geq P_{operacji},$$



Rys. 8.3. Porównanie wykresów potrzebnej siły tłoczenia z wykresem nacisku prasy korbowej w funkcji skoku  $H$  suwaka: a - przy wycinaniu, b - przy gięciu, c - przy ciągnięciu [5]

ale w przypadku pokazanym na rys. 8.3c został przekroczony nacisk dopuszczalny. Skutki takiego przeciążenia omówiono we wcześniejszych rozdziałach. Nie spełnienie warunku

$$P_{dop} \geq P_{operacji} \quad (2)$$

wymaga zmiany prasy na większą.

Trzeba jednak zaznaczyć, że spełnienie warunku (1) i (2) nie zwalnia nas od sprawdzania pozostałych warunków. Może się bowiem okazać, że energia użyteczna prasy  $W_{uż}$  jest mniejsza od pracy odkształcenia plastycznego  $W_{pl}$ , co spowoduje nadmierne zmniejszenie liczby obrotów koła zamachowego. Przekroczenie krytycznego poślizgu silnika spowoduje przegrzanie jego uzwojeń, zniszczenie izolacji i trwałe uszkodzenie silnika, jeżeli nie będzie on wyposażony w bezpiecznik termiczny. Kolejny warunek można więc zapisać następująco:

$$W_{uż} \geq W_{pl}. \quad (3)$$

Przykład zmian wartości energii użytecznej  $W_{uż}$  ze zmianą liczby wiązań prasy na minutę - omówiono we wcześniejszym rozdziale.

Wstępne typowanie prasy na podstawie warunku  $P_{nom} \geq P_{operacji}$  może różnić się znacznie od rezultatu osiągniętego po sprawdzeniu typowa-



nia ze względu na naciski dopuszczalne i wartość energii użytecznej. Tak więc, sprawdzenie doboru prasy ze względu na wymiary przestrzeni roboczej ma sens dopiero w dalszej kolejności.

Sposób obliczania wysokości przestrzeni roboczej prasy podano we wcześniejszych rozdziałach. Praktyczna strona zagadnienia doboru pras stanowi przedmiot ćwiczeń laboratoryjnych.

### 8.3. Podstawowe zasady doboru maszyn do obróbki objętościowej

W przypadku maszyn stosowanych do obróbki objętościowej istotnym parametrem użytkowym maszyny jest jej energia użyteczna. Sposoby obliczania pracy odkształcenia plastycznego omówiono szczegółowo w ramach wykładów poświęconych teorii i technologii procesów obróbki plastycznej. Obliczenia te są często bardzo złożone, a nawiązanie do nich w niniejszym podrozdziale ma jedynie na celu wykazanie praktycznego sensu pewnych uproszczeń.

Proces kucia matrycowego na prasie i młocie przedstawiono na rys.

8.4. Siła kucia na prasie narasta w czasie przemieszczania narzędzi w sposób ciągły, natomiast w przypadku młota rośnie i maleje w czasie kolejnych uderzeń (od 1 do 4). Największa wartość siły kucia występuje podczas ostatniego uderzenia, kiedy następuje zupełne wypełnienie wykarczającego wykroju matrycy i nadmiar kutego materiału wypływa przez rowek na wypływkę (rys. 8.5).

Pracę odkształcenia plastycznego odkuwki z wypływką można wyznaczyć ze wzoru

$$W_{pl} = \int_0^{\Delta h} P dh$$

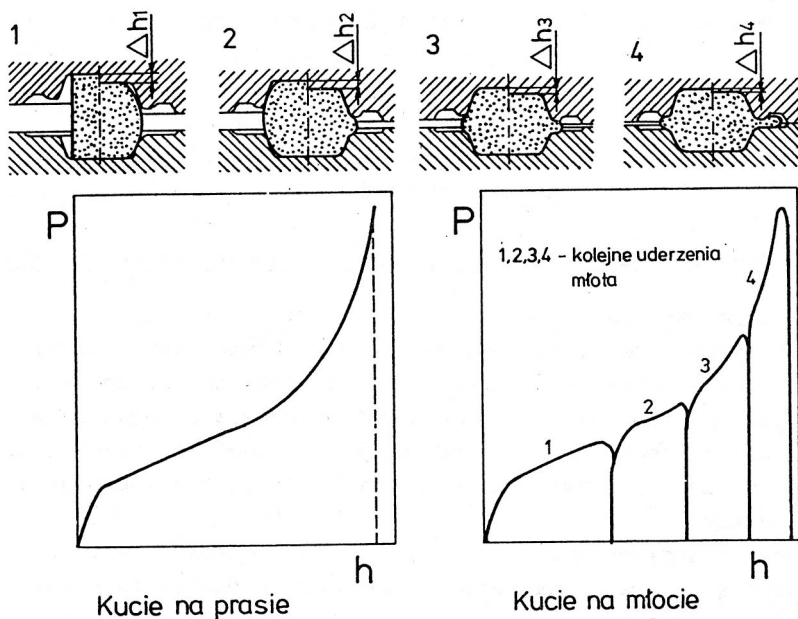
gdzie:  $P$  - siła w funkcji odkształcenia w ostatnim uderzeniu,

$\Delta h$  - wielkość odkształcenia w ostatnim uderzeniu.

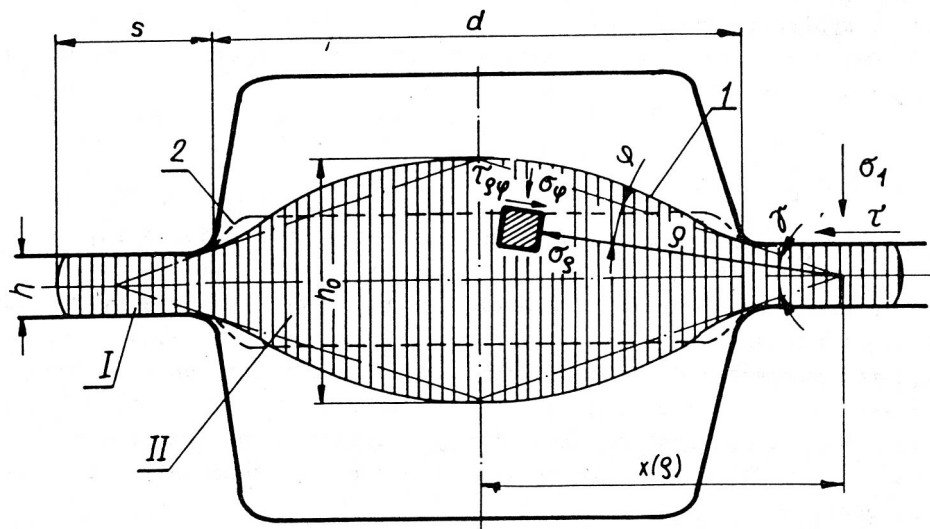
W ostatnim uderzeniu młota plastycznie odkształca się tylko środkowa część odkuwki i wypływka (zakreskowane pole na rys. 8.5). Wystarczy więc rozpatrywać jedynie zakreskowaną strefę odkształceń plastycznych zamiast całą odkuwkę. Istnieje kilka analitycznych wzorów do obliczenia siły, uwzględniających podział strefy odkształceń na dwie części I i II (rys. 8.5), dla których rozpatruje się warunki równowagi elementarnej objętości.

W praktyce przemysłowej korzysta się ze specyficznego rozkładu odkształceń podczas ostatniego uderzenia w ten sposób, że siłę (energię) określa się z nomogramu na podstawie powierzchni rzutu odkuwki razem z rowkiem na wypływkę.

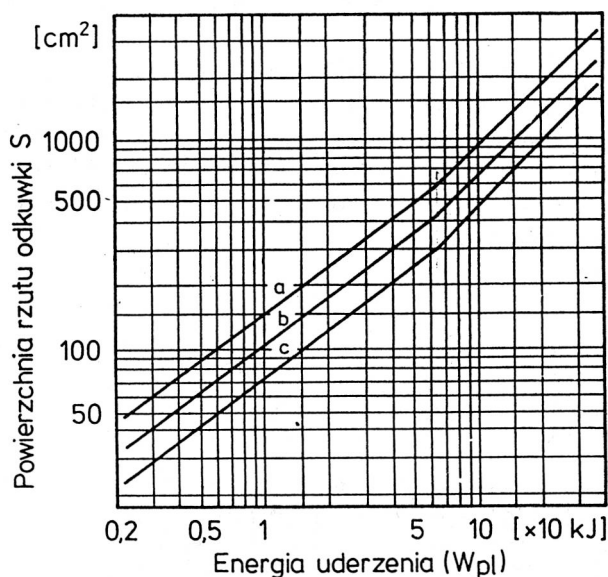
Na rysunku 8.6 przedstawiono zależność energii uderzenia młota od



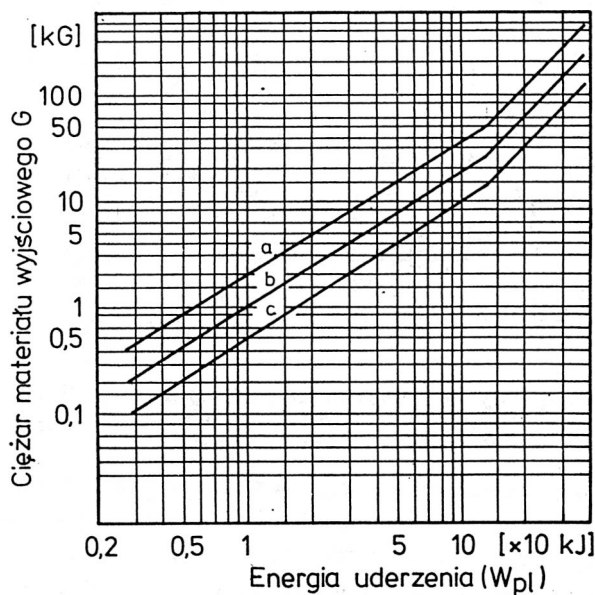
Rys. 8.4. Kolejne etapy wypełniania wykończającego przy kuciu w matrycach otwartych (1, 2, 3, 4) oraz przebiegi siły kucia na prasie i młocie [3]



Rys. 8.5. Strefa odkształceń plastycznych odpowiadająca ostatniemu uderzeniu młota [6]



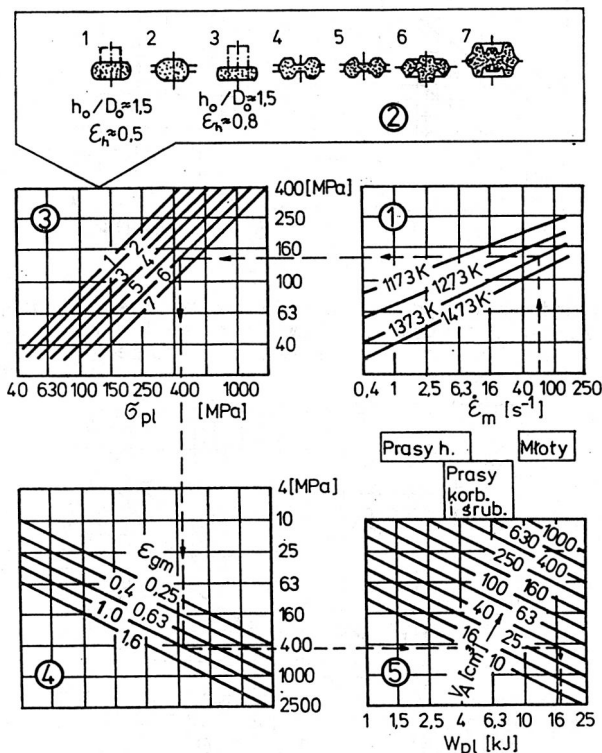
Rys. 8.6. Określanie niezbędnej energii użytecznej młota w zależności od powierzchni rzutu i kształtu odkuwki: a - odkuwki trudne, b - średnio trudne, c - trudne i ciężkie [4]



Rys. 8.7. Określanie niezbędnej energii użytecznej młota w zależności od ciężaru materiału wyjściowego i kształtu odkuwki: a - odkuwki łatwe, zwarte; b - średnio trudne; c - trudne i ciężkie [4]

powierzchni rzutu odkuwki na płaszczyznę poziomą dla różnego stopnia złożoności odkuwki.

Jeszcze bardziej uproszczony sposób określania niezbędnej energii uderzenia młota ilustruje rys. 8.7. Energię określa się na podstawie ciężaru materiału wyjściowego przeznaczonego do wykonania odkuwki. W obu tych przypadkach (rys. 8.6 i 8.7) pojęcie złożoności odkuwki jest dość względne. Nie uwzględnia się tu również temperatury kucia oraz stopnia i prędkości odkształceń.



Rys. 8.8. Określanie pracy odkształcenia plastycznego w zależności od prędkości odkształceń, temperatury kucia, kształtu odkuwki, wartości odkształceń i objętości materiału wyjściowego [3]

Na rysunku 8.8 pokazano bardziej szczegółowy sposób określania pracy odkształcenia plastycznego podczas kucia. Prędkość odkształcenia określa się w tym przypadku stosunkiem prędkości narzędzia  $v_a$  w momencie jego dojścia do kutego materiału i początkowej wysokości  $h_0$  materiału wyjściowego

$$\varepsilon_o = \frac{v_a}{h_0}$$

Średnią prędkość odkształceń  $\dot{\epsilon}_m$  wyznacza się w zależności od rodzaju maszyny, a to:

$$\dot{\epsilon}_m \approx (0,85-0,9) \dot{\epsilon}_0 \quad \text{dla młotów i pras śrubowych,}$$

$$\dot{\epsilon}_m \approx (1,3-1,6) \dot{\epsilon}_0 \quad \text{dla pras hydraulicznych,}$$

$$\dot{\epsilon}_m \approx (0,3-0,4) \dot{\epsilon}_0 \quad \text{dla pras korbowych i mimośrodowych.}$$

Odształcenie  $\epsilon_{gm}$  określa się jako logarytm naturalny ze stosunku rzutu powierzchni odkuwki z wypływką  $A_{SG}$  i powierzchni przekroju  $A_0$  materiału wyjściowego

$$\epsilon_{gm} = \ln \frac{A_{SG}}{A_0}.$$

Tak więc dokonawszy wyboru maszyny, na której przewiduje się realizację kucia, określa się przede wszystkim średnią prędkość odkształceń  $\dot{\epsilon}_m$ . Następnie określa się temperaturę kucia i stopień złożoności odkuwki (według wzorca - grupy od 1 do 7) oraz wartość odkształcenia  $\epsilon_{gm}$  i w zależności od objętości materiału wyznacza się pracę odkształcenia plastycznego  $W_{pl}$  (rys. 8.8).

Inny diagram, przystosowany do określania energii użytecznej prasy śrubowej, pokazano na rys. 8.9. Diagram ten bazuje na powierzchni  $S$  rzutu odkuwki, temperaturze kucia  $T$ , stosunku wymiarów poprzecznych  $l/b$ , skoku roboczym (drodze odkształcenia)  $c$  oraz stosunku wysokości początkowej  $H_0$  i średnicy początkowej  $\phi_0$  wstępniaka. Rozważmy przykład określania energii użytecznej prasy śrubowej dla odkuwki pokazanej na rys. 8.9 obok diagramu:

a) wymiary wstępniaka:  $H_0 = 37 \text{ mm}$ ,  $\phi_0 = 25 \text{ mm}$ ,

b) temperatura  $420^\circ\text{C}$  ( $693 \text{ K}$ ),

c) powierzchnia rzutu  $S = \pi/4 \cdot 60^2 = 2828 \text{ mm}^2$ ,

d)  $l/b = 1$  (zarys kołowy),

e) średnia wysokość odkuwki  $H_m = V_{(obj)}/S_{(pow)} = 5,5 \text{ mm}$ ,

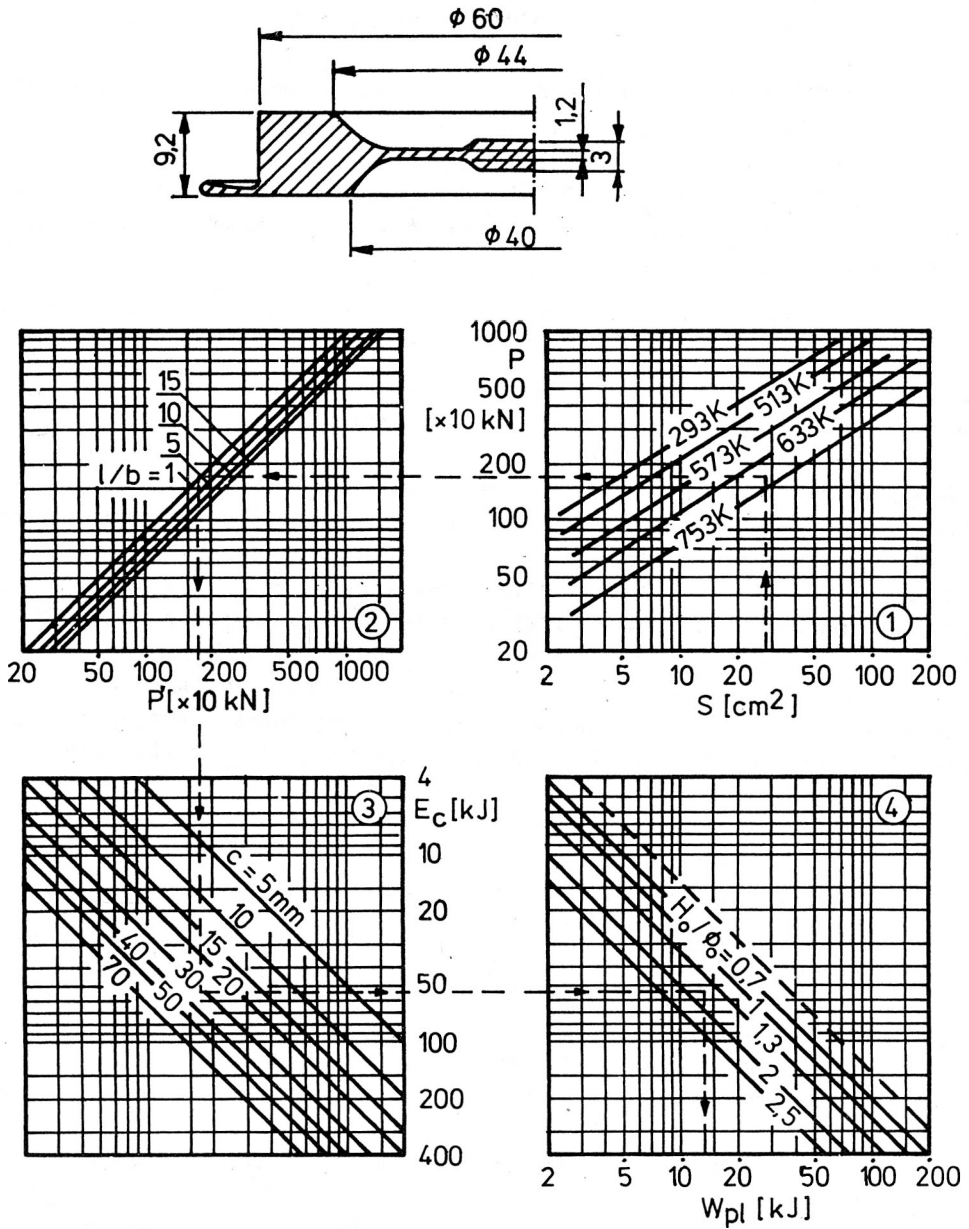
f)  $c = H_0 - H_m = 37 - 5,5 = 31,5 \text{ mm}$ ,

g)  $H_0/\phi_0 = 1,48$ ,

h) wyznaczona energia  $W_{pl}$  wynosi  $13500 \text{ J}$ .

Otrzymaną wartość należy pomnożyć przez odpowiedni współczynnik podany przez producenta. Współczynnik ten zależy od temperatury kucia i rodzaju materiału i wynosi od  $0,33$  do  $0,9$  dla stopów aluminium oraz od  $0,93$  do  $1,6$  dla stali.

Producenci maszyny starają się podawać sposoby uproszczonych obliczeń pracy odkształcenia plastycznego dla poszczególnych operacji technologicznych i rodzaju kształtowanego materiału. W niniejszym rozdziale zasygnalizowano jedynie różnorodność podejść do omawianego zagadnienia, które będzie można zweryfikować praktycznie na ćwiczeniach laboratoryjnych.



Rys. 8.9. Diagram do określania niezbędnej energii użytecznej prasy śrubowej w zależności od powierzchni rzutu odkuwki, temperatury, stosunku wymiarów poprzecznych i wartości skoku roboczego [1]

### Literatura do rozdziału 8

1. Bilacieri a frizione seria VS, prospekt firmy DELLAVIA, Włochy.
2. GOKUN W. B., Technologiczne zasady konstruowania maszyn, Warszawa, PWT, 1960.
3. FROBIN R., Umform-und Zerteiltechnik skrypt Technische Hochschule, Karl-Marx-Stadt, 1978.
4. Katalog - informator. Kuźnictwo matrycowe, WEMA, Warszawa 1973.
5. ROMANOWSKI W. P., Poradnik obróbki plastycznej na zimno, Warszawa, WNT, 1976.
6. WASIUNYK P., Kucie matrycowe, Warszawa, WNT, 1975.

### Literatura uzupełniająca

1. Dobór prasy dla kucia matrycowego, Zalecenia INOP, Z 132-03-78.
2. Dobór prasy do wyciskania, Zalecenia INOP, Z 152-03-78.
3. Dobór młota, Zalecenia INOP, Z 132-01-78.
4. MARCINIAK H., Zasady doboru pras mimośrodowych do tłoczenia blach, Obróbka plastyczna, t. XXII, zeszyt 3, 1983, s. 145-151.

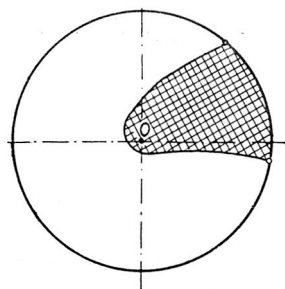
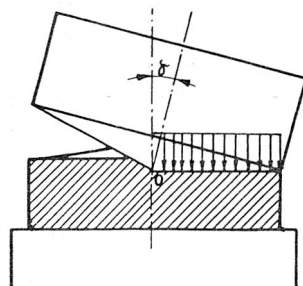
## 9. PRZYKŁADY CIEKAWSZYCH, KRAJOWYCH ROZWIĄZAŃ MASZYN I URZĄDZEŃ DO OBRÓBKİ PLASTYCZNEJ

### 9.1. Prasa z wahającą matrycą

Prasa z wahającą matrycą (powszechnie nazywana prasą profesora Z. Marciniaka) jest maszyną do objętościowego kształtowania na zimno i na półgorąco wyrobów ze stali i metali nieżelaznych. Pracuje ona według metody prasowania, polegającej na przykładaniu do materiału skupionego nacisku. W prasie tej, górna matryca wykonuje wahania według zadanych krzywych albo wzdłuż prostej i zmienia ciągle punkt przyłożenia siły. Siła działa przez to tylko na część powierzchni kształtowanego materiału (rys. 9.1).

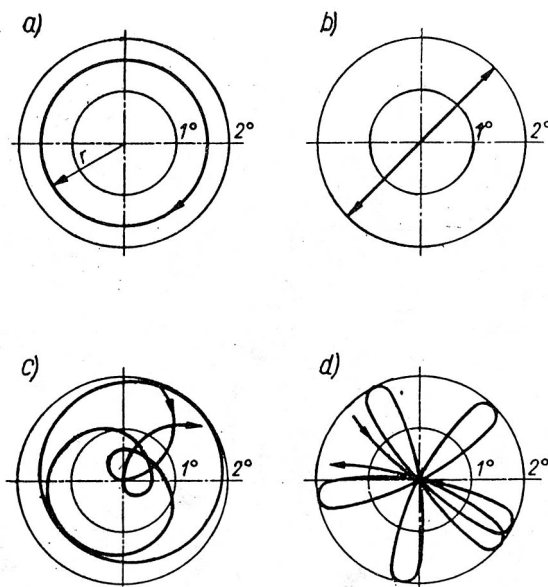
Metoda ta nadaje się do produkcji wyrobów o skomplikowanych kształtach i małej wysokości w stosunku do wymiarów poprzecznych. Wyroby tego rodzaju są trudne do wykonania w tradycyjny sposób. Siła potrzebna do ich prasowania na prasie z wahającą matrycą jest średnio dziesięciokrotnie mniejsza w stosunku do metod tradycyjnych.

Bogaty program ruchów matrycy (okrąg, prosta, spirala, krzywa wielolistna) – rys. 9.2 oraz niezależne ruchy suwaków: zewnętrznego i wewnętrznego – usytuowanych w dolnej części korpusu, umożliwiają dobór najkorzystniejszych parametrów technologicznych. Wahania po okręgu stosuje się do wyrobów o cienkich kołnierzach. Przy produkcji przedmiotów wydłużonych używa się wahań po prostej. W przypadku przedmiotów wymagających miejscowego dogniatania (szczególnie w części centralnej) stosuje się ruch po spirali. Wahania według krzywej wielolistnej stosuje się do produkcji elementów o żebrach lub zębach usytuowanych promieniowo. Przykłady wyrobów pokazano na rys. 9.3.



Rys. 9.1. Rozkład nacisków podczas prasowania wahającą matrycą





Rys. 9.2. Rodzaje wahań matrycy górnej: a) po okręgu, b) po prostej, c) po spirali, d) według krzywej wielolistnej [1]

Prasowanie metodą przemieszczania skupionego nacisku sprawia, że wymiary, masa i koszt eksploatacji omawianej maszyny są wielokrotnie mniejsze w porównaniu z tradycyjnymi metodami wyciskania. Na rysunku 9.4 pokazano ogólny widok maszyny, a jej zasadę działania na rys. 9.5.

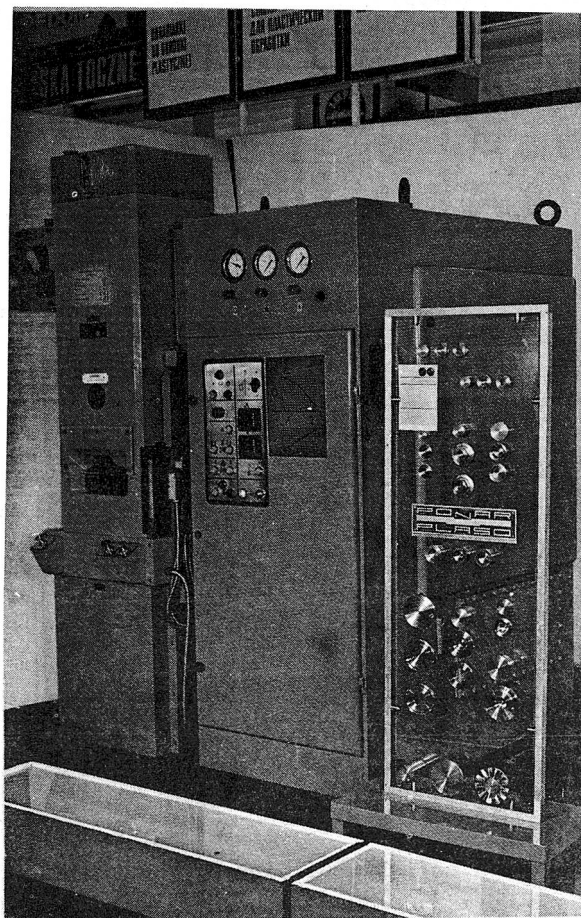
Matryca dolna 1 (rys. 9.5) jest umieszczona w suwaku 2 siłownika hydraulicznego wykonującego ruch postępowy, ruch zbliżania matryc. Wypychacz 3 jest napędzany oddzielnym siłownikiem. Matryca górna 5, osadzona w kulistej obsadzie 4, wykonuje wahanía wokół osi. Nacisk matrycy jest skupiony tylko na części powierzchni prasowanego wyrobu 6 (patrz rys. 9.1). Obsada matrycy górnej jest napędzana dwoma mimośrodami.

## 9.2. Automatyczne, wieloczynnościowe prasy hydrauliczne

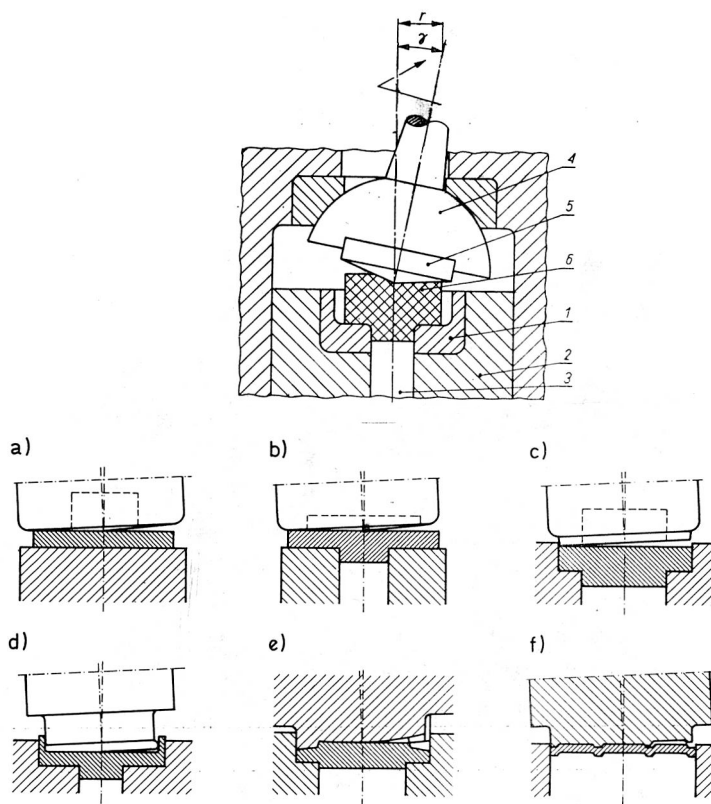
Prasy typu PAWN są przeznaczone do masowej i wielkoseryjnej produkcji części o niewielkich wymiarach gabarytowych. Materiałem wyjściowym, stosowanym do produkcji wyrobów na prasach PAWN jest taśma ze stali lub metali kolorowych. Na prasach tego typu wykonuje się operacje cięcia, wycinania, gięcia, wywijania, płytkiego ciągnięcia, prostowania i dobijania. Specjalne wyposażenie tych pras umożliwia ponadto gwintowanie i nitowanie wyrobów. Bezstopniowa regulacja skoków pozwala dobrać najkorzystniejsze parametry technologiczne procesów. Na rysunku 9.6 pokazano przykłady wyrobów produkowanych na prasach PAWN.



Rys. 9.3. Przykłady wyrobów produkowanych na prasie z wahającą matrycą



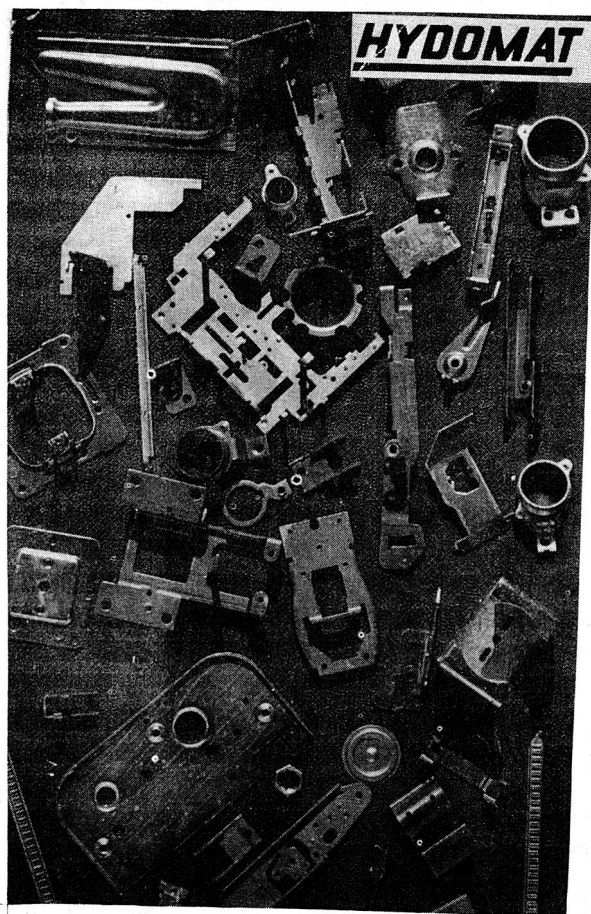
Rys. 9.4. Ogólny widok prasy z wahającą matrycą



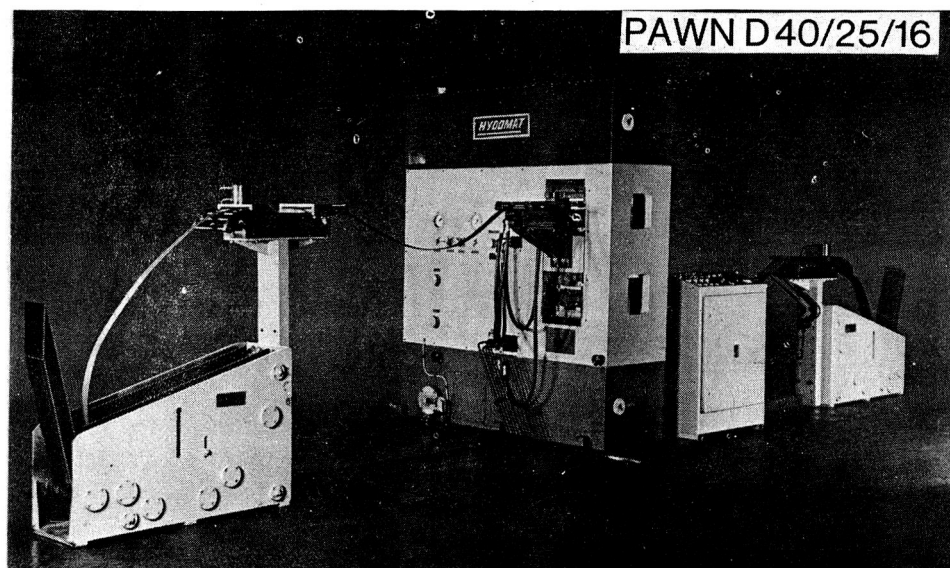
Rys. 9.5. Zasada działania prasy z wahającą matrycą [1]: a do f - przykłady powiązania kształtu materiału ze sposobem jego formowania

Stół prasy jest napędzany siłownikiem hydraulicznym umieszczonej w dolnej części korpusu prasy. Prasy charakteryzuje duża sztywność i dokładne prowadzenie stołu. Prowadzenie takie zapewnia odpowiednią trwałość narzędzi nawet przy znacznym mimośrodowym obciążeniu tłoczniaka. Nacisk nominalny osiągany jest na całym skoku stołu prasy. Skok pras PAWN wynosi do 50 mm, a ich nacisk nominalny 400 kN. Umożliwia to produkowanie wyrobów z taśmy o maksymalnej grubości 3 mm. Prasy wyposażone w głowice gwinciarские umożliwiają wykonanie gwintów M2,5 do M8. Liczba wrzecion gwintujących wynosi 9. Do nitowania stosuje się druty o średnicy od 0,8 do 3 mm. Jednocześnie można podawać 6 drutów do nitowania.

Na rysunku 9.7 pokazano przykład prasy z tej samej serii, lecz wielonaciskowej, podwójnego działania PAWN-D40/25/16. Suwak prasy (ruchomy stół) jest prowadzony na czterech kolumnach. Wykonuje on ruchy posuwisto-zwrotne pomiędzy dwiema stałymi płytami korpusu, dzięki czemu uzyskuje się dwie przestrzenie robocze. Nacisk nominalny, nastawiany



Rys. 9.6. Przykłady wyrobów produkowanych na hydraulicznych prasach wieloczynnościowych typu PAWN



Rys. 9.7. Ogólny widok prasy PAWN-D40/25/16

niezależnie dla dolnego i górnego poziomego roboczego, wynosi 400/250/160 kN.

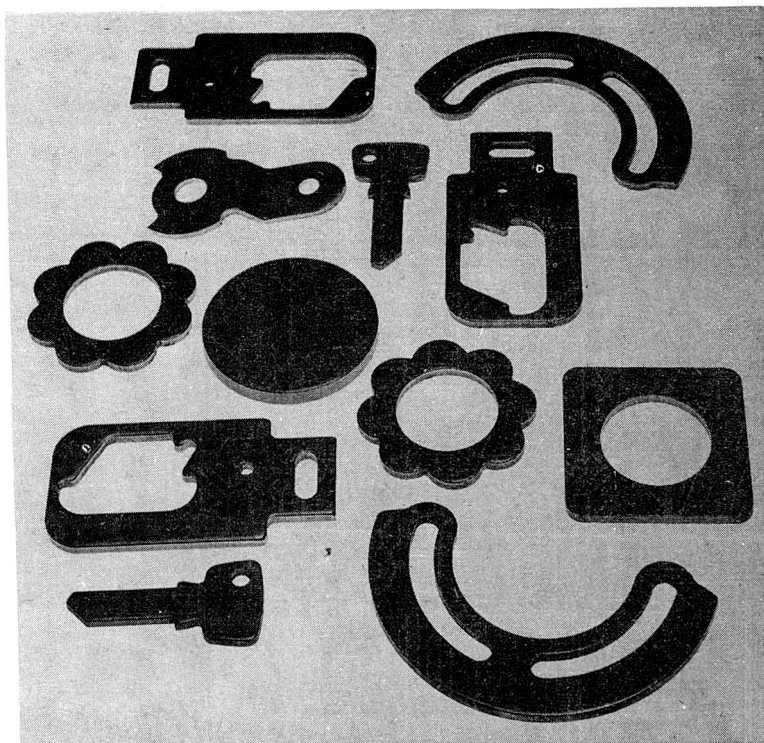
Do omawianej serii maszyn można jeszcze zaliczyć automatyczne prasy hydrauliczne do dokładnego wykrawania typu PAN-63 i PAN-100. Prasy te są przeznaczone do masowej i wielkoseryjnej produkcji części metodą dokładnego wykrawania. Gładkość powierzchni przecięcia (rys. 9.8) odpowiada gładkości powierzchni szlifowanych ( $R_a = 0,63 \mu\text{m}$ ), a dokładność wymiarowa 5,6 klasie dokładności według ISO.

### 9.3. Mimośrodowa walcarka profilowa do wielowypustów

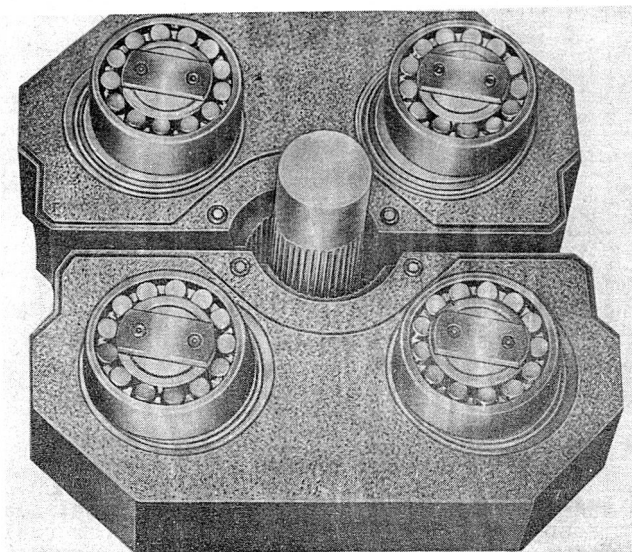
Walcarka jest przeznaczona do wykonywania na zimno różnego rodzaju wałków uzębionych, a przede wszystkim wałków wielowypustowych ze stali. Pracuje ona według opatentowanej w kraju i za granicą metody walcowania profilowego narzędziami o wewnętrznej powierzchni kształtującej. Oszczędności materiałów i kilkunastokrotnie większa wydajność oraz dokładność wykonania sprawia, że metoda ta zastępuje z powodzeniem obróbkę skrawaniem.

Narzędzia kształtujące (rys. 9.9) składają się z dwóch segmentów zębatych o uzębieniu wewnętrznym. Dla każdego rodzaju, modułu i liczby zębów niezbędne są oddzielne narzędzia.

Kolejne fazy kształtowania uzębienia na walcarce profilowej mimośrodowej pokazano na rys. 9.10. Każda ze szczęk przemieszcza się równo-

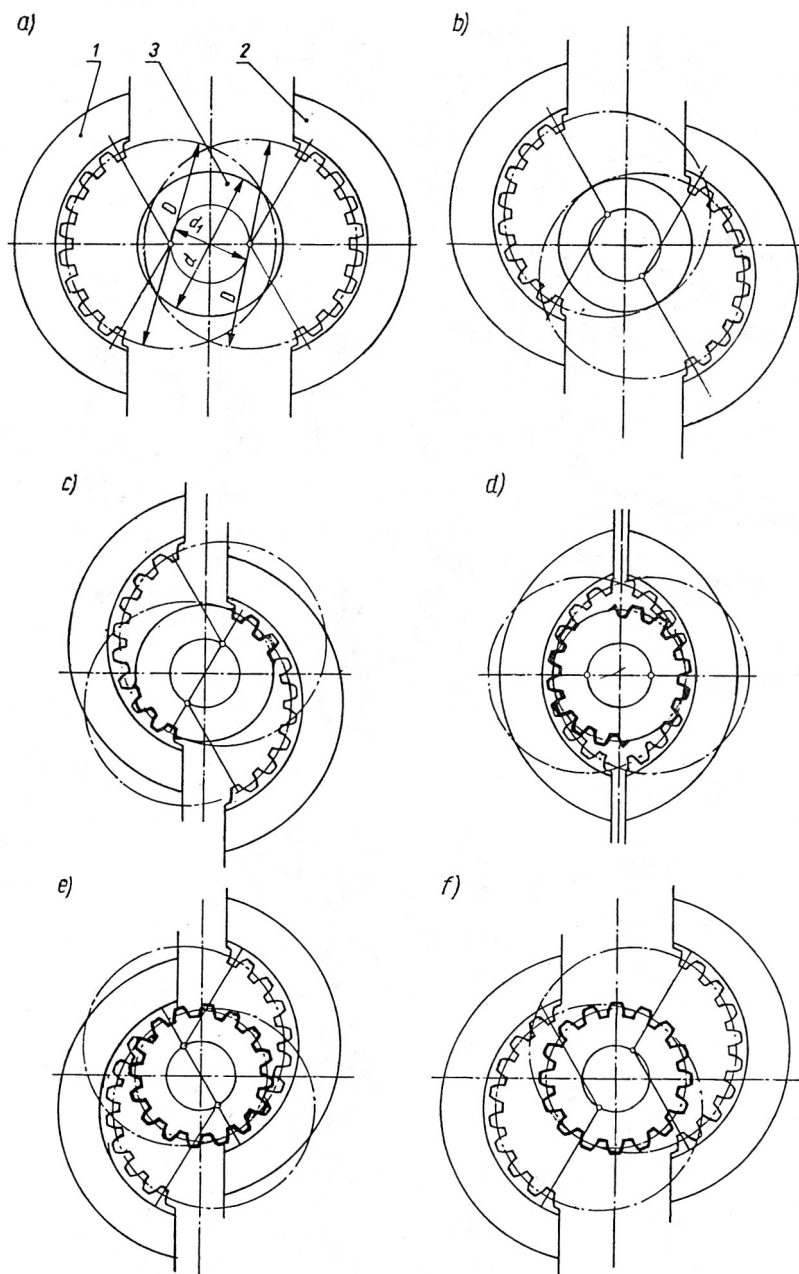


Rys. 9.8. Przykłady wyrobów wykrawanych na prasie typu PAN



Rys. 9.9. Narzędzia do walcowania wielowypustów





Rys. 9.10. Kolejne fazy (a do f) kształtowania uzębienia na walczarce profilowanej mimośrodowej typu WPM120 [1]: 1, 2 - narzędzia, 3 - kształtowany materiał



legle w taki sposób, że dowolny jej punkt krąży ze stałą prędkością po kole o średnicy  $d_1$ , równej różnicy średnic narzędzia i obrabianego materiału:  $d_1 = D - d$ . Proces kształtowania odbywa się cyklicznie w czasie wielu następujących po sobie ruchów narzędzia przy jednoczesnym przesuwie osiowym obrabianego przedmiotu. Maksymalna średnica walcowanego uzębienia dochodzi do 120 mm.

#### 9.4. Automaty do walcowania wiertel

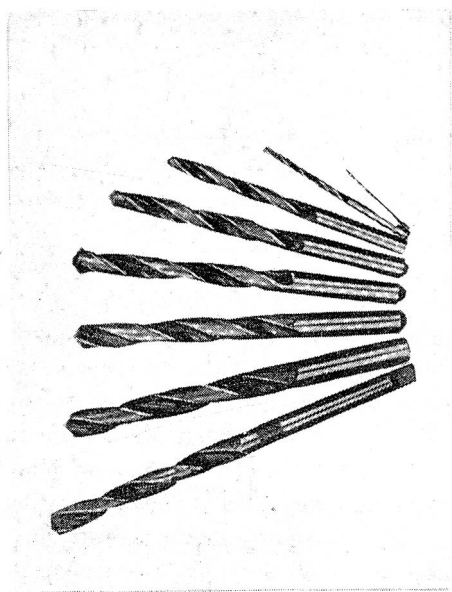
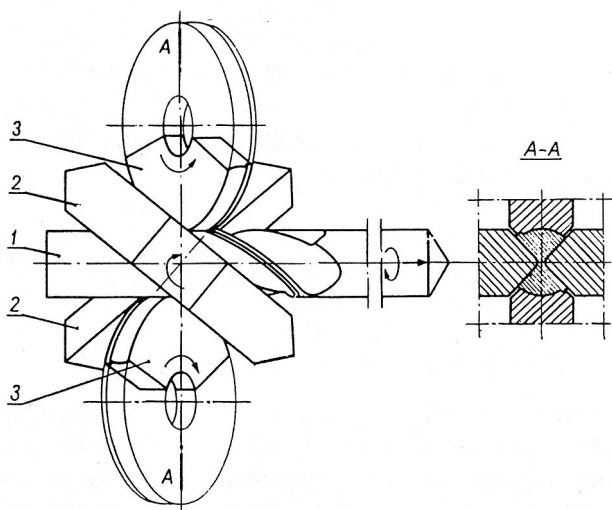
Na automatach do walcowania wiertel opracowanych przez Olszewskiego [2], [3] można wykonać wiertła o średnicy 2-18 mm. Obrabiana stal narzędziowa jest nagrzewana przed obróbką. Robocza część wiertła jest kształtowana w około 15 razy krótszym czasie w porównaniu z frezowaniem. Zużycie materiału jest mniejsze o 25 do 40%. Wiertła wykonane metodą walcowania są o około 70% trwalsze w porównaniu z wiertłami wykonanymi metodami obróbki skrawaniem.

Skrawająca część wiertła jest kształtowana w jednym przepuszczeniu metodą walcowania skośnego (rys. 9.11). Do kształtowania wiórowych rowków wiertła służy para segmentów 1, druga para segmentów 2 profiluje grzbiet wiertła łącznie z łyżką prowadzącą.

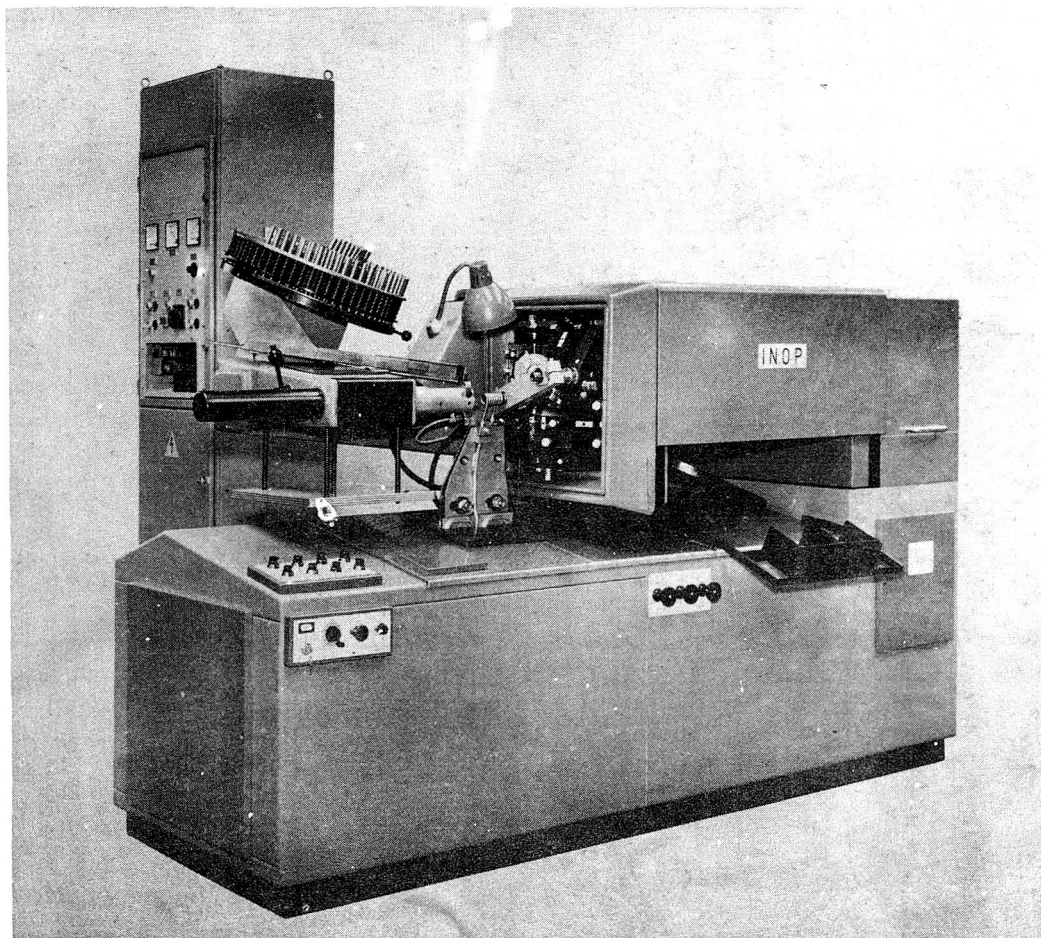
Automat (rys. 9.12) składa się z walcarki wyposażonej w podajnik oraz generatora grzewczego z szafą sterowniczą. Podajnik pneumatyczny podaje wstępniaki z zasobnika do induktora grzewczego i po nagrzanu do segmentów walcujących osadzonych na czterech wrzecionach. Ukształtowana walcówka jest przenoszona odbierakiem do rynny zsypowej.

W automacie zastosowano kilka unikatowych rozwiązań opatentowanych w kraju i za granicą. Należą do nich: mechanizm poosiowego nastawiania i kasowania luzów w łożyskach wrzecion, niezależny układ podający - eliminujący uchwycenie przez segmenty nie nagrzanego końca wstępniaka, sprzęgło cierne z mechanizmem samoczynnego wyłączania i inne.

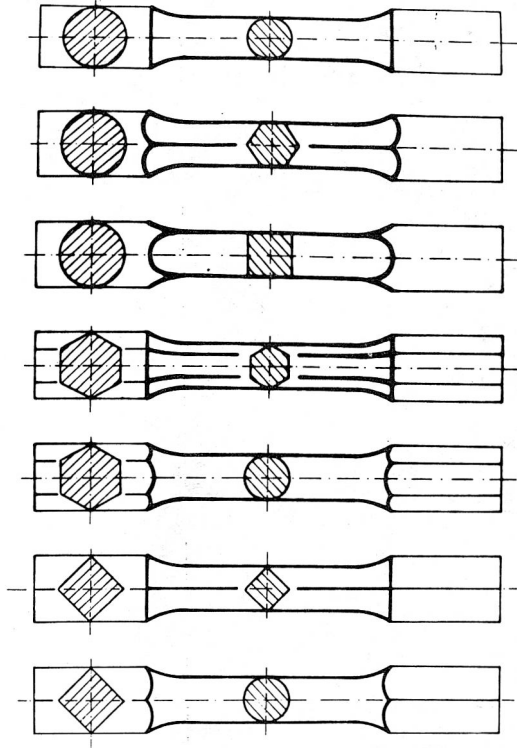
Walcarki buduje się w sposób umożliwiający walcowanie wiertel o średnicy: 2-3; 3-4,9; 5-8,5; 8,5-13,2 oraz 13,5-18,0 mm. W ciągu ośmiogodzinnego dnia pracy można wykonać od około 8000 wiertel o średnicy 2 mm do 600 wiertel o średnicy 18 mm.



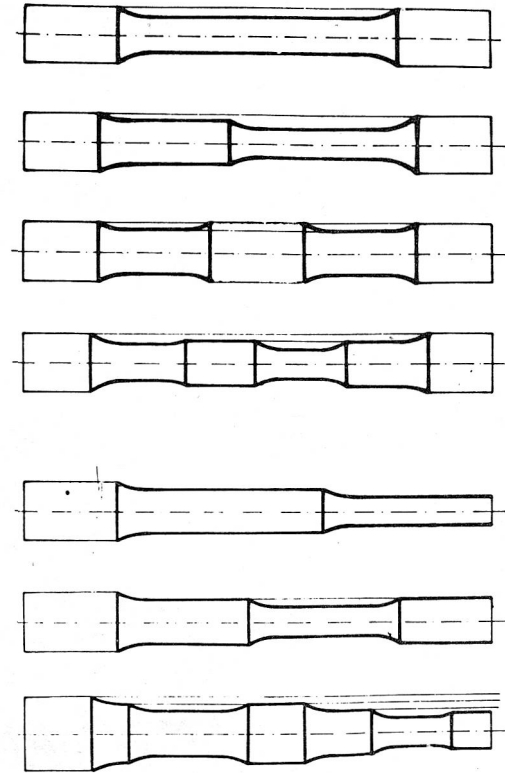
Rys. 9.11. Schemat walcowania wiertel: 1 - walcowany pręt,  
2, 3 - rolki kształtujące



Rys. 9.12. Ogólny widok walcarki do wiertel



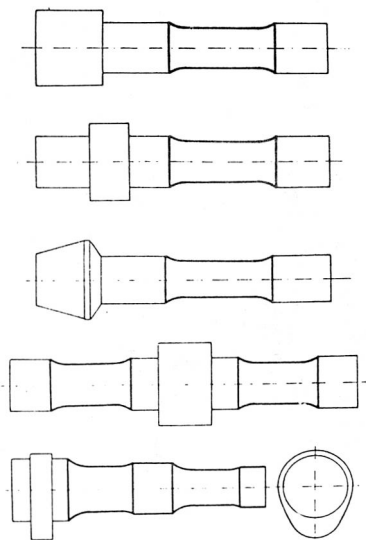
Rys. 9.13. Przykłady kształtowania przekroju poprzecznego wałków walcowanych wzdłużnych



Rys. 9.14. Przykłady rozmieszczenia stopni na długości wałka

### 9.5. Walcarka do wzdłużnego walcowania wałków stopniowanych

Za pomocą walcowania wzdłużnego na zimno można wykonywać wałki o zmiennym kształcie i powierzchni przekroju (okrągłe, kwadratowe, sześciokątne - rys. 9.13).



Rys. 9.15. Przykłady wałków uzyskanych w wyniku lokalnego spęcznienia i walcowania wzdłużnego

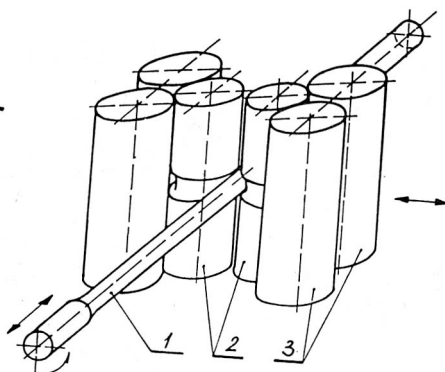
Na rysunku 9.14 pokazano możliwości rozmieszczania stopni na długości kształtowanego wałka o ustalonej średnicy wyjściowej, a na rys. 9.15 o zmiennej średnicy wyjściowej uzyskanej metodą uprzedniego spęcznienia.

Walcowanie wzdłużne na zimno polepsza właściwości wytrzymałościowe oraz pozwala uzyskać dużą gładkość powierzchni kształtowanych wyrobów, znaczne oszczędności materiałów, wysoką wydajność procesu i dokładność kształtu przy niskim koszcie narzędzi (rolek).

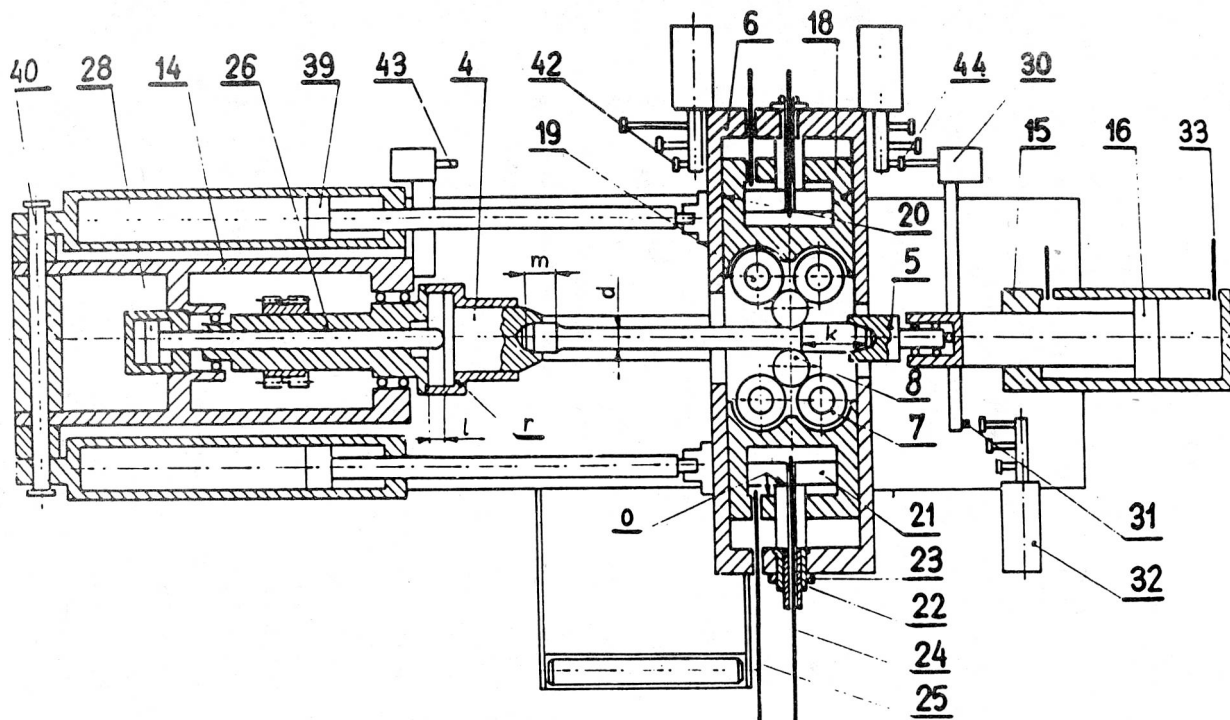
Schemat walcowania wzdłużnego przedstawiono na rys. 9.16. Wałek 1 jest zamocowany w sposób umożliwiający jego wydłużanie podczas kształtowania rolkami 2, które są podpierane tulejami 3.

Na rysunku 9.17 pokazano poziomy przekrój walcarki. Mechanizm walcujący 6

(rys. 9.17) przemieszcza się w prowadnicach 17. Zadaniem mechanizmu walcującego jest wywieranie siły na rolki 8 w fazie zginięcia i walcowania materiału. Do tego celu służą dwa siłowniki hydrauliczne 21, rozmieszczone symetrycznie względem osi walcarki. Nacisk na rolki 8 jest przenoszony za pośrednictwem oporowych tulei 7, obracających się na sworzniach 19. Sworznie te są osadzone na stałe w korpusach 18 cylindrów hydraulicznych. Tłoki 21 są połączone z korpusem mechanizmu walcu-



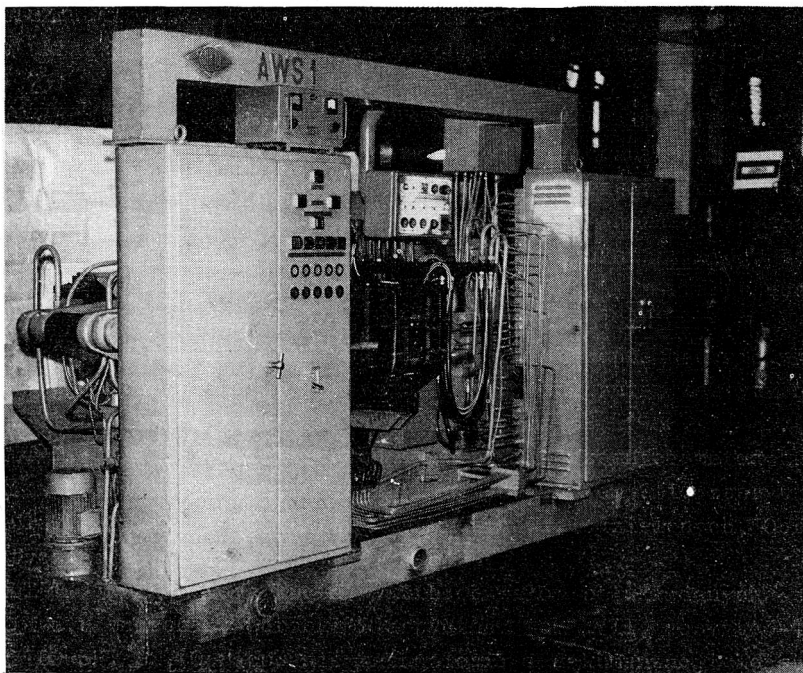
Rys. 9.16. Schemat wzdłużnego walcowania wałków



Rys. 9.17. Przekrój poziomy walcarki do walcowania wzdłużnego (opracowanej przez zespół J. Jezierskiego [4], [7])

jącego 6 za pomocą gwintowanych tulei regulacyjnych 22 i nakrętek 23. Przemieszczenie cylindrów 18 i kształtujących rolek 8 odbywa się pod wpływem ciśnienia oleju doprowadzanego przewodami 24. Wymiar średnicy kształtowanego wałka ustala się za pomocą tulei regulacyjnej 22.

Ogólny widok walcarki pokazano na rys. 9.18. Bliższy opis metody i narzędzi można znaleźć w pracach [4]-[7].



Rys. 9.18. Ogólny widok walcarki do walcowania wzdłużnego

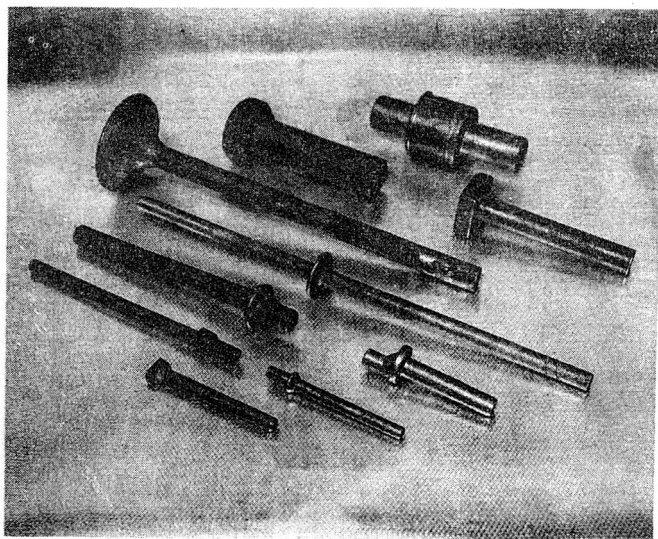
#### 9.6. Przyrządy do kucia metodą TR

Możliwości technologiczne pras mimośrodowych można znacznie rozszerzyć przez zastosowanie specjalnych przyrządów typu PTR do spęczniania prętów i rur. Skrót TR pochodzi od pierwszych liter nazwiska twórcy przyrządów, profesora Tadeusza Ruta.

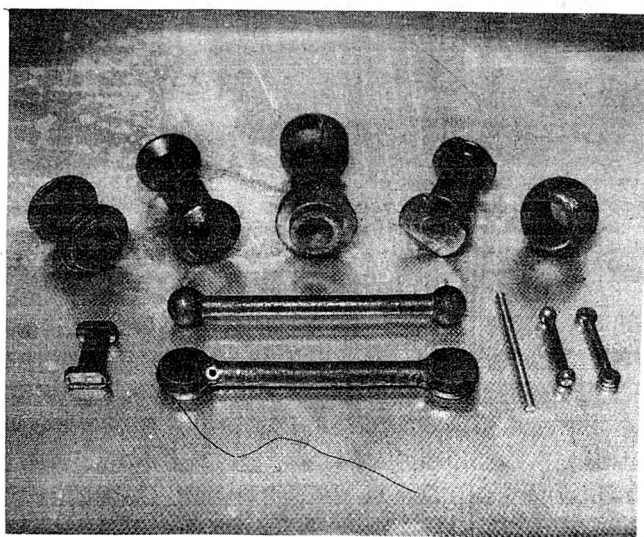
Podstawowymi elementami przyrządu (rys. 9.19) są: płyta głowicowa 1, podstawa 2, półmatryce górne 3 i dolne 4 prowadzone względem siebie w słupach 5, ogniwa spinające 6 i łączniki 7, wałki łożyskowe 8, śruby zderzakowe 9 ustalające położenie wyjściowe półmatryc oraz wkładki matrycowe 10 i sprężyny rozpierające 11.







Rys. 9.20. Przykłady wyrobów kształtowanych za pomocą przyrządu TRW



Rys. 9.21. Przykłady wyrobów kształtowanych za pomocą przyrządu TRD

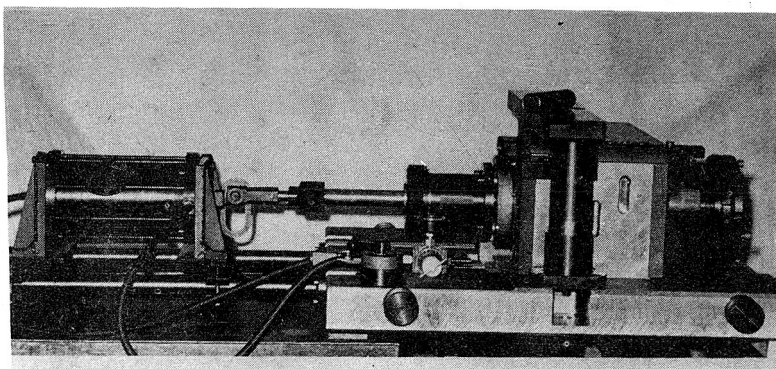
W dalszej kolejności wprowadzono do praktyki przemysłowej przyrząd o symbolu TRD (patent PRL 121730). Przyrząd ten jest przeznaczony do kucia dwustronnego. W jednym suwie roboczym można jednocześnie wykonać

dwa spęczenia. Przykłady odkuwek pokazano na rys. 9.21. Bliższy opis konstrukcyjnych odmian przyrządu TRD można znaleźć w pracy [9].

Przyrządy TR służą również do odkuwania wałów wykręconych jednolitych i składanych. Metodę kucia pojedynczych wykrębień opisano w pracy [10]. Kucie pojedynczych wykrębień w przyrządach TR można zaliczyć do kucia matrycowego. Zadecydowała o tym wysoka dokładność kucia.

#### 9.7. Uniwersalny przyrząd PSD do bezodpadowego, dokładnego cięcia rur, prętów i kształtowników

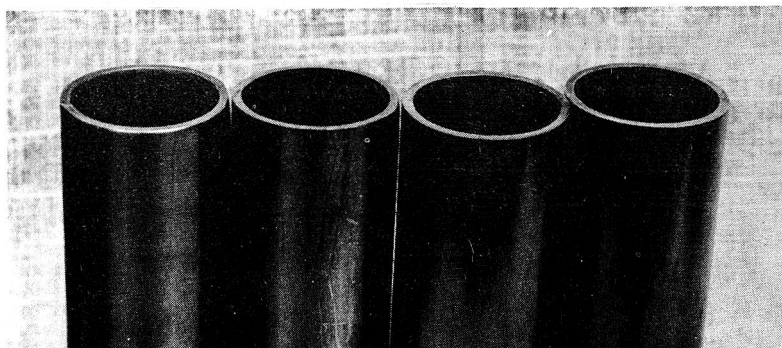
Innym przykładem zwiększenia technologicznych możliwości pras ogólnego stosowania może być przyrząd PSD (rys. 9.22). Przyrząd ten służy do dokładnego, bezodpadowego cięcia rur, prętów i kształtowników. Łatwość wymiany elementów tnących, możliwość płynnej regulacji odległości



Rys. 9.22. Przyrząd PSD do dokładnego bezodpadowego cięcia rur, prętów i kształtowników na prasach ogólnego stosowania (opracowany przez S.Dziadowskiego [11], [12])

między krawędziami tnącymi i płynnej regulacji długości cięcia oraz samoczynne usuwanie odciętych półfabrykatów zadecydowały o uniwersalności przyrządu. Panelowa konstrukcja przyrządu umożliwia zmianę kształtu i wymiarów przekroju ciętego materiału bez demontażu przyrządu z prasy.

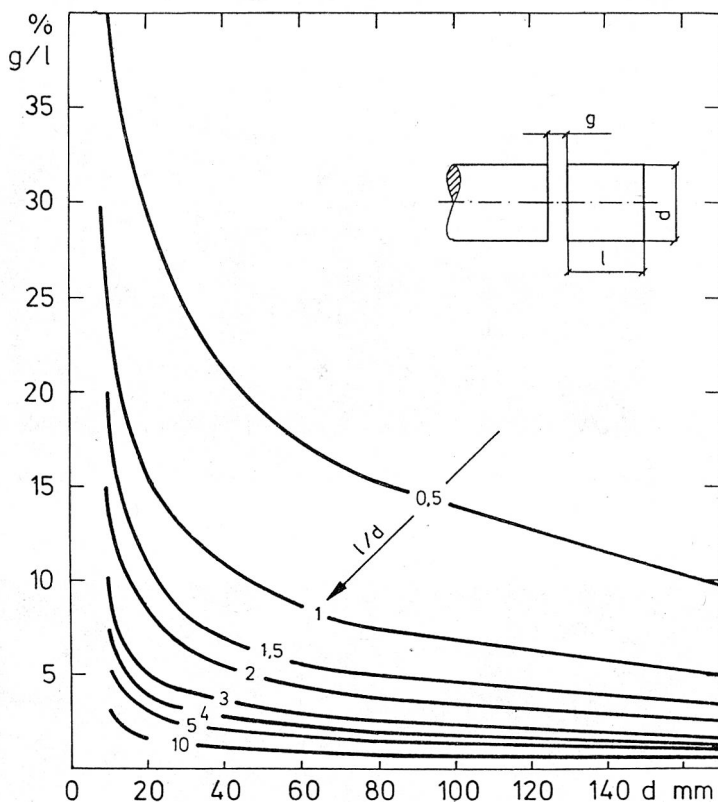
Na rysunku 9.23 pokazano tuleje odcięte z rury o średnicy 45 mm. Jak wynika, tuleje zachowały swą kołowość, przy czym powierzchnia przecięcia jest płaska i wolna od zadziórów oraz prostopadła do osi tulei. Natomiast na rysunku 9.24 przedstawiono półfabrykat odcięty z pręta o średnicy 40 mm. Cięcie realizowano za pomocą tego samego przyrządu po usunięciu noży wewnętrznych – stosowanych uprzednio przy cięciu rur. Wiadoczny na rys. 9.24 półfabrykat ma płaską powierzchnię przecięcia i dobrze zachowaną kołowość przekroju. Powierzchnia przecięcia jest prosto-



Rys. 9.23. Tuleje odcięte z rury za pomocą przyrządu PSD



Rys. 9.24. Półfabrykaty odcięte z pręta za pomocą przyrządu PSD padła do wzdłużnej osi półfabrykatu. Nie występują również zadziory, jakie spotyka się nagminnie po cięciu ubytkowym.

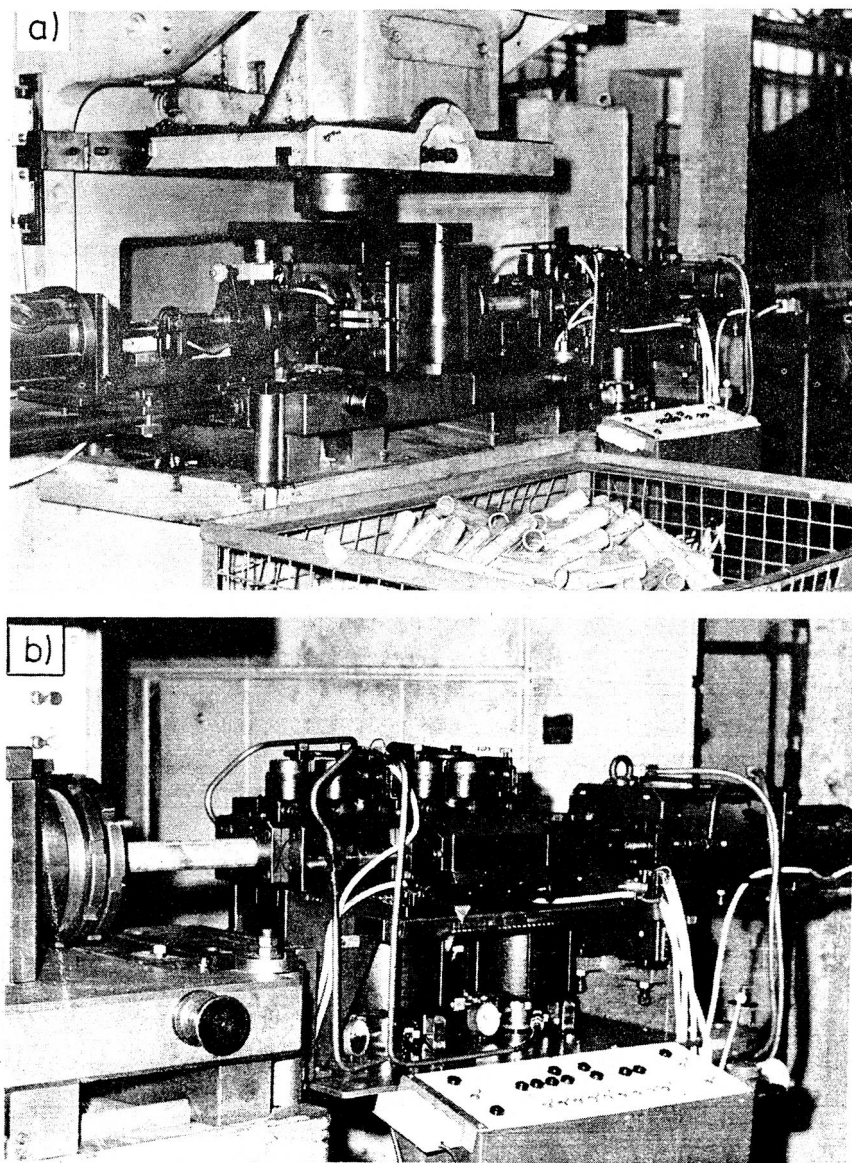


Rys. 9.25. Wartość procentowych oszczędności materiału, możliwych do uzyskania po zastosowaniu przyrządu PSD zamiast piły tarczowej lub innego narzędzia skrawającego:  $g$  - grubość narzędzia skrawającego,  $d$  - średnica ciętego pręta,  $l$  - długość cięcia,  $g/l$  - względna długość pręta tracąca przy cięciu narzędziami skrawającymi

Stosowanie przyrządu PSD może przyczynić się do znacznych oszczędności materiałów i energii. W zależności od średnicy i długości cięcia można zaoszczędzić od kilku do ponad 40% materiałów (rys. 9.25) - w porównaniu z cięciem za pomocą pił, noży tokarskich czy też tarcz ściernych.

Przyrząd PSD może współdziałać w automatycznym cyklu pracy z prasą i podajnikiem ciętego materiału, a w przypadku produkcji wielkoseryjnej z zasobnikiem i transporterem. Automatyczny układ sterowania umożliwia ponadto samoczynne usuwanie niepełnowymiarowej końcówki ciętego pręta lub rury. Dzięki temu pierwszy półfabrykat, odcięty z następnego pręta (rury), ma żądany wymiar.

Ogólny widok zmechanizowanego przyrządu PSD pokazano na rys. 9.26.



Rys. 9.26. Zautomatyzowany przyrząd PSD przystosowany do bezodpadowego cięcia rur: a - widok ogólny przyrządu ustawionego na prasie mimośrodowej, b - widok podajnika rur i pulpitu sterowniczego

Literatura do rozdziału 9

1. Obrabiarki - Maszyny do obróbki plastycznej metali, Katalog SWW 0742, 0749, tom II, Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego WEMA, Warszawa 1978.
2. OLSZEWSKI M., Polskie automaty do skośnego walcowania wiertel krętych do metali, Obróbka Plastyczna, tom 12, zeszyt 3, 1973.
3. OLSZEWSKI M., Walcowanie wiertel krętych z równoczesnym skręcaniem w układzie czterech walców, Obróbka Plastyczna, tom 12, zeszyt 4, 1973.
4. JEZIERSKI J., PALUCH M., PAŁCZYŃSKI M., Kształtowanie wałków stopniowanych metodą walcowania wzdłużnego, Mechanik nr 11, 1983.
5. JEZIERSKI J., PALUCH M., PAŁCZYŃSKI M., Narzędzia do kształtowania wałków metodą walcowania wzdłużnego, III Krajowa Konferencja N-T nt. "Problemy narzędziowe w obróbce plastycznej", Bydgoszcz 1985.
6. JEZIERSKI J., PAŁCZYŃSKI M., PALUCH M., Rolki kształtujące do walcowania wzdłużnego wałków, Mechanik nr 12, 1986.
7. PAŁCZYŃSKI M., JEZIERSKI J., MOSKAŁ W., Wstępne badania własności wytrzymałościowych wałków walcowanych wzdłużnie, Zeszyty naukowe Politechniki Białostockiej, Mechanika nr 52, 1986.
8. RUT T., HALIASZ J., Przegląd i ocena nowoczesnych metod kucia ciężkich wałów korbowych, Obróbka Plastyczna, tom VII, zeszyt 4, 1968.
9. RUT T., Przyrząd do kucia w matrycach wielodzielonych, Obróbka Plastyczna, tom XXII, zeszyt 2, 1983.
10. RUT T., Nowa metoda kucia wykorbień wałów półskładanych - Sposób kucia i urządzenia, Obróbka Plastyczna, tom XVII, zeszyt 3-4, 1978.
11. DZIDOWSKI S., Opracowanie technologii i dokumentacji konstrukcyjnej przyrządów oraz wdrożenie bezodpadowego cięcia prętów o średnicy 14 do 40 mm, stosowanych w produkcji wiertel, Raport Instytutu Technologii Budowy Maszyn Politechniki Wrocławskiej - seria sprawozdania, nr 5, Wrocław 1985.
12. DZIDOWSKI S., Badanie procesu bezodpadowego cięcia rur ze stali nierdzewnej oraz wykonanie prototypowego gniazda technologicznego dla FMR Agromet-Archimedes, Raport Instytutu Technologii Budowy Maszyn Politechniki Wrocławskiej - seria sprawozdania, nr 2, Wrocław 1987.

## SPIS RZECZY

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Wprowadzenie . . . . .                                                        | 4  |
| 2. Maszyny z napędem korbowym . . . . .                                          | 6  |
| 2.1. Zasada działania i klasyfikacja . . . . .                                   | 6  |
| 2.2. Rozkład sił w mechanizmie korbowym . . . . .                                | 11 |
| 2.3. Podstawowe parametry . . . . .                                              | 12 |
| 2.3.1. Nacisk nominalny . . . . .                                                | 12 |
| 2.3.2. Nacisk dopuszczalny . . . . .                                             | 14 |
| 2.3.3. Energia użyteczna . . . . .                                               | 15 |
| 2.3.4. Skok suwaka . . . . .                                                     | 22 |
| 2.3.5. Wymiary przestrzeni roboczej . . . . .                                    | 24 |
| 2.3.6. Sztywność . . . . .                                                       | 27 |
| 2.4. Podstawowe podzespoły i ich przeznaczenie . . . . .                         | 29 |
| 2.4.1. Korpus i stół . . . . .                                                   | 29 |
| 2.4.2. Napęd mechanizmu korbowego . . . . .                                      | 30 |
| 2.4.3. Wały korbowe . . . . .                                                    | 31 |
| 2.4.4. Sprzęgła . . . . .                                                        | 32 |
| 2.4.5. Hamulce . . . . .                                                         | 35 |
| 2.4.6. Mechanizm samoczynnego rozrządu . . . . .                                 | 37 |
| 2.4.7. Mechanizm zmiany skoku suwaka . . . . .                                   | 38 |
| 2.4.8. Korbowód i suwak . . . . .                                                | 38 |
| 2.4.9. Urządzenia zabezpieczające . . . . .                                      | 41 |
| 2.4.10. Mechanizmy i części specjalnego przeznaczenia . . . . .                  | 44 |
| 2.5. Przykłady zastosowań i rozwiązań konstrukcyjnych . . . . .                  | 47 |
| 2.5.1. Prasy do tłoczenia - uniwersalne i specjalizowane . . . . .               | 47 |
| 2.5.2. Prasy podwójnego i potrójnego działania do głębokiego tłoczenia . . . . . | 48 |
| 2.5.3. Prasy do gięcia i prostowania . . . . .                                   | 58 |
| 2.5.4. Maszyny do kucia . . . . .                                                | 58 |
| 2.5.5. Maszyny do obróbki objętościowej na zimno . . . . .                       | 64 |
| Literatura do rozdziału 2 . . . . .                                              | 76 |
| 3. Maszyny z mechanizmem śrubowym . . . . .                                      | 77 |
| 3.1. Zasada działania i klasyfikacja . . . . .                                   | 77 |
| 3.2. Podstawowe parametry pras śrubowych . . . . .                               | 81 |
| 3.2.1. Nacisk nominalny . . . . .                                                | 81 |



|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.2. Nacisk dopuszczalny . . . . .                                                       | 81  |
| 3.2.3. Nacisk maksymalny . . . . .                                                         | 82  |
| 3.2.4. Energia efektywna . . . . .                                                         | 82  |
| 3.2.5. Największy skok suwaka. . . . .                                                     | 83  |
| 3.2.6. Sztywność . . . . .                                                                 | 83  |
| 3.3. Zastosowanie mechanizmów śrubowych . . . . .                                          | 84  |
| 3.4. Przegląd konstrukcji . . . . .                                                        | 84  |
| 3.4.1. Prasy śrubowe cierne. . . . .                                                       | 84  |
| 3.4.2. Prasy elektrośrubowe. . . . .                                                       | 85  |
| 3.4.3. Prasy śrubowe hydrauliczne. . . . .                                                 | 87  |
| 3.5. Porównanie układów napędowych i konstrukcyjnych. . . . .                              | 89  |
| Literatura do rozdziału 3. . . . .                                                         | 90  |
| 4. Maszyny z napędem hydraulicznym . . . . .                                               | 91  |
| 4.1. Podstawowe cechy i klasyfikacja napędów hydraulicznych . . . . .                      | 91  |
| 4.1.1. Napęd pompowo-bezakumulatorowy. . . . .                                             | 92  |
| 4.1.2. Napęd pompowo-bezakumulatorowy ze stopniowo regulowaną wydajnością. . . . .         | 95  |
| 4.1.3. Napęd pompowo-bezakumulatorowy z bezstopniową regulacją wydajności. . . . .         | 95  |
| 4.1.4. Napęd pompy z przetrzymaniem pod naciskiem. . . . .                                 | 97  |
| 4.1.5. Napęd pompowo-akumulatorowy . . . . .                                               | 98  |
| 4.1.6. Napęd multiplikatorowy. . . . .                                                     | 99  |
| 4.2. Schematy konstrukcyjne . . . . .                                                      | 102 |
| 4.3. Ważniejsze podzespoły usprawniające działanie maszyn z napędem hydraulicznym. . . . . | 103 |
| 4.3.1. Urządzenia zalewowe . . . . .                                                       | 103 |
| 4.3.2. Samoczynny wyłącznik ciśnienia. . . . .                                             | 105 |
| 4.3.3. Zbiornik hydrauliczno-powietrzny. . . . .                                           | 106 |
| 4.3.4. Urządzenia dławiące . . . . .                                                       | 106 |
| 4.3.5. Rozdzielacze hydrauliczne . . . . .                                                 | 107 |
| 4.3.6. Urządzenia pomocnicze . . . . .                                                     | 109 |
| 4.4. Prasy hydrauliczne do wykrawania i tłoczenia . . . . .                                | 114 |
| 4.4.1. Prasy do wykrawania . . . . .                                                       | 114 |
| 4.4.2. Prasy hydrauliczne ciągowe z dociskaczem. . . . .                                   | 120 |
| 4.5. Prasy hydrauliczne do kucia. . . . .                                                  | 123 |
| 4.5.1. Prasy hydrauliczne do kucia matrycowego . . . . .                                   | 123 |
| 4.5.2. Prasy hydrauliczne do kucia swobodnego. . . . .                                     | 123 |
| 4.6. Prasy do obciągania. . . . .                                                          | 127 |
| Literatura do rozdziału 4. . . . .                                                         | 131 |
| 5. Młoty . . . . .                                                                         | 132 |
| 5.1. Zasada działania i klasyfikacja. . . . .                                              | 132 |
| 5.2. Młoty do kucia swobodnego. . . . .                                                    | 134 |



|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3. Młoty do kucia matrycowego . . . . .                                                                     | 136 |
| 5.4. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych. . . . .                                                             | 136 |
| 5.4.1. Młoty parowo-powietrzne szabotowe . . . . .                                                            | 136 |
| 5.4.2. Młoty parowo-powietrzne przeciwbieżne . . . . .                                                        | 138 |
| 5.4.3. Młoty hydrauliczne i pneumohydrauliczne . . . . .                                                      | 139 |
| 5.4.4. Młoty szybkobieżne. . . . .                                                                            | 141 |
| Literatura do rozdziału 5. . . . .                                                                            | 143 |
| 6. Maszyny rotacyjne . . . . .                                                                                | 144 |
| 6.1. Przeznaczenie i klasyfikacja . . . . .                                                                   | 144 |
| 6.2. Maszyny do prostowania i gięcia. . . . .                                                                 | 145 |
| 6.3. Walcarki kuźnicze. . . . .                                                                               | 145 |
| 6.4. Kowarki. . . . .                                                                                         | 153 |
| 6.5. Maszyny do zgniatania obrotowego . . . . .                                                               | 157 |
| 6.6. Maszyny do wyoblania . . . . .                                                                           | 157 |
| 6.7. Walcarki do pierścieni i kół . . . . .                                                                   | 158 |
| 6.8. Nożyce krążkowe. . . . .                                                                                 | 160 |
| Literatura do rozdziału 6. . . . .                                                                            | 161 |
| 7. Maszyny i stanowiska do kształtowania z dużymi energiami. . . . .                                          | 162 |
| 7.1. Stanowiska do kształtowania energią wybuchu. . . . .                                                     | 162 |
| 7.2. Stanowiska do kształtowania energią wyładowań elektrycz-<br>nych w cieczy. . . . .                       | 163 |
| 7.3. Stanowiska do kształtowania impulsem pola magnetycznego. . . . .                                         | 164 |
| Literatura do rozdziału 7. . . . .                                                                            | 165 |
| 0 Zasady doboru maszyn. . . . .                                                                               | 166 |
| 8.1. Ogólne zasady doboru maszyn. . . . .                                                                     | 166 |
| 8.1.1. Techniczno-ekonomiczne przesłanki doboru maszyn . . . . .                                              | 166 |
| 8.1.2. Wpływ temperatury i prędkości kształtowania na wy-<br>bór maszyny . . . . .                            | 167 |
| 8.2. Podstawowe zasady doboru maszyn do kształtowania wyrobów<br>z blachy . . . . .                           | 177 |
| 8.3. Podstawowe zasady doboru maszyn do obróbki objętościowej . . . . .                                       | 179 |
| Literatura do rozdziału 8. . . . .                                                                            | 185 |
| 9. Przykłady ciekawszych, krajowych rozwiązań maszyn i urządzeń do<br>obróbki plastycznej . . . . .           | 186 |
| 9.1. Prasa z wahającą matrycą . . . . .                                                                       | 186 |
| 9.2. Automatyczne, wieloczynnościowe prasy hydrauliczne . . . . .                                             | 187 |
| 9.3. Mimośrodowa walcarka profilowa do wielowypustów. . . . .                                                 | 192 |
| 9.4. Automaty do walcowania wiertel . . . . .                                                                 | 195 |
| 9.5. Walcarka do wzdłużnego walcowania wałków stopniowanych . . . . .                                         | 199 |
| 9.6. Przyrządy do kucia metodą TR . . . . .                                                                   | 201 |
| 9.7. Uniwersalny przyrząd PSD do bezodpadowego, dokładnego cię-<br>cia rur, prętów i kształtowników . . . . . | 204 |
| Literatura do rozdziału 9. . . . .                                                                            | 208 |

