

3. Obrabiarki skrawające

3.1. Przeznaczenie, cechy charakterystyczne i podział obrabiarek

Obrabiarki skrawające (w skrócie obrabiarki) to maszyny technologiczne przeznaczone do kształtowania za pomocą narzędzi skrawających przedmiotów z materiałów metalowych, np. stali, żeliwa, metali kolorowych oraz innych materiałów skrawalnych. Istota pracy obrabiarek polega na tym, że żądany kształt przedmiotu obrabianego uzyskuje się zawsze jako wynik względnych ruchów narzędzia i przedmiotu.

Głównymi zaletami obrabiarek skrawających są:

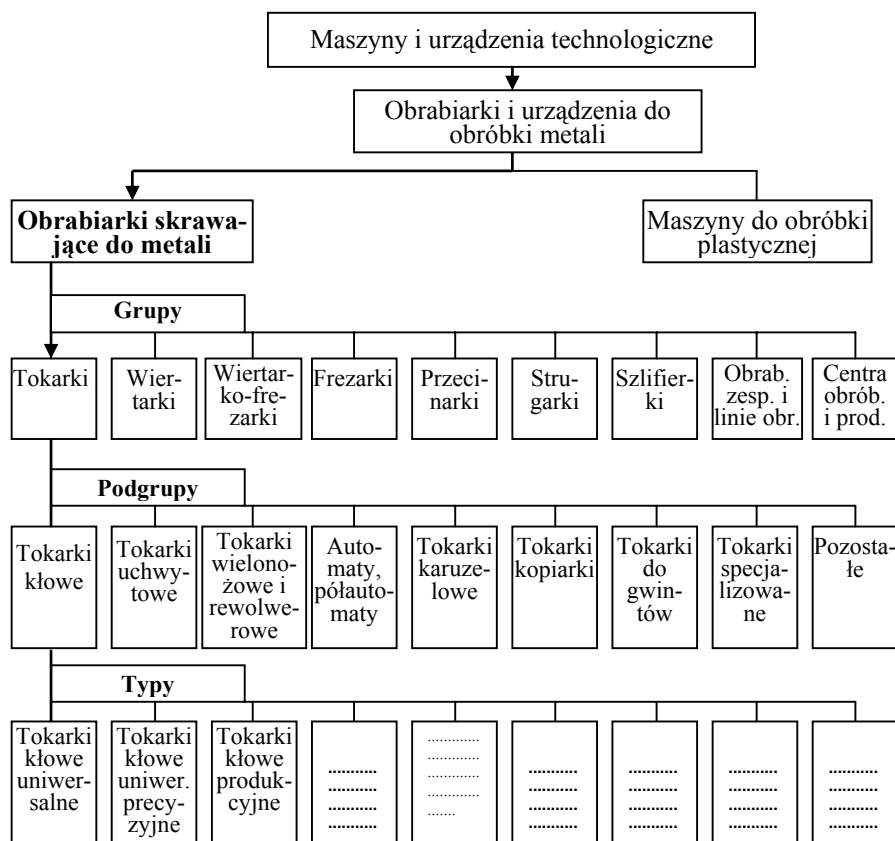
- możliwość uzyskania przedmiotów o największej dokładności wymiarowo-kształtowej i najmniejszej chropowatości powierzchni, dzięki czemu obrabiarki odgrywają dominującą rolę w technologii maszyn,
- możliwość wykonania metodami obróbki dość złożonych kształtów powierzchni na obrabianym przedmiocie wskutek sprzężenia ruchów względnych przedmiotu i narzędzia.

Głównymi wadami kształtowania przedmiotów na obrabiarkach skrawających są:

- znaczny ubytek materiału obrabianego w czasie obróbki, zamieniany w wióry,
- znaczna energochłonność procesu obróbki skrawaniem,
- mniejsza wydajność od wydajności innych sposobów obróbki, np. obróbki plastycznej.

W zależności od sposobu obróbki wyróżniono 9 następujących grup obrabiarek (tab. 3.1):

Tabela 3.1. Schemat klasyfikacji obrabiarek



- tokarki,
- wiertarki i gwincarki,
- wiertarko-frezarki i wytaczarki,
- frezarki,
- przecinarki, nakiełczarki, pilnikarki,
- strugarki, dłutownice, przeciągarki,
- szlifierki,
- obrabiarki zespołowe i linie obrabiarkowe,
- centra obróbkowe, centra produkcyjne, zautomatyzowane zestawy produkcyjne.

Poszczególne grupy obrabiarek, w zależności od ich układu konstrukcyjnego, sposobu pracy, kształtu powierzchni obrabianej, sposobu zamocowania przedmiotu i narzędzia, dzieli się na podgrupy i typy.

3.2. Tokarki

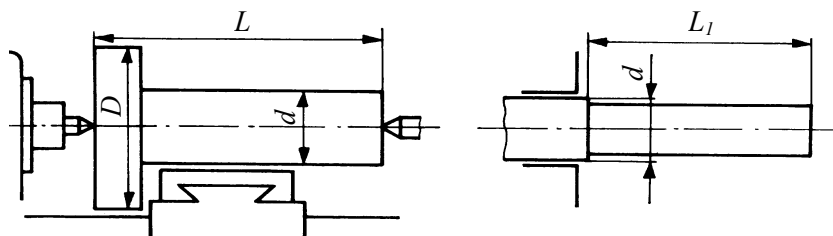
3.2.1. Przeznaczenie i podział tokarek

Tokarki stanowią podstawową grupę obrabiarek przeznaczonych do obróbki zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni obrotowych. Kształtowanie tych powierzchni jest dokonywane z zastosowaniem obrotowego ruchu głównego W przedmiotu obrabianego oraz prostoliniowego ruchu posuwowego P narzędzia.

Tokarki są najliczniejszą i jedną z najbardziej zróżnicowanych konstrukcyjnie grup obrabiarek. W grupie tej rozróżnia się następujące ważniejsze podgrupy i odmiany:

- tokarki kłowe: uniwersalne, produkcyjne, wielonożowe, kopiarki,
- tokarki uchwytowe,
- tokarki tarczowe i karuzelowe,
- tokarki rewolwerowe,
- automaty tokarskie: jednowrzecionowe oraz wielowrzecionowe,
- tokarki specjalizowane: do gwintów i zataczarki,
- tokarki specjalne (branżowe).

Wielkościami charakterystycznymi tokarek kłowych oraz większości pozostałych są (rys. 3.1):



Rys. 3.1. Wielkości charakterystyczne tokarek

- największa średnica toczenia nad łożem D i nad suportem d lub największa średnica obrabianego przedmiotu,
- rozstaw kłów L lub największa długość toczenia L_1 .

3.2.2. Tokarki kłowe

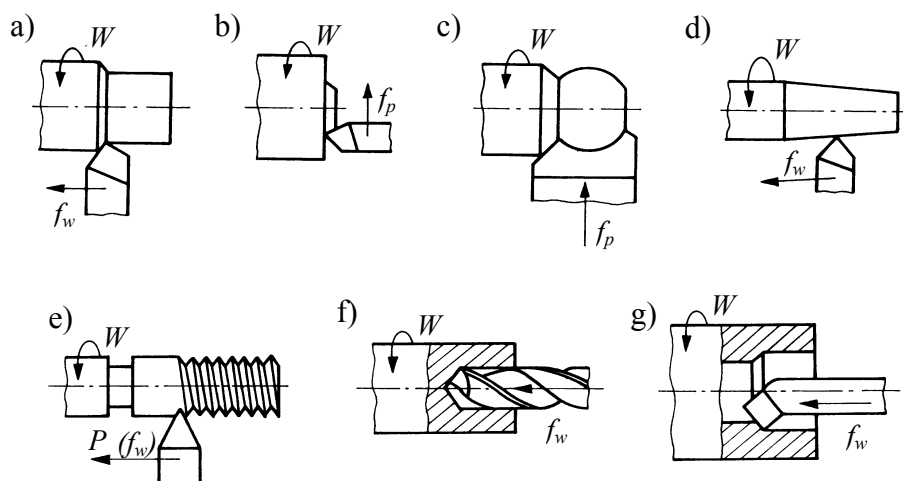
Tokarki kłowe są najbardziej liczną i szeroko stosowaną podgrupą tokarek. Głównymi odmianami tokarek kłowych średniej wielkości są:

- tokarki kłowe uniwersalne,
- tokarki kłowe produkcyjne.

Poza tymi odmianami tokarki kłowe są budowane jako:

- stołowe - do obróbki małych przedmiotów,
- precyzyjne - do obróbki przedmiotów o dużej dokładności i bardzo małej chropowatości powierzchni.
- ciężkie - do obróbki przedmiotów o dużych wymiarach,
- wielonożowe - do obróbki jednoczesnej za pomocą kilku narzędzi.

Typowymi zabiegami obróbkowymi wykonywanymi na tokarkach kłowych są (rys. 3.2):



Rys. 3.2. Przykłady zabiegów wykonywanych na tokarkach: a) toczenie wzdłużne, b) toczenie poprzeczne, c) toczenie nożem kształtowym, d) toczenie powierzchni stożkowej, e) toczenie gwintu, f) wiercenie otworu, g) wytaczanie otworu

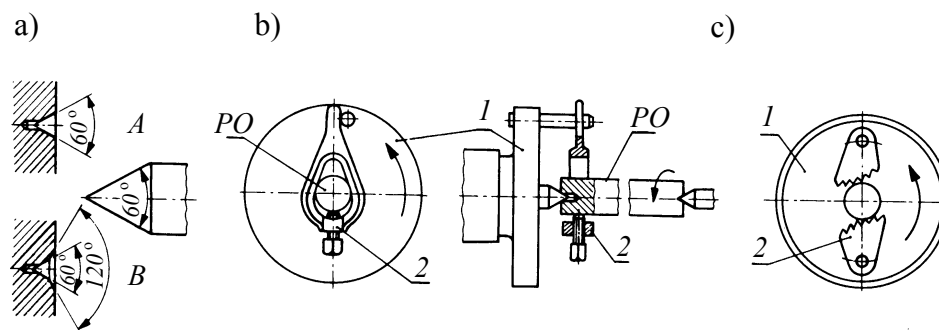
- obróbka powierzchni walcowych zewnętrznych z zastosowaniem posuwu wzdłużnego f_w ,
- obróbka powierzchni czołowych (płaskich) z zastosowaniem posuwu poprzecznego f_p ,

- obróbka powierzchni zewnętrznych o złożonych kształtach z zastosowaniem narzędzi kształtowych,
- obróbka powierzchni stożkowych z zastosowaniem skręconego suportu narzędziowego, poprzecznego przesuwu kła konika lub urządzeń kopiujących,
- obróbka gwintów (na tokarkach uniwersalnych) z zastosowaniem sprzężenia ruchu obrotowego W i ruchu prostoliniowego P ,
- obróbka powierzchni walcowych wewnętrznych z zastosowaniem wiertła, rozwiertaków lub noży do wytaczania otworów.

Istnieją dwa sposoby mocowania przedmiotów obrabianych na tokarkach:

- w kłach wrzeciona i konika, z zastosowaniem tarcz zabierakowych,
- w uchwytych samocentrujących lub w uchwytych z niezależnie nastawianymi szczękami.

W przypadku mocowania w kłach przedmiot jest ustalany w wykonanych na jego czołowych powierzchniach nakiełkach zwykłych A lub chronionych B (rys. 3.3a). W celu przeniesienia momentu obrotowego na końcówce wrzeciona mocuje się tarczę zabierakową 1 , a na przedmiocie zabierak 2 , tzw. sercówkę (rys. 3.3b). Do szybkiego mocowania są stosowane tarcze z zabierakami samozakleszczającymi się (rys. 3.3c) lub kły zabierakowe.

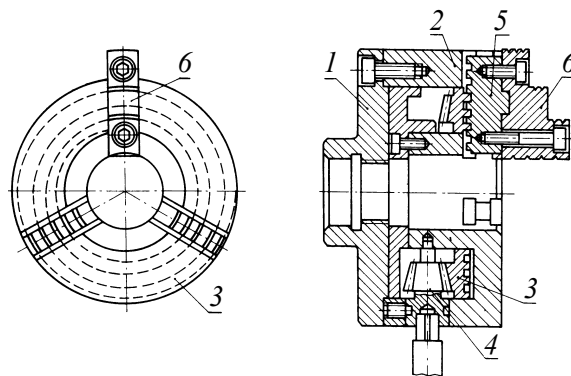


Rys. 3.3. Mocowanie przedmiotów obrabianych w kłach: a) dwie odmiany nakiełków - zwykły A i chroniony B , b) mocowanie za pomocą zabieraka - sercówki, c) mocowanie za pomocą zabieraków samozakleszczających

W przypadku mocowania przedmiotów w uchwytych zarówno ustalanie położenia przedmiotu, jak i jego zaciskanie jest dokonywane za pomocą szczęk, przystosowanych do chwytania przedmiotów za po-

wierzchnie zewnętrzne lub wewnętrzne. Najczęściej są stosowane uchwyty trójszczekowe, samocentrujące typu Cushmana lub Forkardta, których szczęki są zsuwane lub rozsuwane symetrycznie w stosunku do osi wrzeciona.

Na rysunku 3.4 przedstawiono uchwyt samocentrujący typu Cushmana. W takim uchwycie koncentryczny przesuw szczęk 6 jest uzyskiwany w wyniku obrotu koła zębatego stożkowego 4, współpracującego z tarczą 3 mającą na powierzchni czołowej rowek w kształcie spirali Archimedesesa, z którym zazębiają się prowadniki 5 szczęk 6. Obudowa uchwyty 2 jest mocowana do tarczy pośredniczącej 1.



Rys. 3.4. Uchwyt samocentrujący trójszczekowy typu Cushmana

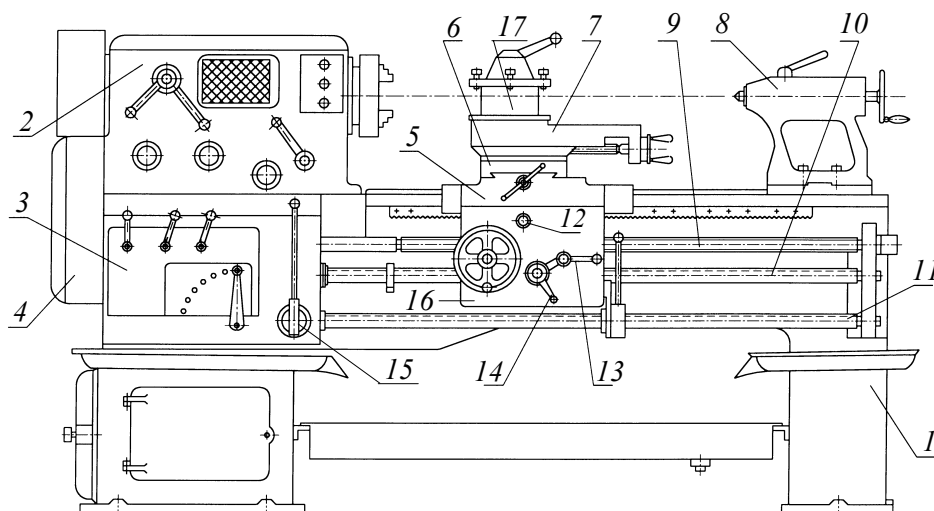
W uchwytach typu Forkardta szczęki są przemieszczane koncentrycznie za pomocą trzech zębatek z uzębieniem śrubowym, przesuwanych za pomocą śruby i pierścienia zębatego.

Do obróbki przedmiotów niesymetrycznych na tokarkach stosuje się uchwyty czteroszczekowe, których szczęki są nastawiane niezależnie.

• Tokarki uniwersalne i produkcyjne

Tokarki kłowe uniwersalne są przeznaczone do obróbki różnych elementów w produkcji jednostkowej i małoseryjnej. W celu poszerzenia zakresu zadań technologicznych tokarki te są wyposażone w dość rozbudowany napęd ruchu głównego oraz skrzynkę posuwów gwintowych i śrubę pociągową, umożliwiającą wykonywanie gwintów.

Ogólny widok tokarki kłowej uniwersalnej z oznaczeniem głównych zespołów i elementów konstrukcyjnych przedstawiono na rys. 3.5.



Rys. 3.5. Tokarka kłowa uniwersalna: 1 - łożo, 2 - skrzynka prędkości, 3 - skrzynka posuwów, 4 - przekładnia gitarowa, 5 - suport wzdłużny, 6 - suport poprzeczny, 7 - suport narzędziowy, 8 - konik, 9 - śruba pociągowa, 10 - wałek pociągowy, 11 - wałek sterujący (włączania prędkości obrotowej wrzeciona), 12 - wałek wyboru posuwu wzdłużnego lub poprzecznego, 13 - dźwignia włączania posuwów gwintowych, 14 - dźwignia włączania posuwów roboczych, 15 - dźwignia włączania prędkości obrotowej wrzeciona, 16 - skrzynka suportowa, 17 - imak nożowy

Wrzeciono tokarki *WR* otrzymuje zwykle napęd od silnika umieszczonego w nodze łoża 1 za pośrednictwem przekładni pasowej i skrzynki prędkości 2. Mechaniczne posuwy zapewnia skrzynka posuwów 3 za pośrednictwem wałka pociągowego 10 i przekładni w skrzynce suportowej 16, rozgałęziającej napęd na przekładnię zębatkową - dla posuwów wzdłużnych - oraz na przekładnię śrubową - dla posuwów poprzecznych.

Skrzynka posuwów 3 jest powiązana z wrzecionem *WR* za pośrednictwem przekładni gitarowej 4. Podczas toczenia gwintów napęd posu-

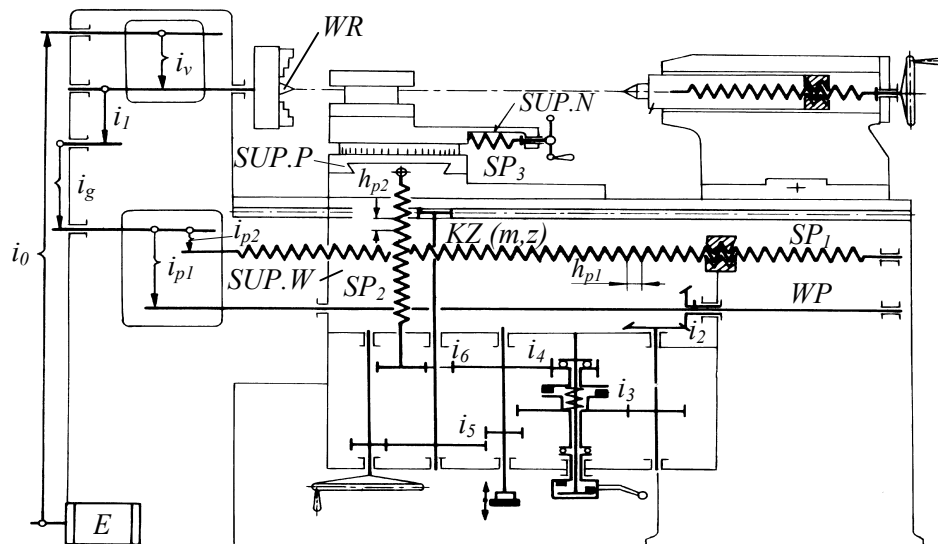
wów suportu wzdłużnego 5 jest realizowany przez śrubę pociągową 9, po uprzednim wyłączeniu napędu od wałka pociągowego.

Noże tokarskie są mocowane w imaku czteronożowym 17, który jest osadzony obrotowo na suporcie narzędziowym 7. Suport narzędziowy jest skrętny, co umożliwia toczenie krótkich powierzchni stożkowych z posuwem ręcznym.

W wysuwnej tulei konika 8 są mocowane narzędzia do obróbki otworów: wiertła, rozwiertaki, gwintowniki maszynowe. W przypadku toczenia przedmiotów długich w tulei konika jest mocowany kiel podpierający przedmiot.

Tokarki kłowe produkcyjne mają zastosowanie w produkcji średnio- i wielkoseryjnej. Tokarki te mają silniki napędowe o zwiększonej mocy oraz uproszczony układ kinematyczny, nie są bowiem przystosowane do wykonywania gwintów i nie mają śruby pociągowej.

Typowe rozwiązanie napędu ruchu głównego i posuwowego w tokarkach kłowych uniwersalnych przedstawiono na schemacie kinematycznym uproszczonym na rys. 3.6.



Rys. 3.6. Schemat kinematyczny uproszczony tokarki kłowej uniwersalnej

Występujące łańcuchy kinematyczne można zapisać w postaci:

- Łańcuch prędkości ruchu obrotowego wrzeciona: $E \rightarrow WR$

$$n_E \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot i_0 \cdot i_v = n_{WR} \left[\frac{obr}{min} \right] = \frac{1000v}{\pi d}$$

stąd $i_v = C_1 \cdot \frac{v}{d}$, C_1 - stała wartość przełożeń,

gdzie: i_v - przełożenie skrzynki prędkości,

i_0 - przełożenie przekładni pasowej,

v - prędkość skrawania, $[m/min]$,

d - średnica obrabianego przedmiotu, $[mm]$.

- Łańcuch posuwów roboczych: $WR \rightarrow SUP.W, SUP.P$

$$I[obr] \cdot i_1 \cdot i_g \cdot i_{p1} \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \begin{cases} i_5 \cdot \pi m z \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_w[mm] - \text{posuwy wzdłużne} \\ i_6 \cdot h_{p2} \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_p[mm] - \text{posuwy poprzeczne} \end{cases}$$

stąd $i_{p1} = C_2 \cdot f$, ($f = f_w$ lub f_p), C_2 - stała wartość przełożeń,

gdzie: $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6$ - przełożenia stałe,

i_g - przełożenie przekładni gitarowej,

i_{p1} - przełożenie skrzynki posuwów roboczych.

- Łańcuch posuwów gwintowych: $WR \rightarrow SUP.W$

$$I[obr] \cdot i_1 \cdot i_g \cdot i_{p2} \cdot h_{p1} \left[\frac{mm}{obr} \right] = h[mm]$$

stąd $i_g \cdot i_{p2} = C_3 \cdot h$, C_3 - stała wartość przełożeń,

gdzie: i_{p2} - przełożenie skrzynki posuwów gwintowych,

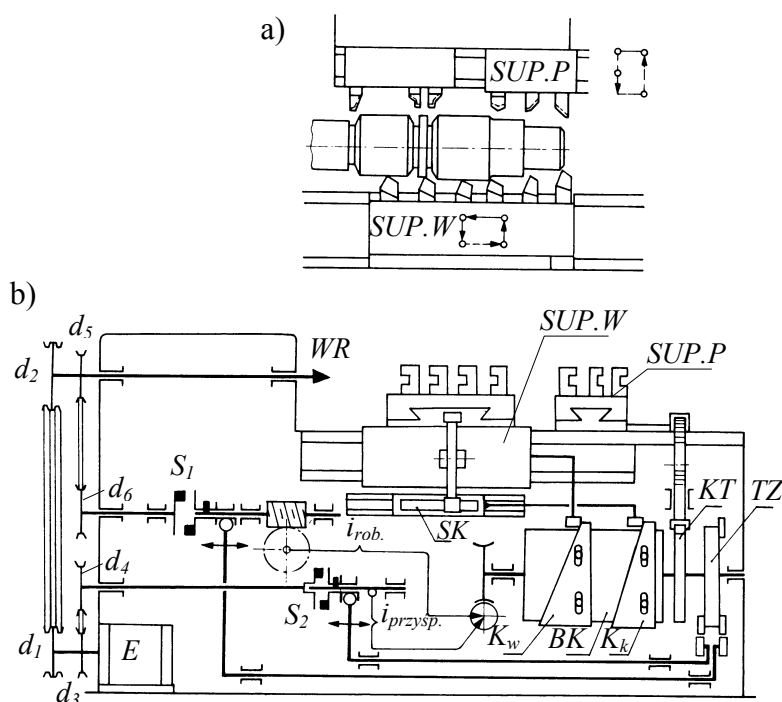
h - skok wykonywanego gwintu.

Skrzynka posuwów spełnia jednocześnie funkcję skrzynki posuwów roboczych i_{p1} oraz posuwów gwintowych i_{p2} . Przełożenie i_{p2} skrzynki posuwów umożliwia wykonanie czterech podstawowych rodzajów gwintów, tzn. gwintów metrycznych i calowych oraz modułowych i diame-tral-pitch (DP).

• Tokarki wielonożowe

Tokarki wielonożowe są przystosowane do jednoczesnej obróbki wieloma nożami w cyklu automatycznym. Znajdują zastosowanie w produk-cji wielkoseryjnej i masowej do obróbki wałków stopniowych, a więc wałków o różnych średnicach.

Tokarki te mają dwa suporty: suport wzdłużny *SUP.W* (z przodu) do toczenia wzdłużnego, suport poprzeczny *SUP.P* (z tyłu) do toczenia po-przecznego (rys. 3.7).



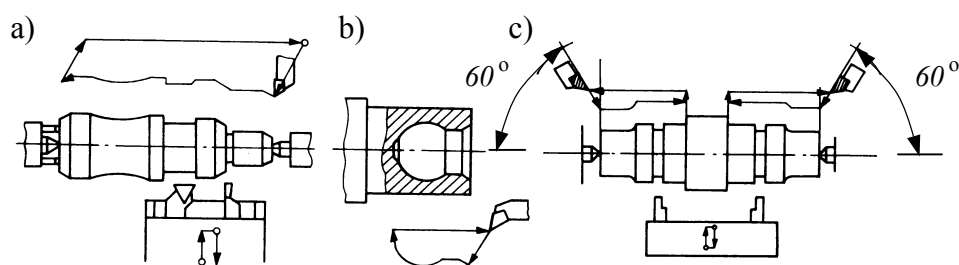
Rys. 3.7. Tokarka wielonożowa: a) przykład obróbki, b) uproszczony schemat kinematyczny

Cykl pracy obejmujący: dosuw suportów, przesuw roboczy (wzdłużny, poprzeczny), wycofanie narzędzi oraz powrót suportów do położenia wyjściowego jest sterowany za pomocą krzywek i zderzaków. Napęd ruchu głównego jest przekazywany z silnika przez wymienne koła pasowe d_1 i d_2 . Wał z bębnum krzywkowym BK , krzywką tarczową KT napędu suportu poprzecznego oraz tarczą zderzakową TZ jest napędzany za pomocą przekładni pasowej d_3, d_4 (napęd przyśpieszony) lub przekładni pasowej d_5, d_6 od wrzeciona (napęd roboczy). Przełączanie napędów umożliwiają sprzęgła S_1 i S_2 .

Przesuwem suportu wzdłużnego steruje krzywka K_w , natomiast suportu kopiującego krzywka K_k . Krzywka tarczowa KT poprzez przekładnię zębatkową steruje przesuwem suportu poprzecznego. Cykl obróbkowy jest uruchamiany ręcznie sprzęgłem S_2 , a dalsze przełączanie sprzęgieł wymuszają zderzaki osadzone na tarczy zderzakowej TZ .

• Tokarki kopiarki

Tokarki kopiarki są przeznaczone do wykonywania powierzchni obrotowych o złożonych kształtach, które są odwzorowywane z zarysu kopiału (rys. 3.8).



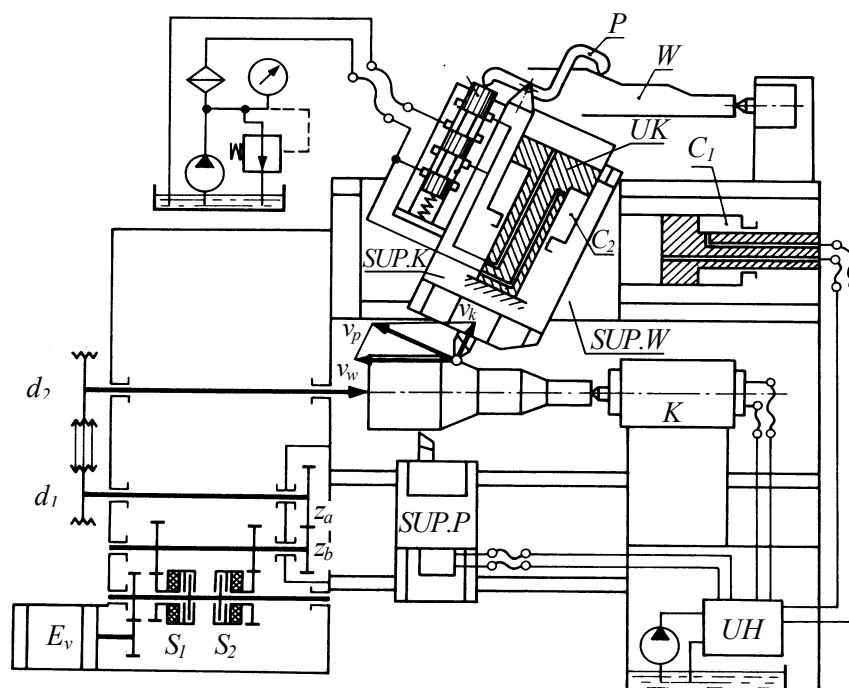
Rys. 3.8. Przykład toczenia kopiowego: a) obróbka wałka kształtowego, b) obróbka powierzchni wewnętrznej, c) zastosowanie dwóch suportów kopiujących

Kierunek przesuwu suportu kopiującego jest najczęściej nachylony do osi wrzeciona pod kątem 60° , co umożliwia wykonywanie na wale prostopadłych odsadzeń z zachowaniem ciągłego przesuwu wzdłużnego. Ponieważ każdy kierunek przesuwu suportu kopiującego stwarza pewne ograniczenia geometrycznych możliwości obróbki, więc w przypadku

obróbki wałów stopniowanych dwustronnie są stosowane tokarki z dwoma suportami kopiującymi (rys. 3.8c).

Tokarki kopiarki stanowią zróżnicowaną pod względem konstrukcyjnym grupę obrabiarek, przy czym często mają one pochyloną płaszczyznę przesuwu suportu kopiującego, co ułatwia spływ wiórów i dostęp do przestrzeni roboczej.

Uproszczony układ kinematyczny tokarki kopiarki z hydraulicznym układem kopiującym pokazano na rys. 3.9.



Rys. 3.9. Tokarka kopiarka

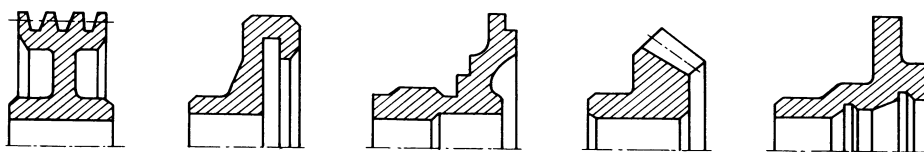
Tokarka ta ma suport wzdłużny *SUP.W* wyposażony w suport kopiujący *SUP.K* oraz dolny suport poprzeczny *SUP.P*. Suport wzdłużny jest napędzany hydraulicznie za pomocą ruchomego cylindra *C₁* siłownika, zasilanego z układu hydraulicznego *UH*. Hydrauliczny układ kopiujący *UK* steruje suportem kopiującym *SUP.K*, który w zależności od kształtu przedmiotu obrabianego może być osadzony na płycie suportu pod kątem

60° lub 90° . Palec wodzący P układu kopiującego ślizga się po wzorniku W zamocowanym na górnej belce.

W przedstawionej obrabiarce napęd hydrauliczny służy również do przesuwu promieniowego suportu poprzecznego $SUP.P$ oraz do wysuwu tulei konika K . Dobór prędkości obrotowych wrzeciona umożliwia przekładnia gitarowa z_a i z_b oraz dwójka sprzęgłowa sterowana sprzęgłami S_1 i S_2 .

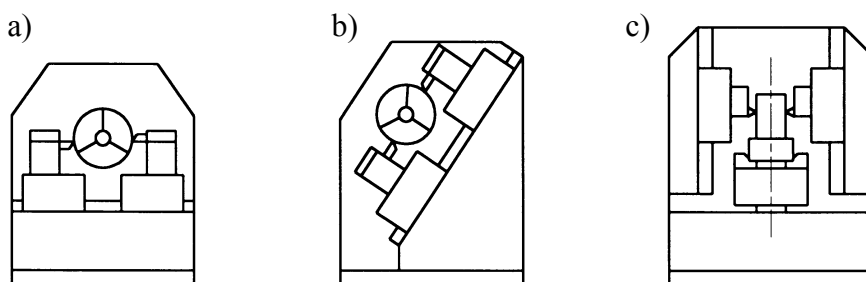
3.2.3. Tokarki uchwytywowe

Tokarki uchwytywowe są przeznaczone do obróbki krótkich przedmiotów nie wymagających podparcia kłem konika. Przedmiot obrabiany jest mocowany wyłącznie w uchwycie. Typowe przedmioty obrabiane to tarcze, krążki, pierścienie, krótkie tuleje itp. (rys. 3.10).



Rys. 3.10. Przykłady podmiotów obrabianych na tokarkach uchwytywowych

Tokarki uchwytywowe pracują zwykle w automatycznym cyklu pracy sterowanym programowo, sekwencyjnie lub numerycznie. Są budowane w różnych układach konstrukcyjnych (rys. 3.11). Mają zwykle dwa suporły krzyżowe, z narzędziami osadzonymi w wielopozycyjnych imakach nożowych.

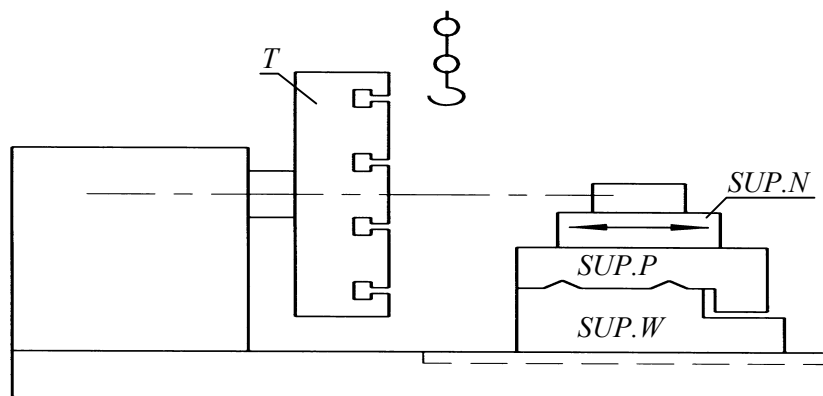


Rys. 3.11. Układy konstrukcyjne tokarek uchwytywowych: a) z łóżem poziomym, b) z łóżem nachylonym, c) układ z wrzecionem pionowym

Tokarki uchwytowe od wielu lat są intensywnie rozwijane z przeznaczeniem do produkcji wielkoseryjnej i masowej. Pod względem sterowania są to zazwyczaj półautomaty tokarskie.

3.2.4. Tokarki tarczowe

Tokarki tarczowe są stosowane do obróbki przedmiotów o dużej średnicy i małej wysokości, takich jak: tarcze, obręcze, koła pasowe lub zamachowe itp. Budowę takiej tokarki przedstawiono na rys. 3.12.

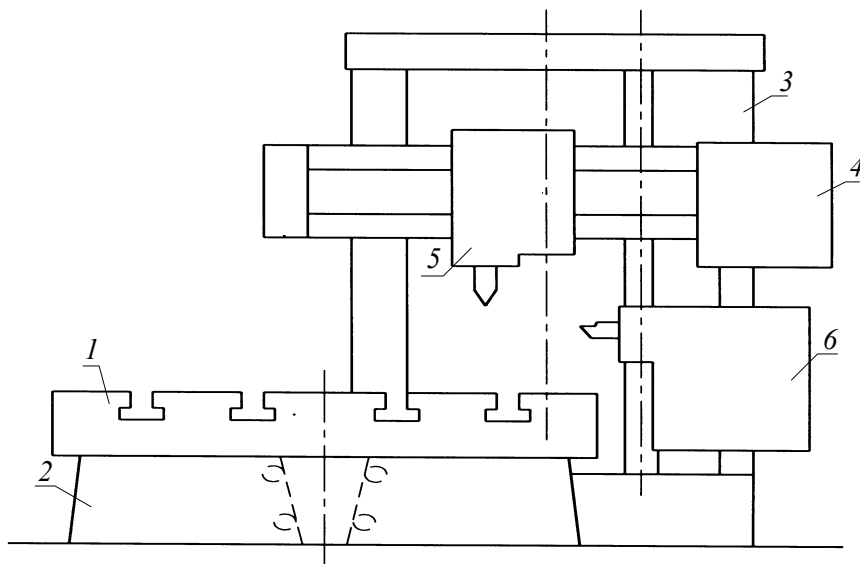


Rys. 3.12. Tokarka tarczowa z łóżem wzdłużnym

Przedmiot obrabiany jest zakładany zwykle za pomocą podnośnika i mocowany na dużej tarczy *T* (uchwycie) wyposażonej w cztery niezależnie nastawione szczęki oraz mającej specjalne rowki teowe do zakładania indywidualnych zacisków i śrub mocujących. Budowa tokarki tarczowej z łóżem wzdłużnym jest podobna do budowy tokarki kłowej. W jej skład zwykle wchodzi trzy suporty: wzdłużny, poprzeczny i narzędziowy, a także niekiedy konik. Z uwagi na zbliżoną budowę do tokarek kłowych są one nazywane również tokarkami tarczowo-kłowymi.

3.2.5. Tokarki karuzelowe

Tokarki karuzelowe mają pionowo usytuowane wrzeciono, którego końcówką jest stół obrotowy (obrót karuzelowy) z otworem centrującym i rowkami teowymi do umocowania ustawionych na jego powierzchni przedmiotów (rys. 3.13.)



Rys. 3.13. Tokarka karuzelowa

Pionowy układ wrzeciona obrabiarki znacznie ułatwia ustawienie i umocowanie przedmiotów na poziomym stole. Stąd też tokarki karuzelowe są przeznaczone do obróbki przedmiotów ciężkich o dużych średnicach i stosunkowo niewielkiej wysokości.

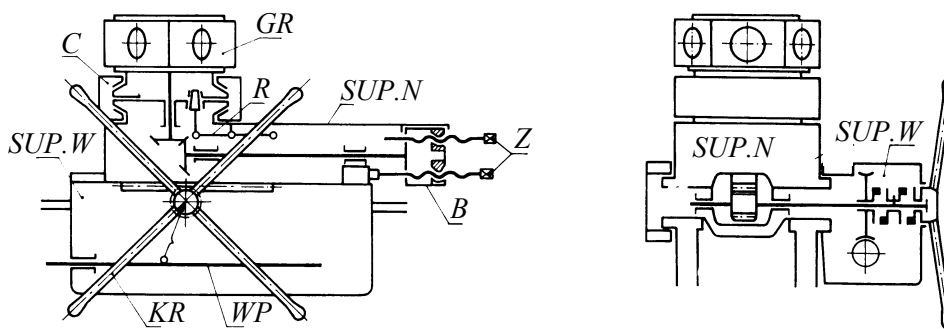
Stół 1 tokarki jest ułożyskowany obrotowo w łożu 2. Stojak 3 ma prowadnice, po których jest przesuwana pionowo belka poprzeczna 4. Na belce jest umieszczony suport 5, który wykonuje ruch posuwowy wzdłuż belki i prostopadle do belki. Tokarka ma również suport boczny 6. Narzędzia są mocowane w imakach umieszczonych zarówno na suporcie belki, jak i suporcie bocznym. W czasie obróbki belka poprzeczna jest zaciśnięta na prowadnicach.

3.2.6. Tokarki rewolwerowe

Tokarki rewolwerowe stanowią podstawową grupę tokarek stosowanych w produkcji średnio- i wielkoseryjnej przedmiotów wymagających różnych zabiegów obróbkowych.

Charakterystycznym zespołem tokarki rewolwerowej jest głowica narzędziowa (nazywana głowicą rewolwerową), której gniazda osadze służą do zamocowania oprawek z narzędziami. Najczęściej są stosowane głowice rewolwerowe o osi pionowej (rys. 3.14). Obrót głowicy rewol-

werowej *GR* umożliwia przeprowadzenie cyklu obróbki bez przerw przeznaczonych na wymianę narzędzi. Narzędzia są zamocowane w głowicy rewolwerowej w kolejności, w jakiej mają być użyte podczas obróbki.



Rys. 3.14. Schemat głowicy rewolwerowej: *C* - zacisk głowicy, *R* - rygiel, *Z* - zderzaki ustalające przesuw suportu narzędziowego, *B* - bęben zderzakowy

Głowica rewolwerowa jest obracana o jedną pozycję narzędziową podczas każdego wycofania suportu narzędziowego *SUP.N*, na którym jest osadzona, po wykonaniu kolejnego zabiegu obróbkowego. Tokarki rewolwerowe są wyposażone również w suporty poprzeczne, z których wykonuje się zabiegi wymagające poprzecznego ruchu narzędzi.

3.2.7. Automaty tokarskie

Automaty tokarskie wykonują samoczynnie wszystkie ruchy i czynności związane z obróbką jednego lub kilku przedmiotów jednocześnie.

Cykl pracy automatów tokarskich obejmuje: podawanie materiału, zamocowanie materiału w uchwycie, wykonanie przewidzianych zabiegów obróbkowych i odcięcie obrobionej części. Po wyczerpaniu się przygotowanego zapasu materiału automat tokarski samoczynnie zatrzymuje się.

Materiałem wyjściowym do obróbki na automatach i półautomatach tokarskich mogą być: pręty, kręgi drutu albo przedmioty pojedyncze, jak odlewy czy odkuwki.

Przygotowanie automatów tokarskich do produkcji określonej części wymaga prac wstępnych, jak: opracowanie planu operacyjnego obróbki, zaprojektowanie, wykonanie i ustawienie krzywek sterujących w auto-

matach krzywkowych, ustawienie narzędzi i sprawdzenie przebiegu obróbki przez wykonanie kilku przedmiotów próbnych.

Ze względu na koszt krzywek stosowanie automatów krzywkowych jest opłacalne w produkcji wielkoseryjnej i masowej. Współcześnie budowane automaty tokarskie sterują cyklem pracy w sposób numeryczny.

Pod względem konstrukcji automaty tokarskie dzieli się na:

- jednowrzecionowe i wielowrzecionowe,
- z obracającym się lub z nieruchomym przedmiotem obrabianym.

W grupie automatów jednowrzecionowych rozróżnia się:

- automaty wzdłużne,
- automaty rewolwerowe,
- automaty poprzeczne.

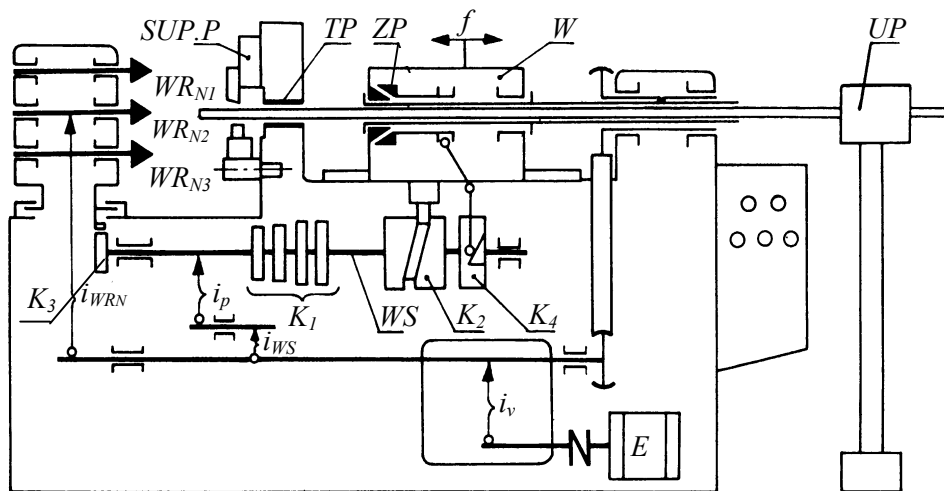
Automaty wzdłużne są przeznaczone do obróbki drobnych przedmiotów z pręta, których stosunek długości do średnicy $l : d = 4 \div 20$. Aby umożliwić obróbkę takich mało sztywnych przedmiotów, narzędzia są umieszczane w suportach przemieszczających się promieniowo do osi przedmiotu, który podczas obróbki jest wysuwany z tulei umieszczonej w przedniej ścianie automatu.

Budowę i uproszczony schemat kinematyczny automatu wzdłużnego przedstawiono na rys. 3.15.

Suporty poprzeczne *SUP.P* (najczęściej w liczbie pięciu), z których trzy górne są od siebie niezależne, a dwa dolne są ze sobą połączone wahliwie, są umieszczone na przedniej ścianie automatu. Naprzeciwko wrzeciona przedmiotu są umieszczone trzy odchylne wrzeciona narzędziowe WR_N , w których są osadzone narzędzia do obróbki otworów i gwintowania.

W czasie obróbki pręt jest zaciśnięty zaciskiem pręta *ZP* we wrzecionie. Ruch posuwowy f wykonuje wrzeciennik *W* wraz z prętem przesuwającym się po tarczy prowadzącej *TP*. Noże zamocowane w imakach suportów poprzecznych przesuwają się do osi wrzeciona na określony wymiar przedmiotu. Podczas toczenia wzdłużnego suporty poprzeczne są nieruchome.

Automat jest sterowany mechanicznie krzywkami osadzonymi na jednym wale sterującym *WS*, który wykonuje jeden obrót w czasie cyklu roboczego. Na wale sterującym są umieszczone zarówno krzywki robocze K_1 , K_2 napędzające suporty, jak i krzywki powodujące ruchy pomocnicze: nastawianie wrzecion narzędziowych K_3 , zaciskanie pręta K_4 . Pręt jest podawany przez urządzenie podające *UP*.



Rys. 3.15. Automat tokarski wzdłużny

Prędkość obrotowa wału sterującego jest nastawiana za pomocą przekładni gitarowej i_p i jest równa liczbie sztuk wykonanych w ciągu minuty. Prędkości obrotowe wrzeciona przedmiotu są dostosowane do średnicy obrabianego pręta i dochodzą do $10\,000$ [obr/min].

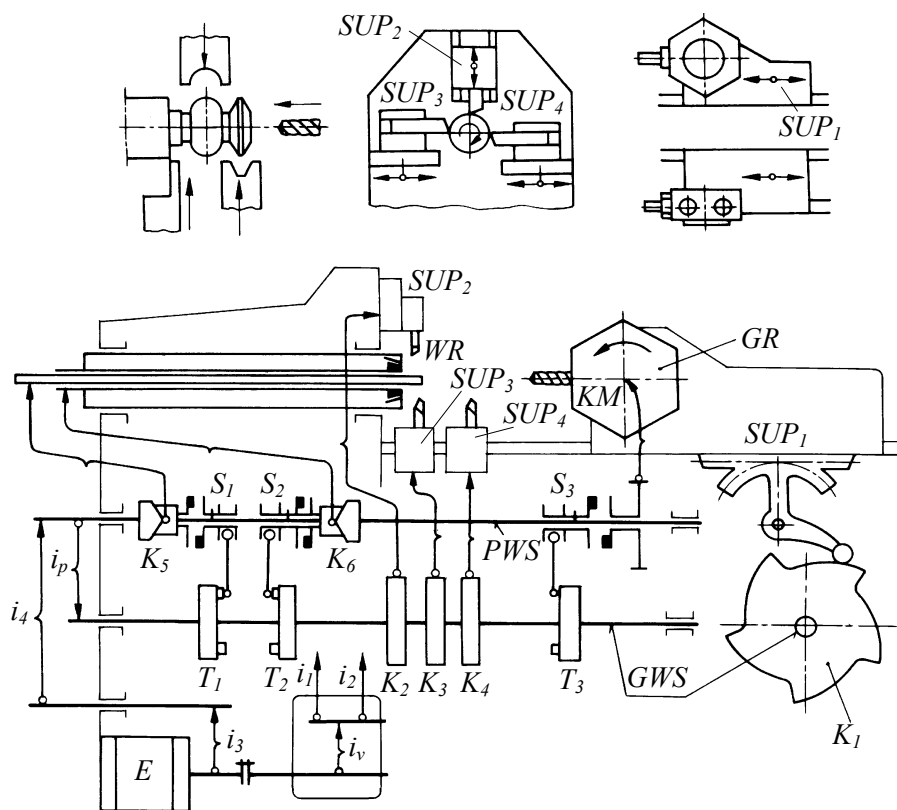
Automaty tokarskie poprzeczne mają nieruchomy wrzeciennik i stałą prędkość obrotową wrzeciona. Kształtują one powierzchnie zewnętrzne narzędziami zamocowanymi w suportach poprzecznych i są przeznaczone do obróbki prostych oraz krótkich przedmiotów.

Automaty tokarskie rewolwerowe mają bogate wyposażenie specjalne, umożliwiające obróbkę przedmiotów wymagających zastosowania wielu zabiegów obróbkowych.

Budowę i uproszczony układ kinematyczny automatu tokarskiego rewolwerowego przedstawiono na rys. 3.16.

Narzędzia są mocowane w oprawkach głowicy rewolwerowej GR umieszczonej na suporcie wzdłużnym SUP_1 oraz w suportach poprzecznych $SUP_{2,3,4}$ (w liczbie $3\div 5$) osadzonych na czołowej ścianie wrzecienika.

Automaty rewolwerowe mają dwa wały sterujące, przy czym główny wał sterujący GWS jest przeznaczony do sterowania ruchami suportów i włączania czynności pomocniczych, ma nastawianą prędkość obrotową dostosowaną do czasu wykonania przedmiotu, natomiast pomocniczy wał sterujący PWS służy do napędu mechanizmów wykonujących czynności pomocnicze i ma stałą prędkość obrotową.



Rys. 3.16. Automat tokarski rewolwerowy

Układ napędowy ruchu głównego automatu umożliwia samoczynną zmianę wybranych prędkości obrotowych i ich kierunków podczas pracy automatu.

Na głównym wale sterującym są osadzone krzywki K_1 , K_2 , K_3 i K_4 służące do napędu suportu rewolwerowego SUP_1 i suportów poprzecznych SUP_2 , SUP_3 , SUP_4 .

Tarcze T_1 , T_2 i T_3 są wyposażone w nastawne zderzaki, które służą do napędu sprzęgieł S_1 , S_2 i S_3 , wyłączających się po wykonaniu jednego obrotu pomocniczego wału sterującego. Sprzęgła te służą do przełączania sprzęgieł ciernych S_5 i S_6 w napędzie wrzeciona oraz do napędu krzywki bębnowej, sterującej zwalnianiem i zaciskaniem pręta oraz jego przesuwaniem po odcieciu gotowego przedmiotu.

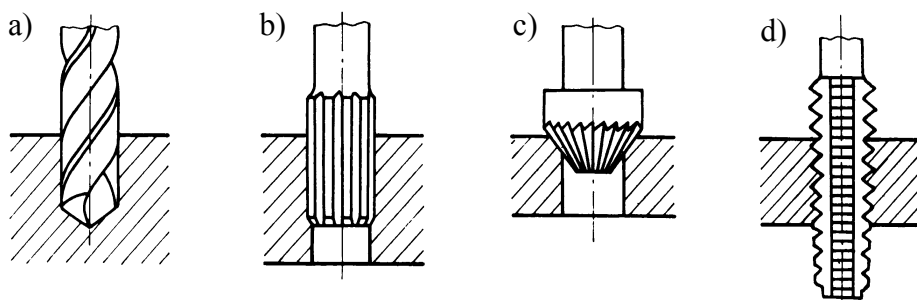
Głowica rewolwerowa GR jest obracana krzyżem maltańskim KM .

3.3. Wiertarki

3.3.1. Przeznaczenie i podział wiertarek

Wiertarki są to obrabiarki przeznaczone do obróbki otworów z zastosowaniem narzędzi wykonujących obrotowy ruch główny i prostoliniowy ruch posuwowy.

Podstawowymi zabiegami obróbkowymi wykonywanymi na wiertarkach są: wiercenie, rozwiercanie, pogłębianie i gwintowanie otworów (rys. 3.17).



Rys. 3.17. Podstawowe zabiegi obróbkowe wykonywane na wiertarkach:
a) wiercenie, b) rozwiercanie, c) pogłębianie, d) gwintowanie

Wielkością oznaczeniową wiertarek jednowrzecionowych jest największa średnica wiercenia d z użyciem wiertła krętego ze stali szybko tnącej podczas wykonywania otworu w pełnym materiale ze stali o wytrzymałości $R_m = 600 \text{ [MPa]}$.

W przypadku wiertarek wielowrzecionowych wielkością oznaczeniową jest największa osiowa siła wiercenia F .

Końcówki wrzecion wiertarek mają wewnętrzne gniazda stożkowe ze stożkiem Morse'a. Narzędzia są mocowane albo bezpośrednio w stożkowym gnieździe wrzeciona, albo w osadzonym w tym gnieździe uchwycie wiertarskim.

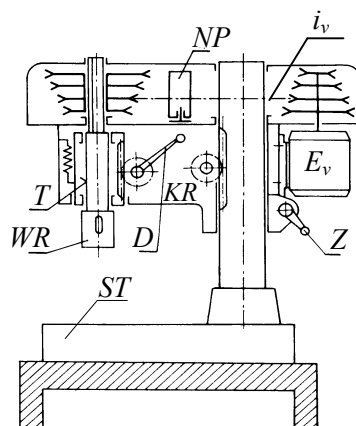
Końcówki wrzecion mają owalny otwór służący do wybijania narzędzia lub uchwytu za pomocą klina napierającego na ich końcówkę wykonaną w postaci płetwy.

W grupie wiertarek rozróżnia się:

- wiertarki stołowe i słupowe,
- wiertarki stojakowe,
- wiertarki promieniowe,
- wiertarki rewolwerowe,
- wiertarki wielowrzecionowe,
- gwinciarki.

3.3.2. Wiertarki stołowe

Wiertarki stołowe są przeznaczone do wykonywania niewielkich otworów ($d \leq 16 \text{ mm}$) w małych przedmiotach i są stosowane w warsztatach rzemieślniczych, prototypowniach, narzędziowniach itd. Budowę wiertarki stołowej przedstawiono na rys. 3.18.



Rys. 3.18. Wiertarka stołowa

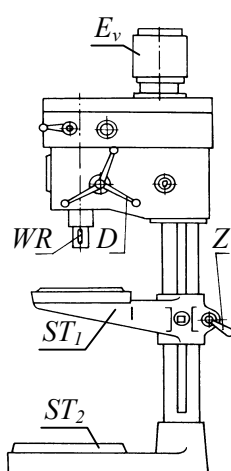
Wrzeciono wiertarki stołowej *WR* jest napędzane silnikiem elektrycznym *E_v* przez przekładnię pasową *i_v* z kołami stopniowymi. Zmiana przełożenia *i_v* jest dokonywana wskutek zmiany położenia pasa na kołach pasowych. Naciąganie pasa jest realizowane naprężaczem *NP*. Natomiast ruch posuwowy wrzeciona, które jest ułożyskowane w wysuwanej tulei *T*, jest dokonywany ręcznie za pomocą jednoramiennej dźwigni *D* obracającej koło zazębiające się z zębatką tulei wrzeciona.

Obrabiane przedmioty są mocowane zwykle w imadle, które jest ustawione na stole wiertarki *ST*. Cały zespół wrzeciennika może być

przesuwany pionowo przez przekładnię zębatkową pokrętle KR . W czasie pracy wrzeciennik jest unieruchamiany za pomocą zacisku Z .

3.3.3. Wiertarki słupowe

Wiertarki słupowe są przystosowane do wiercenia otworów o średnicach do $d \leq 40$ [mm]. Budowę takiej wiertarki pokazano na rys. 3.19.

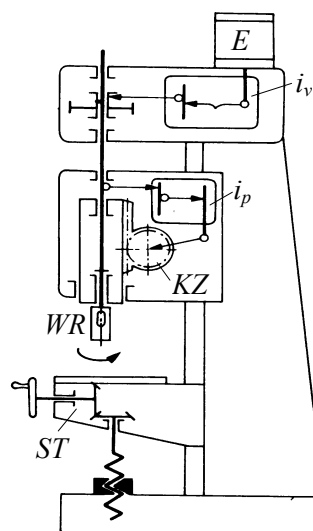


Rys. 3.19. Wiertarka słupowa

Wiertarki te mają wrzeciennik osadzony na kolumnie (okrągłym słupie), na której jest umocowany też stół przestawny ST_1 w kierunku pionowym. W przypadku obróbki dużych przedmiotów stół ST_1 jest obracany na słupie i przedmiot jest mocowany na stole ST_2 . Wrzeciono ma pasowy napęd ruchu głównego podobnie jak w wiertarce stołowej. Podobnie również jest realizowany napęd ruchu posuwowego wrzeciona dźwignią D .

3.3.4. Wiertarki stojakowe

Wiertarki stojakowe (kadłubowe) są przeznaczone do wykonywania otworów o średnicy do $d \leq 80$ [mm]. Korpusem nośnym takiej wiertarki jest sztywny stojak (kadłub), na którym są umieszczone zespoły napędowe. Budowę wiertarki stojakowej przedstawiono na rys. 3.20.



Rys. 3.20. Wiertarka stojakowa

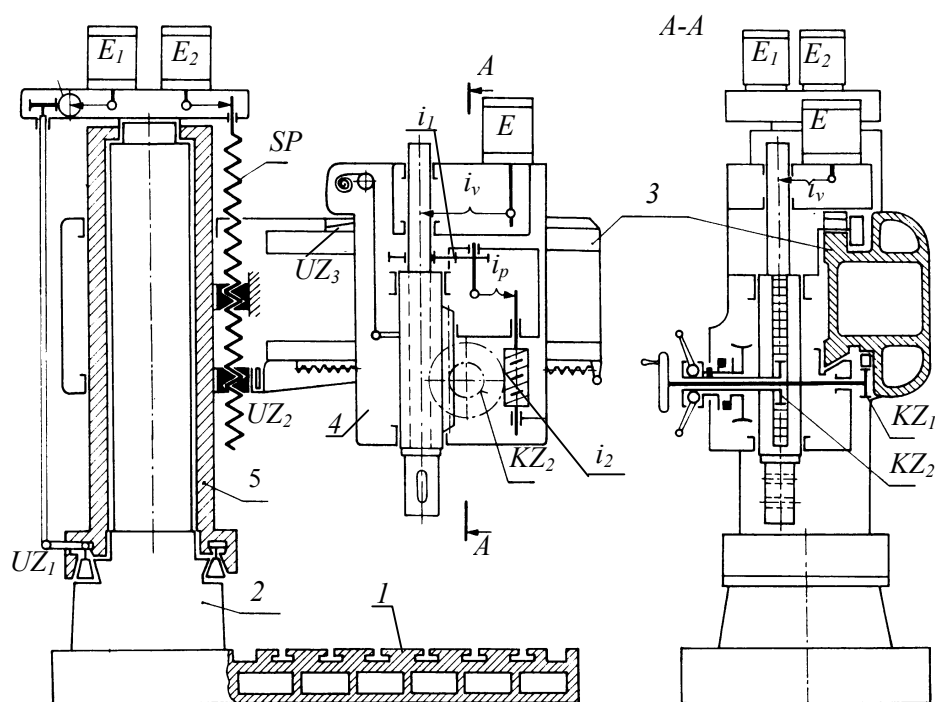
Skrzynka prędkości obrotowej wrzeciona i_v znajduje się w górnej części stojaka, natomiast wrzeciono WR i skrzynka posuwów i_p znajdują się we wrzecienniku przestawnym po prowadnicach stojaka. Stół wiertarki ST w postaci wspornikowej może być przesuwany ręcznie w kierunku pionowym.

3.3.5. Wiertarki promieniowe

Wiertarki promieniowe są przeznaczone do wykonywania otworów w dużych przedmiotach (np. w korpusach), które ze względu na duże wymiary i znaczny ciężar nie mogą być ustawiane na stole wiertarki stojakowej. Wiertarki promieniowe są budowane jako: lekkie (o średnicy wiercenia $d \leq 30$ [mm]), średnie ($d \leq 60$ [mm]) oraz ciężkie ($d \leq 100$ [mm]).

Budowę oraz uproszczony schemat kinematyczny wiertarki promieniowej pokazano na rys. 3.21. W wiertarkach tych wrzeciennik 4 jest osadzony przesuwnie na wysuniętym ramieniu 3, które może być obracane wokół kolumny 2. Dzięki temu, że wrzeciono może zmieniać swoje położenie względem przedmiotu obrabianego, są zbędne ruchy nastawcze przedmiotu, który jest mocowany bezpośrednio na płycie podstawy 1 lub na nieruchomym albo skrętnym stole.

Do napędu ruchu głównego wrzeciona służy silnik E umieszczony na przesuwным wrzecienniku. Ponieważ na wiertarkach promieniowych wykonuje się zazwyczaj wiele otworów z zastosowaniem różnych zabiegów obróbkowych, więc skrzynki prędkości i_v i posuwów i_p mają znaczną liczbę i rozpiętość przełożeń.



Rys. 3.21. Budowa wiertarki promieniowej

Podczas pracy obrabiarki wszystkie jej przestawne zespoły, tj. wrzeciennik 4, ramię 3 oraz obrotowy płaszcz kolumny 5, zostają unieruchomione za pomocą urządzeń zaciskowych UZ_1 , UZ_2 , UZ_3 . Umieszczony na kolumnie silnik E_1 napędza urządzenia zaciskowe do unieruchamiania płaszcza kolumny i wrzeciennika, a silnik E_2 napędza przekładnię śrubową przesuwu pionowego ramienia.

Występujące łańcuchy kinematyczne można zapisać w postaci:

- Łańcuch prędkości ruchu obrotowego wrzeciona: $E \rightarrow WR$

$$n_E \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot i_v = n_{WR} \left[\frac{obr}{min} \right] = \frac{1000v}{\pi d_N}$$

stąd $i_v = C_1 \cdot \frac{v}{d_N}$, C_1 - stała wartość przełożeń,

gdzie: i_v - przełożenie skrzynki prędkości,
 v - prędkość skrawania, $[m/min]$,
 d_N - średnica narzędzia, $[mm]$.

- Łańcuch posuwów: $WR \rightarrow T$

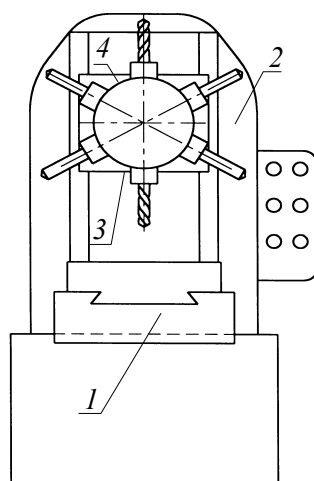
$$l [obr] \cdot i_l \cdot i_p \cdot i_2 \cdot \pi m z \left[\frac{mm}{obr} \right] = f [mm]$$

stąd $i_p = C_2 \cdot f$, C_2 - stała wartość przełożeń,

gdzie: i_p - przełożenie skrzynki posuwów,
 i_l, i_2 - przełożenie stałe.

3.3.6. Wiertarki rewolwerowe

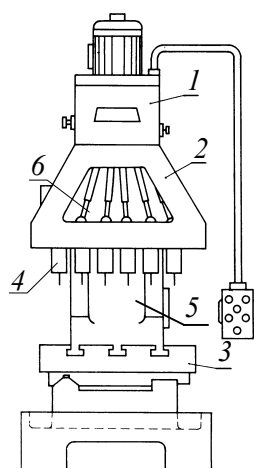
Wiertarki rewolwerowe służą do wykonywania otworów wymagających zastosowania kilku zabiegów obróbkowych za pomocą narzędzi zamocowanych w końcówkach wrzecion głowicy rewolwerowej, w kolejności zgodnej z przyjętym procesem technologicznym obróbki przedmiotu. Głowice rewolwerowe 4 (najczęściej sześciopozycyjne) są osadzone na suporcie pionowym 3, który wykonuje ruch posuwowy po prowadnicach korpusu stojaka 2 (rys. 3.22). Przedmiot obrabiany jest mocowany na stole krzyżowym 1, który wykonuje ruchy ustawcze w stosunku do osi narzędzia.



Rys. 3.22. Wiertarka rewolwerowa

3.3.7. Wiertarki wielowrzecionowe

Wiertarki wielowrzecionowe są przeznaczone do jednoczesnej obróbki wielu otworów (od kilku do kilkudziesięciu). Wrzeciona 4 takich wiertarek są ułożyskowane w głowicy 2, która przesuwa się po prowadnicach stojaka 5 (rys. 3.23). Przedmiot jest mocowany na stole 3.



Rys. 3.23. Wiertarka wielowrzecionowa

Rozstaw wrzecion wiertarki jest dostosowany do rozstawu otworów w przedmiocie obrabianym. Napęd na wrzeciono jest przenoszony od silnika przez skrzynkę prędkości 1 za pomocą wałków teleskopowych 6.

3.3.8. Gwinciarki

Gwinciarki są to obrabiarki przeznaczone do wykonywania gwintów wewnętrznych i zewnętrznych za pomocą gwintowników, narzynek lub głowic gwinciarskich. Pod względem budowy gwinciarki są zbliżone do wiertarek słupowych.

Gwinciarki wykonują gwint w półautomatycznym cyklu pracy, obejmującym robocze przejście narzędzia równe długości gwintu i jego powrót do pozycji wyjściowej. W przypadku stosowania narzynek lub zwykłych gwintowników maszynowych podczas ruchu powrotnego narzędzie musi się obracać w przeciwnym kierunku, natomiast w przypadku stosowania głowic gwinciarskich z rozsuwanymi samoczynnie nożami zmiana kierunku obrotu jest zbędna.

W celu uzyskania określonego skoku gwintu wysuw wrzeciona gwinciarki musi być odpowiednio sprzężony z jego obrotem.

3.4. Wytaczarki i wytaczarko-frezarki

3.4.1. Wytaczarki

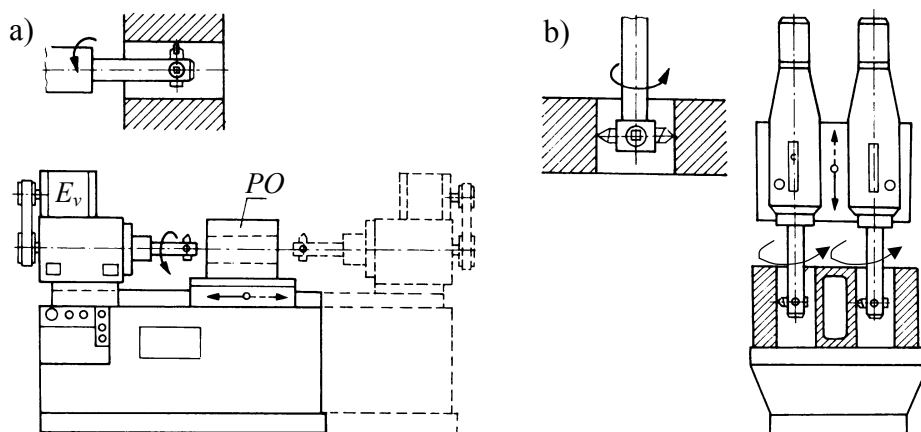
Wytaczarki są to obrabiarki przeznaczone do obróbki otworów o dużej dokładności wykonania (w klasach $IT\ 4\div 5$) oraz dużej dokładności rozstawienia ($0.002\div 0.01$ [mm]).

Charakterystyczną cechą tych obrabiarek jest duża prędkość obrotowa wrzecion oraz małe posuwy i mała głębokość skrawania. Jako narzędzia stosuje się specjalne wytaczadła z ostrzami diamentowymi z węglików spiekanych lub spieków ceramicznych.

Pod względem konstrukcyjnym rozróżnia się wytaczarki z poziomą lub pionową osią wrzeciona oraz jedno- lub wielowrzecionowe (rys. 3.24).

Wytaczarki poziome (rys. 3.24a) są przeznaczone głównie do obróbki przedmiotów mocowanych na przesuwym stole. Wytaczarki przeznaczone do produkcji wielkoseryjnej mają dwa wrzeciona i zwykle

umożliwiają obróbkę dwustronną. Stół na ogół jest napędzany hydraulicznie, a wrzeciono - za pomocą przekładni pasowych.



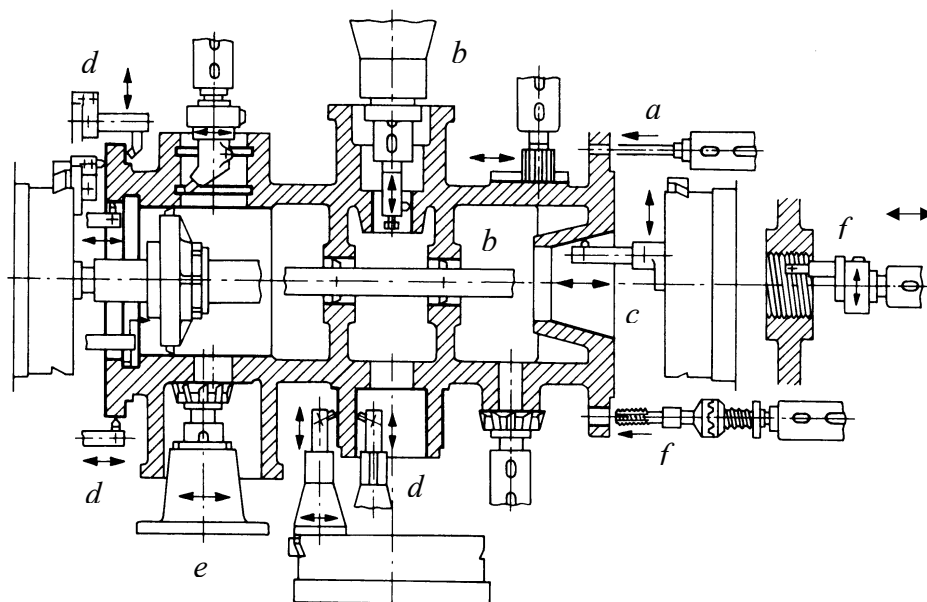
Rys. 3.24. Wytaczarki: a) z poziomą osią wrzecioną (jedno- lub dwustronna), b) z pionową osią wrzecioną (dwuwrzecionowa)

Wytaczarki pionowe (rys. 3.24b) zazwyczaj są stosowane do obróbki długich otworów w przedmiotach, które mają kilka otworów o równoległych osiach. Dotyczy to np. obróbki otworów pod tuleje cylindrowe w kadłubach silników samochodowych.

3.4.2. Wytaczarko-frezarki

Wytaczarko-frezarki stanowią grupę obrabiarek, których podstawowymi zabiegami obróbkowymi jest wytaczanie otworów i frezowanie płaszczyzn, a przeznaczeniem produkcyjnym - obróbka korpusów. Zastosowanie wyposażenia normalnego i specjalnego umożliwia wykonywanie różnorodnych zabiegów obróbkowych (rys. 3.25), przy jednym zamocowaniu obrabianego przedmiotu.

Z tego względu wytaczarko-frezarki należą do najbardziej uniwersalnych obrabiarek i są stosowane przede wszystkim w produkcji jednostkowej i małoseryjnej.

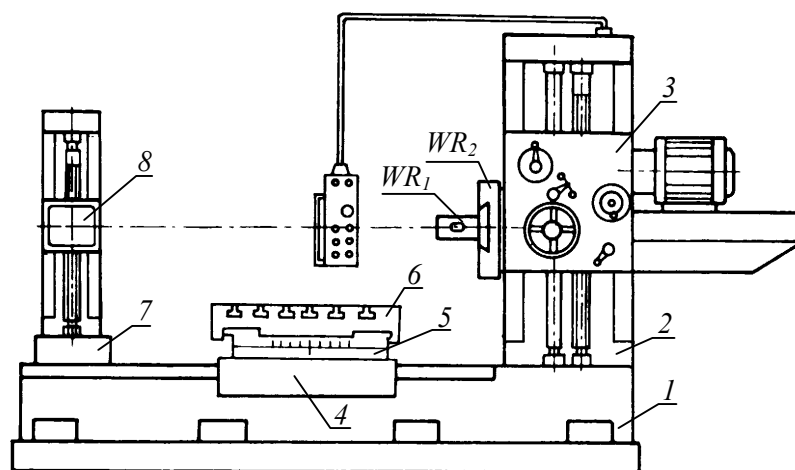


Rys. 3.25. Przykłady możliwości obróbkowych wytaczarko-frezarki: *a* - wiercenie, *b* - wytaczanie otworów walcowych, *c* - wytaczanie otworów stożkowych, *d* - obtaczanie i wytaczanie kołnierzy, *e* - frezowanie czół, *f* - gwintowanie

Widok ogólny wytaczarko-frezarki przedstawiono na rys. 3.26. Na łożu 1 jest ustawiony stojak 2 z przesuwным pionowo wrzeciennikiem 3. Stół, na którym jest mocowany obrabiany przedmiot, składa się z suportu wzdłużnego 4, suportu poprzecznego 5 i suportu obrotowego 6. Wspornik 7 służy do ustawiania na odpowiedniej wysokości podtrzymki 8 z łożyskiem do podparcia wytaczadła.

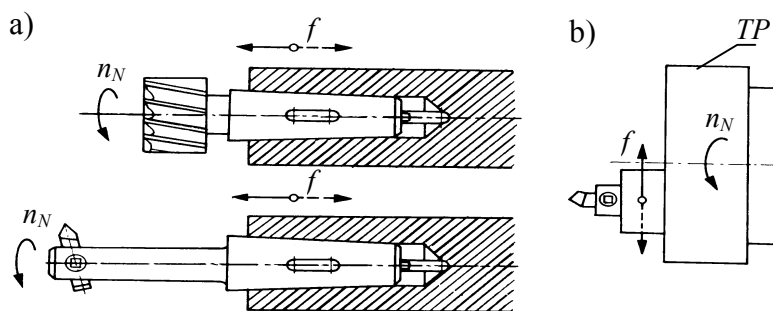
Układ kinematyczny wiertarko-frezarki jest złożony, ma bowiem łańcuchy kinematyczne, które stosuje się w wiertarkach, wytaczarkach, frezarkach, a nawet tokarkach uniwersalnych.

Charakterystyczną cechą wytaczarko-frezarek jest rozwiązanie zespołu wrzecionowego wyposażonego w dwa współosiowe wrzeciona. Wysuwne wrzeciono wewnętrzne WR_1 służy do wytaczania, gwintowania itp., dlatego jego końcówka jest przystosowana do mocowania narzędzi w wewnętrznym gnieździe stożkowym Morse'a, metrycznym lub o zbieżności 7:24 (rys. 3.27a).



Rys. 3.26. Wytaczarko-frezarka

Nie wysuwane wrzeciono zewnętrzne WR_2 jest przeznaczone do osadzania głowic frezowych lub tarczy planującej TP (rys. 3.27b) i dlatego ma końcówkę walcową z zabierakami czołowymi lub stożkową ze stożkiem krótkim.



Rys. 3.27. Mocowanie narzędzi: a) w gnieździe stożkowym wrzeczona wewnętrznej, b) w imaku suportu poprzecznego tarczy planującej

Wrzeciona WR_1 , WR_2 mogą mieć napęd dwubieżny lub jednobieżny. W przypadku napędu dwubieżnego obydwie wrzeciona są ułożyskowane niezależnie i mogą się obracać z różnymi prędkościami. Takie rozwiązanie umożliwia jednoczesną obróbkę z zastosowaniem różnych parametrów skrawania dla narzędzi osadzonych we wrzecionie wewnętrznym

oraz dla narzędzi osadzonych na tarczy planującej połączonej na stałe z wrzecionem zewnętrznym.

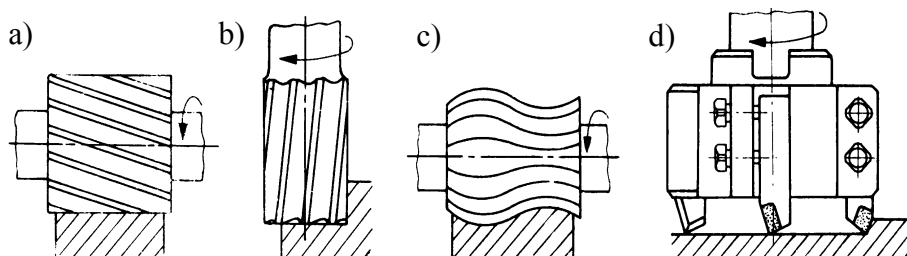
W przypadku napędu jednobieznego, który ze względu na większą dokładność obróbki jest obecnie częściej stosowany, wrzeciono wewnętrzne nie ma niezależnego łożyskowania i obraca się z taką samą prędkością jak wrzeciono zewnętrzne.

3.5. Frezarki

3.5.1. Przeznaczenie i podział frezarek

Frezarki są to obrabiarki, w których obrotowy ruch główny wykonuje zamocowany we wrzecionie frez, a ruchy posuwowe najczęściej przedmiot obrabiany zamocowany na przesuwным stole.

Przeznaczeniem frezarek jest obróbka płaszczyzn oraz powierzchni kształtowych za pomocą frezów walcowych, walcowo-czołowych, głowic frezowych oraz różnego rodzaju frezów kształtowych, jak to pokaza-
no przykładowo na rys. 3.28.



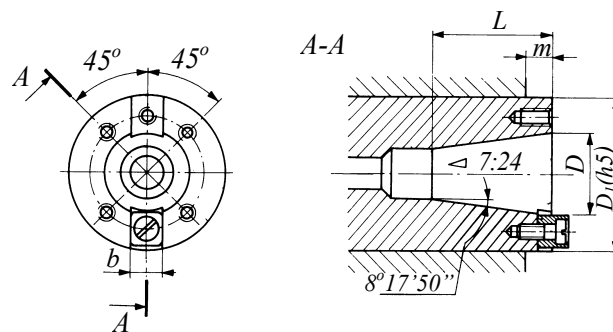
Rys. 3.28. Przykłady zabiegów obróbkowych wykonywanych na frezarkach:
a) frezowanie frezem walcowym, b) frezowanie frezem walcowo-czołowym,
c) frezowanie powierzchni kształtowej, d) frezowanie głowicą frezową

Wielkościami oznaczeniowymi większości frezarek są: szerokość i długość powierzchni stołu, wielkość końcówki wrzeciona oraz przesuw i wzajemne odległości podstawowych zespołów roboczych.

Wrzeciona frezarek są wyposażone w końcówkę z gniazdem stożkowym o zbieżności 7:24 oraz z czołowymi zabierakami klockowymi, jak to pokazano na rys. 3.29.

Gniazdo stożkowe służy do środkowania położenia mocowanych narzędzi, natomiast zabieraki służą do przenoszenia momentu obrotowego.

Chwyty stożkowe narzędzi są dociskane do gniazda stożkowego wrzeciona za pomocą śruby przechodzącej przez otwór wrzeciona.



Rys. 3.29. Końcówka wrzeciona frezarki i jej główne wymiary

Frezarki mają niezależny napęd ruchów posuwowych. Budowane są w wielu odmianach konstrukcyjnych, wśród których najbardziej są rozpowszechnione:

- frezarki wspornikowe,
- frezarki bezwspornikowe,
- frezarki wzdłużne,
- frezarki kopiarki.

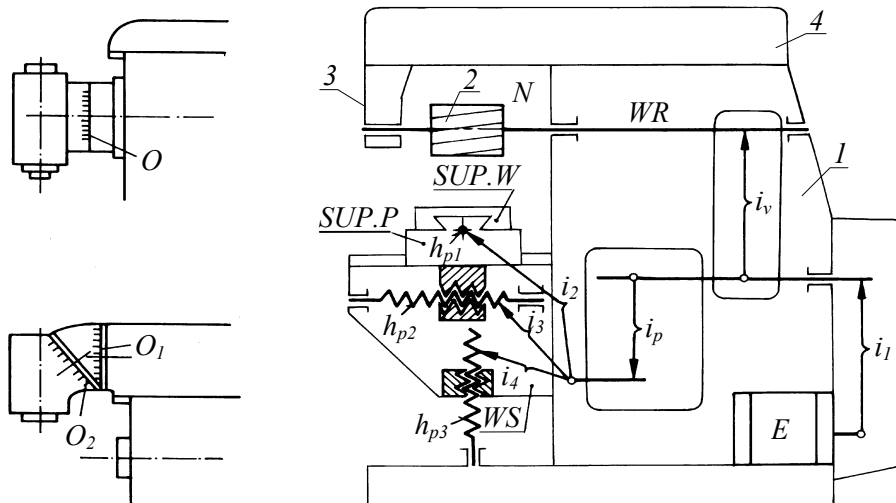
3.5.2. Frezarki wspornikowe

Frezarki wspornikowe służą do obróbki małych i średniej wielkości przedmiotów zamocowanych na stole krzyżowym osadzonym na przesuwalnym pionowo wsporniku (konsoli). W zależności od usytuowania osi wrzeciona rozróżnia się frezarki poziome lub pionowe.

• Frezarki wspornikowe poziome

Układ kinematyczny uproszczony frezarki wspornikowej poziomej przedstawiono na rys. 3.30.

Wrzeciono *WR* jest łożyskowane w korpusie głównym stojaka *1*. Frez *2* osadza się na trzpieniu frezarskim, którego koniec usztywnia się przez podparcie w łożysku podtrzymki *3*, połączonej przesuwnie z belką wspornikową *4*. Na wsporniku *WS* jest umieszczony suport poprzeczny *SUP.P*, na którym znajduje się obrotnica umożliwiającą skrócenie suportu wzdłużnego *SUP.W* w zakresie $\pm 45^\circ$.



Rys. 3.30. Frezarka wspornikowa pozioma: a) skrzętna głowica narzędziowa, b) układ kinematyczny uproszczony

Przebieg łańcuchów napędowych można zapisać równaniami:

- Łańcuch prędkości skrawania: $E \rightarrow WR$

$$n_E \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \cdot i_1 \cdot i_v = n_{WR} \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] = \frac{1000v}{\pi \cdot d_N}$$

stąd $i_v = C_1 \cdot \frac{v}{d_N}$, C_1 - stała wartość przełożeń,

gdzie: v - prędkość skrawania, $[m/min]$,
 d_N - średnica narzędzia, $[mm]$.

- Łańcuch posuwów: $E \rightarrow SUP.W, SUP.P, WS$

$$n_E \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \cdot i_1 \cdot i_p \begin{cases} i_2 \cdot h_{p1} \left[\frac{mm}{\text{obr}} \right] = f_{t1} \left[\frac{mm}{\text{min}} \right] - \text{posuwy wzdłużne} \\ i_3 \cdot h_{p2} \left[\frac{mm}{\text{obr}} \right] = f_{t2} \left[\frac{mm}{\text{min}} \right] - \text{posuwy poprzeczne} \\ i_4 \cdot h_{p3} \left[\frac{mm}{\text{obr}} \right] = f_{t3} \left[\frac{mm}{\text{min}} \right] - \text{posuwy pionowe} \end{cases}$$

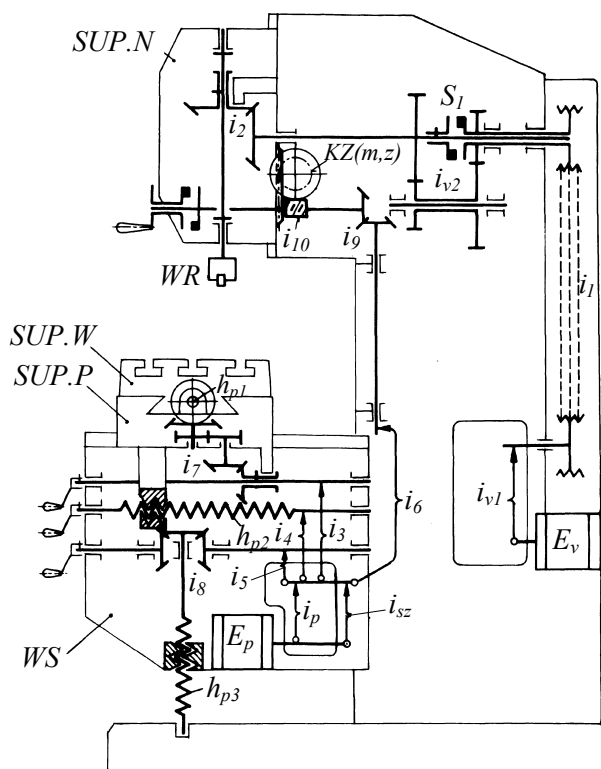
stąd $i_p = C_2 \cdot f_t$, ($f_t = f_{t1}, f_{t2}, f_{t3}$), C_2 - stała wartość przełożeń,
gdzie: f_t - prędkość posuwu, [mm/min].

Frezarki poziome są wyposażone często w skretną głowicę narzędziową, co umożliwia ich pracę jako frezarek pionowych. Możliwość skrećania suportu wzdłużnego i wyposażenie frezarki w podzielnicę uniwersalną pozwalają na obróbkę powierzchni śrubowych i frezowanie zębatek płaskich.

• Frezarki wspornikowe pionowe

Frezarki wspornikowe pionowe mają głowicę wrzecionową usytuowaną pionowo na korpusie obrabiarki, natomiast pozostałe zespoły obrabiarki pod względem budowy i przeznaczenia są podobne do zespołu frezarek poziomych.

Układ kinematyczny uproszczony frezarki pionowej przedstawiono na rys. 3.31.



Rys. 3.31. Frezarka wspornikowa pionowa

Przebieg łańcuchów napędowych można zapisać równaniami:

- Łańcuch prędkości skrawania: $E_v \rightarrow WR$

$$n_{Ev} \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot i_{v1} \cdot i_l \cdot i_{v2} \cdot i_2 = n_{WR} \left[\frac{obr}{min} \right] = \frac{1000v}{\pi \cdot d_N}$$

stąd $i_{v1} \cdot i_{v2} = C_1 \cdot \frac{v}{d_N}$, C_1 - stała wartość przełożeń,

gdzie: v - prędkość skrawania, $[m/min]$,
 d_N - średnica narzędzia, $[mm]$.

- Łańcuch posuwów: $E_p \rightarrow SUP.W, SUP.P, WS, SUP.N$

$$n_E \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot i_p \begin{cases} i_3 \cdot i_7 \cdot h_{p1} \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_{t1} \left[\frac{mm}{min} \right] - \text{posuwy wzdłużne} \\ i_4 \cdot h_{p2} \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_{t2} \left[\frac{mm}{min} \right] - \text{posuwy poprzeczne} \\ i_5 \cdot i_8 \cdot h_{p3} \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_{t3} \left[\frac{mm}{min} \right] - \text{posuwy pionowa} \\ i_6 \cdot i_9 \cdot i_{10} \cdot \pi m z \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_{t4} \left[\frac{mm}{min} \right] - \text{posuwy narzędzia} \end{cases}$$

stąd $i_p = C_2 \cdot f_t$, ($f_t = f_{t1}, f_{t2}, f_{t3}, f_{t4}$), C_2 - stała wartość przełożeń,

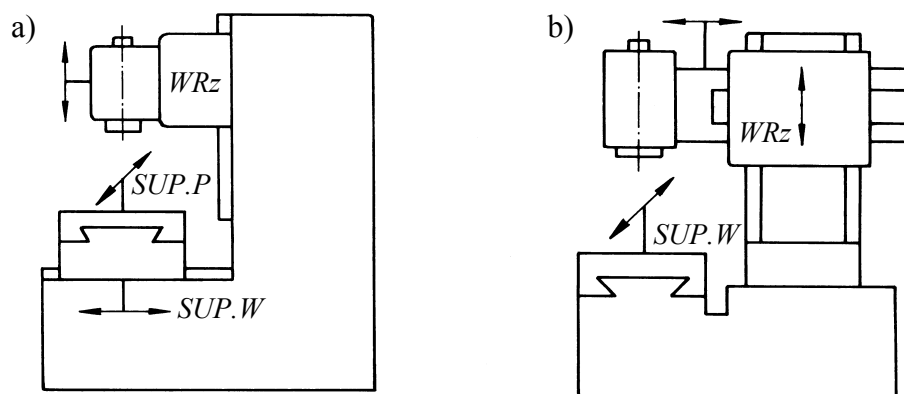
gdzie: f_t - prędkość posuwu, $[mm/min]$.

Frezarki pionowe mają najczęściej przesuwaną pionową głowicę narzędziową $SUP.N$, co umożliwia wykonywanie oprócz prac frezarskich również zabiegów wytaczarskich.

3.5.3. Frezarki bezwspornikowe

Cechą charakterystyczną budowy frezarek bezwspornikowych (łożowych) jest osadzenie stołu krzyżowego lub wzdłużnego na prowadnicach nieruchomego łoża (rys. 3.32). Umożliwia to uzyskanie dużej i łatwej do

wykorzystania przestrzeni roboczej, a sztywne osadzenie stołu pozwala na wydajną obróbkę z zastosowaniem dużej mocy napędowej.



Rys. 3.32. Frezarki bezwspornikowe: a) ze stołem krzyżowym, b) ze stołem wzdłużnym

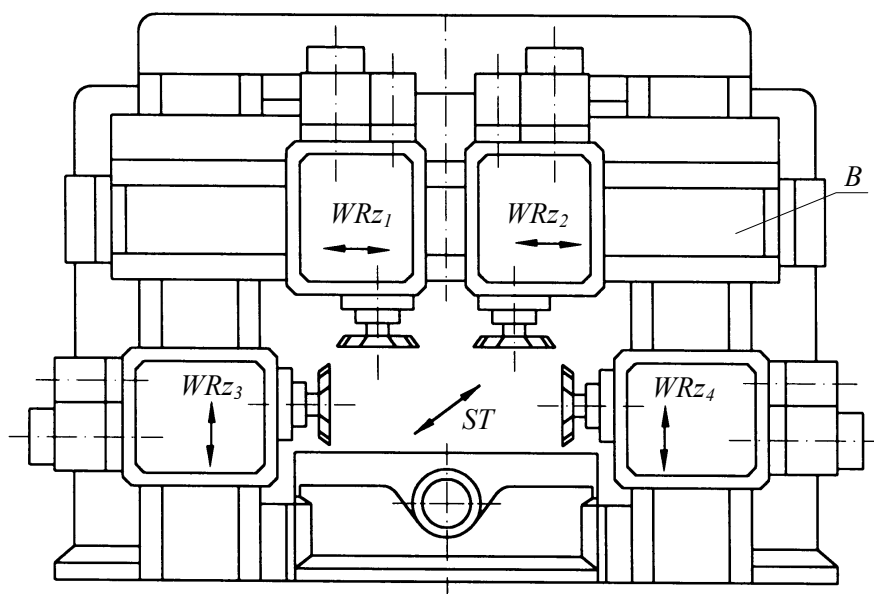
W przypadku frezarek ze stołem krzyżowym wrzeciennik obrabiarki WRz jest przesuwany pionowo po prowadnicach stojaka (rys. 3.32a), natomiast gdy stół ma tylko przesuw wzdłużny, wówczas ruch poprzeczny wykonuje wrzeciennik WRz (rys. 3.32b).

3.5.4. Frezarki wzdłużne

Frezarki wzdłużne są przeznaczone do obróbki dużych przedmiotów mocowanych na stołach wykonujących jedynie przesuw wzdłużny. Frezarki takie są budowane jako jednostojakowe, dwustojakowe lub bramowe. Przykład budowy frezarki bramowej pokazano na rys. 3.33.

Wrzecienniki WRz_1 , WRz_2 , WRz_3 , WRz_4 mają zazwyczaj wysuwane wrzeciona oraz własne skrzynki prędkości z napędem od oddzielnych silników.

Górne powierzchnie przedmiotu mocowanego na stole wzdłużnym ST są obrabiane przez wrzecienniki WRz_1 , WRz_2 , przemieszczające się wzdłuż belki B . Powierzchnie boczne przedmiotu są obrabiane za pomocą wrzecienników WRz_3 i WRz_4 , przemieszczających się pionowo po prowadnicach stojaków.



Rys. 3.33. Frezarka wzdłużna bramowa

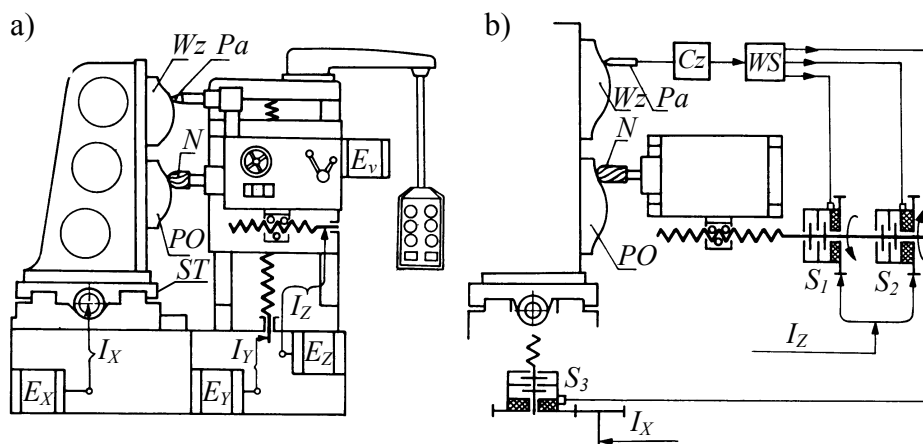
Prostoliniowy przesuw stołu *ST* jest uzyskiwany za pomocą napędu hydraulicznego lub mechanicznego z przekładnią ślimakowo-zębatkową.

3.5.5. Frezarki kopiarki

Frezarki kopiarki są przeznaczone do obróbki przedmiotów o złożonych kształtach metodą odtwarzania kształtu wzornika. Głównym zadaniem tych frezarek jest obróbka matryc, wykrojników, tłoczników, krzywek, łopatek turbinowych itd.

Frezowanie kopiowe najczęściej odbywa się w układzie współrzędnych prostokątnych, ale zastosowanie specjalnych stołów obrotowych umożliwia obróbkę w układzie współrzędnych biegunowych.

Większość odmian frezarek kopiarek ma budowę zbliżoną do budowy frezarek wspornikowych lub łożowych. Przykład budowy frezarki kopiarki łożowej pokazano na rys. 3.34.



Rys. 3.34. Frezarka kopiarka łóżowa: a) układ budowy i napędowy, b) schemat układu kopiowania

Na przesuwym wzdłużnie stole ST (w kierunku osi X) jest ustawiona płyta służąca do mocowania wzornika Wz i przedmiotu obrabianego PO , natomiast narzędzie N wykonuje ruch kopiowania w kierunku osi Z , a cały wrzeciennik przemieszcza się okresowo w kierunku osi Y . W ten sposób frezowanie kopiowe przestrzenne uzyskuje się przez kopiowanie kolejnych zarysów położonych równolegle obok siebie.

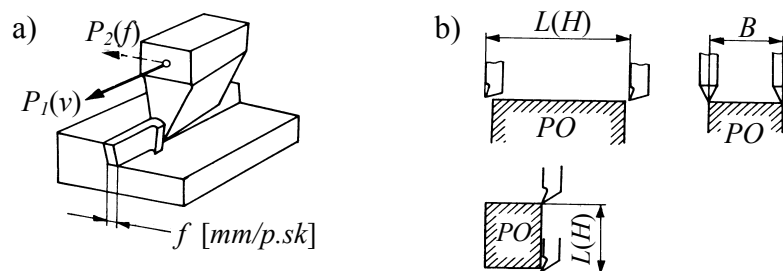
W zależności od kierunku i wartości przemieszczenia palca wodzącego Pa po wzorniku Wz wzmacniacz sygnału WS czujnika przemieszczenia Cz włącza odpowiednie sprzęgła elektromagnetyczne S_1 , S_2 w łańcuchu posuwu I_Z (oś Z) oraz sprzęgło S_3 w łańcuchu posuwu I_X (oś X). Sprzęgła S_1 i S_2 zmieniają kierunek ruchu w osi Z .

3.6. Strugarki i dłutownice

3.6.1. Przeznaczenie i cechy charakterystyczne strugarek

Strugarki i dłutownice są przeznaczone głównie do obróbki powierzchni płaskich z zastosowaniem prostoliniowo-zwrotnego ruchu głównego i prostoliniowego ruchu posuwowego. W strugarkach ruch główny odbywa się w kierunku poziomym, natomiast w dłutownicach w kierunku pionowym. Ruch posuwowy jest ruchem przerywanym i odbywa się podczas ruchu powrotnego (jałowego).

- Wielkościami charakterystycznymi są (rys. 3.35.):
- największa szerokość B i długość L strugania,
 - największa wysokość dłutowania H .



Rys. 3.35. Wielkości charakterystyczne strugania: a) parametry skrawania, b) wielkości oznaczeniowe strugania

Podstawowym rodzajem narzędzi są noże strugarskie lub dłutarskie, mocowane w imakach narzędziowych osadzanych na suwakach.

Do mocowania małych przedmiotów służą imadła maszynowe, natomiast przedmioty duże są mocowane bezpośrednio do stołu za pomocą elementów dociskowych przykręcanych śrubami teowymi.

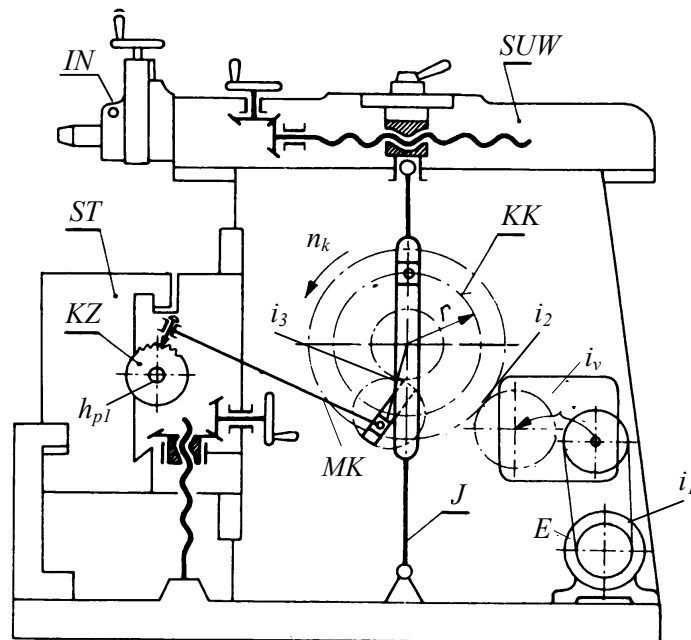
3.6.2. Strugarki poprzeczne

Strugarki poprzeczne są przeznaczone do obróbki niewielkich przedmiotów zamocowanych na stole obrabiarki wykonującym poprzeczny ruch posuwowy.

Prostoliniowo-zwrotny ruch główny wykonuje narzędzie w imaku narzędziowym IN osadzonym na przesuwym suwaku SUW (rys. 3.36).

Napęd ruchu głównego jest uzyskiwany od silnika elektrycznego E , który przez skrzynkę prędkości i_v (o 4÷6 stopniach prędkości) napędza mechanizm jarzma wahadłowego J połączonego przegubowo z suwakiem roboczym SUW . Długość skoku suwaka jest zależna od nastawianego promienia r koła korbowego KK i nie przekracza zazwyczaj 1000 [mm].

Napęd ruchu posuwowego stołu ST jest uzyskiwany od suwaka przez mechanizm korbowo-zapadkowy MK . Koło zapadkowe KZ jest osadzone na śrubie pociągowej napędu stołu.



Rys. 3.36. Strugarka poprzeczna

Przebieg łańcuchów napędowych można zapisać równaniami:

- Łańcuch prędkości skrawania: $E \rightarrow SUW$

$$n_E \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \cdot i_1 \cdot i_v \cdot i_2 \cdot I \left[\frac{\text{p.sk}}{\text{obr}} \right] = n_N \left[\frac{\text{p.sk}}{\text{min}} \right]$$

skąd $i_v = C_1 \cdot n_N$, C_1 - stała wartość przełożeń,

gdzie: n_N - liczba podwójnych skoków suwaka na minutę.

- Łańcuch posuwu: $SUW \rightarrow ST$

$$I[\text{p.sk}] \cdot I \left[\frac{\text{obr}}{\text{p.sk}} \right] \cdot i_3 \cdot \frac{x}{z} \cdot h_{pl} \left[\frac{\text{mm}}{\text{obr}} \right] = f[\text{mm}]$$

stąd $x = C_2 \cdot f$, C_2 - stała wartość przełożeń,

gdzie: x - liczba zębów nastawiana na kole zapadkowym,

f - posuw stołu, $[\text{mm}]$; z - liczba zębów koła zapadkowego.

Strugarki wzdłużne są przeznaczone do obróbki dużych powierzchni płaskich, które wymagają dużej dokładności (płaskość i prostoliniowość). Typowymi powierzchniami obrabianymi na strugarkach wzdłużnych są powierzchnie stołów, prowadnic itp.

[illegible]

Strugarka wzdłużna ma najczęściej dwa suporty górne $SUP.G_1$, $SUP.G_2$ osadzone na prowadnicach poziomej belki B przemieszczającej się po pionowych prowadnicach stojaków oraz suport boczny $SUP.B$, przesuwany po tych samych prowadnicach.

79

W napędzie stopniowym skrzynka prędkości jest wyposażona w dwustronne sprzęgło elektromagnetyczne służące do przełączania kierunku ruchu stołu.

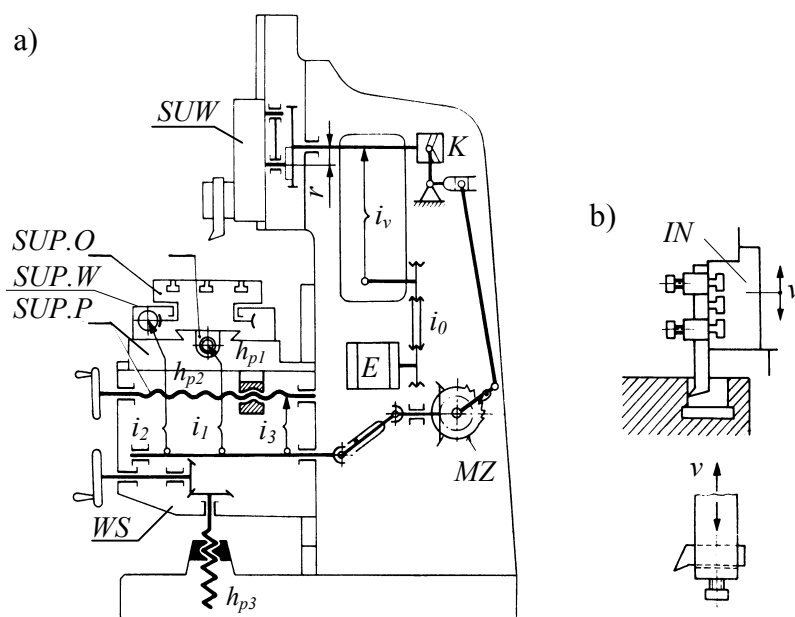
Ruchy posuwowe suportów są uzyskiwane od mechanizmów zapadkowych lub też od włączonych okresowo silników E_{p1} , E_{p2} , które przez skrzynki posuwów i_p oraz nastawiane mechanizmy zapadkowe napędzają wałki i śruby pociągowe suportów.

Belka B wraz z suportami jest podnoszona silnikiem E_{pb} po wcześniejszym zwolnieniu zacisków przez silnik E_{zb} .

3.6.4. Dłutownice

Dłutownice są przeznaczone do obróbki kanałków wpustowych lub wielowypustowych.

Narzędzia stosowane do dłutowania są mocowane w imaku nożowym IN osadzonem na suwaku SUW , który wykonuje pionowe ruchy prostoliniowo-zwrotne (rys. 3.38).



Rys. 3.38. Dłutownica wspornikowa: a) uproszczony schemat kinematyczny, b) przykłady mocowania narzędzi

Prostoliniowo-zwrotny ruch główny suwaka SUW jest uzyskiwany za pomocą mechanizmu korbowego. Przerywany ruch posuwowy suportów wzdłużnego $SUP.W$, poprzecznego $SUP.P$ i obrotowego $SUP.O$ jest realizowany za pomocą układu dźwigniowego z krzywką K i mechanizmu zapadkowego MZ . Suporty te są osadzone na wsporniku WS .

Przebieg łańcuchów napędowych można zapisać równaniami:

- Łańcuch prędkości skrawania: $E \rightarrow SUW$

$$n_E \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot i_0 \cdot i_v \cdot I \left[\frac{p.sk}{obr} \right] = n_N = \left[\frac{p.sk}{min} \right] = \frac{1000v}{2H}$$

stąd $i_v = C_1 \cdot \frac{v}{H}$, C_1 - stała wartość przełożeń,

gdzie: v - prędkość skrawania [mm/min],
 H - skok suwaka [mm].

- Łańcuch posuwów: $SUW \rightarrow SUP.W, SUP.P, SUP.O$

$$I[p.sk] \cdot I \left[\frac{obr}{p.sk} \right] \cdot \frac{x}{z} \cdot \frac{I}{I} \begin{cases} i_1 \cdot h_{p1} \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_1[mm] \\ i_2 \cdot h_{p2} \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_2[mm] \\ i_3 \cdot \frac{k}{z} = f_3[obr] \end{cases}$$

stąd $x = C_2 \cdot f$, ($f = f_1, f_2, f_3$), C_2 - stała wartość przełożeń,

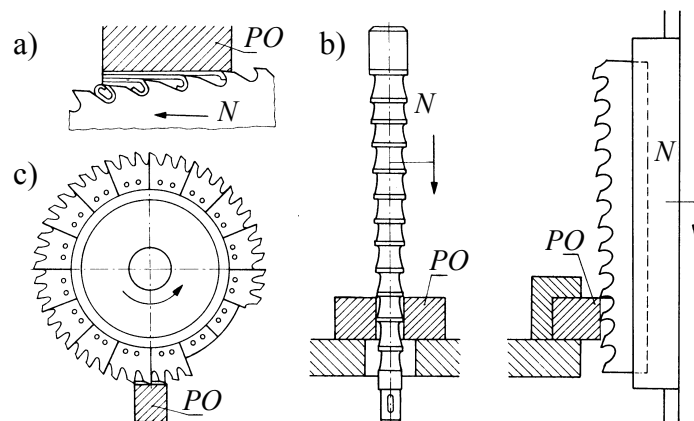
gdzie: f - posuw; x - liczba zębów nastawiana na kole zapadkowym;
 z - liczba zębów koła zapadkowego; k - krotność ślimaka.

3.7. Przeciagarki

3.7.1. Cechy charakterystyczne

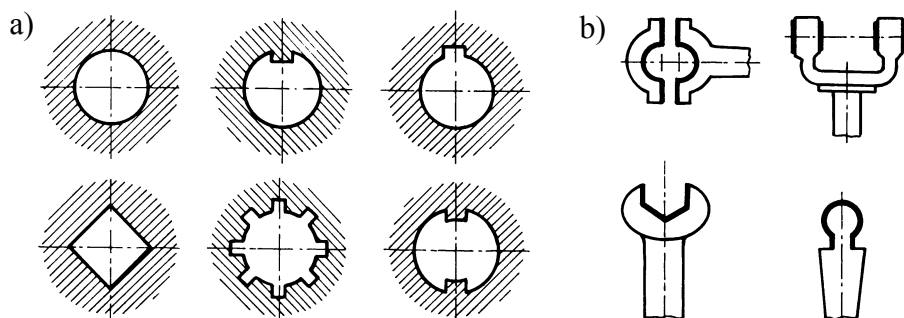
Przeciagarki są obrabiarkami przeznaczonymi do obróbki powierzchni o złożonych zarysach za pomocą wieloostrzowych narzędzi kształtowych, zwanych przeciagaczami.

Przykłady przeciągaczy prostoliniowych i obrotowych przedstawiono na rys. 3.39, natomiast przykłady powierzchni wykonywanych na przeciągarkach pokazano na rys. 3.40.



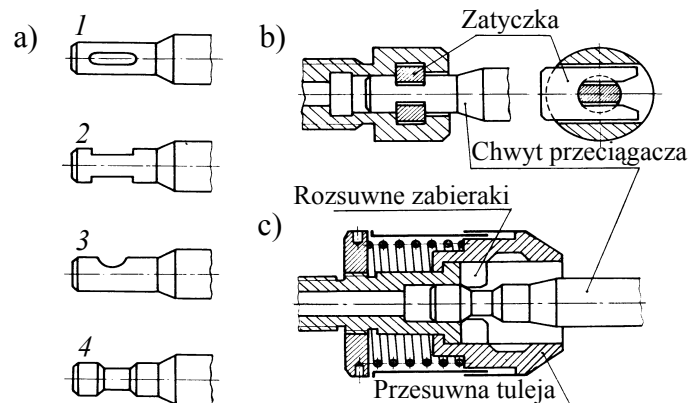
Rys. 3.39. Odmiany przeciągaczy: a) proces przeciągania, b) przeciągacze prostoliniowe do powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej, c) przeciągacze obrotowe

Przeciągacze są tak zbudowane, że kolejne ostrza mają wzrastającą wysokość i podczas ruchu narzędzia zdejmują kolejne warstwy nadatku obróbkowego aż do całkowitego ukształtowania obrabianej powierzchni. Umożliwia to uzyskanie bardzo dużej wydajności obróbki, która ze względu na znaczny koszt przeciągacza staje się opłacalna w przypadku produkcji wielkoseryjnej lub masowej.



Rys. 3.40. Przykłady powierzchni obrabianych na przeciągarkach: a) powierzchnie wewnętrzne, b) powierzchnie zewnętrzne

Chwyt przeciągacza jest mocowany w uchwycie za pomocą klinów, zatyczek lub zabieraków. Różne odmiany chwytów przeciągaczy prostoliniowych ($1 \div 4$) oraz przykłady ich zamocowania przedstawiono na rys. 3.41.



Rys. 3.41. Chwyty przeciągaczy i ich mocowanie w oprawkach narzędziowych: a) rodzaje chwytów, b) mocowanie za pomocą dwustronnej zatyczki, c) mocowanie w oprawce szybko-mocującej

W przypadku produkcji masowej stosuje się szybko-mocujące oprawki sprężynowe, wyposażone w rozsuwne zabieraki zwalniane przesuwającą tuleją. Oprawki szybko-mocujące umożliwiają także automatyczne zwalnianie i zaciskanie chwytu przeciągacza za pomocą nastawnego zde-rzaka i dźwigni.

3.7.2. Odmiany przeciągarek

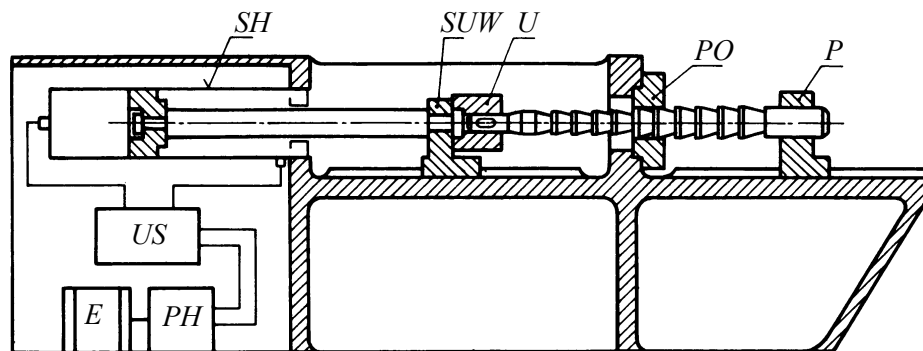
Przeciągarki dzieli się na poziome i pionowe oraz przeznaczone do wykonywania powierzchni wewnętrznych i zewnętrznych.

Do grupy przeciągarek są zaliczane również **przepycharki**, stosowane głównie do wykańczającej obróbki otworów za pomocą narzędzi do przepychania. Najbardziej są rozpowszechnione przeciągarki poziome do powierzchni wewnętrznych (rys. 3.42).

W przeciągarkach takich narzędzia są mocowane w uchwytach *U* osadzonych na końcówce prowadzonego w suwaku *SUW* tłoczyska silnika hydraulicznego *SH*, natomiast przedmioty obrabiane *PO* - w gnieździe uchwytu osadzonego na płycie czołowej obrabiarki. Podtrzymka *P* zapo-

biega ugięciu przeciągacza i nierównomiernemu zużyciu jego krawędzi skrawających.

Po przejściu roboczym całego przeciągacza przedmiot obrabiany zostaje usunięty i przeciągacz wycofuje się w położenie wyjściowe.



Rys. 3.42. Przeciągarka pozioma do powierzchni wewnętrznych

Napęd ruchu głównego przeciągacza uzyskuje się przez układ hydrauliczny składający się z silnika elektrycznego *E*, pompy hydraulicznej *PH*, układu sterowania *US* i siłownika hydraulicznego *SH*.

3.8. Przecinarki

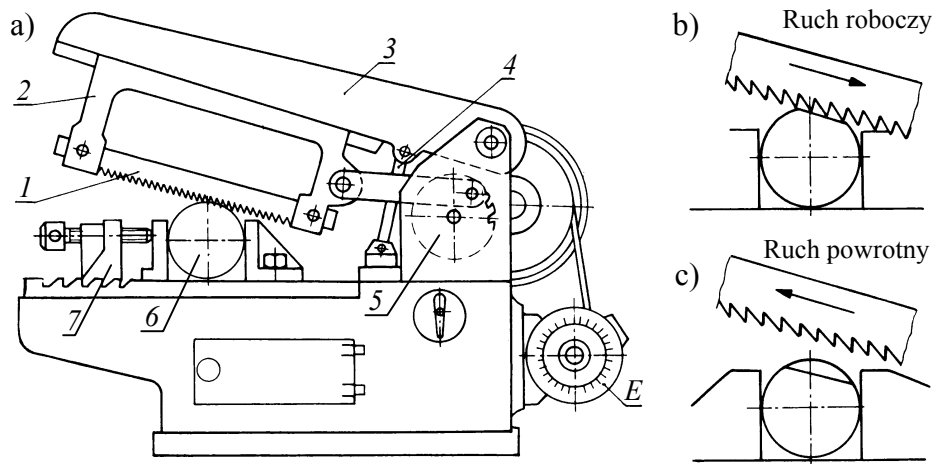
3.8.1. Cechy charakterystyczne

Przecinarki są budowane jako obrabiarki ogólnego przeznaczenia lub specjalizowane. Przecinarki ogólnego przeznaczenia są stosowane w oddziałach przygotowania produkcji, gdzie służą do cięcia materiałów wyjściowych do dalszej obróbki. Przecinarki specjalizowane są używane np. do odcinania nadlewów, cięcia płyt itp.

W zależności od rodzaju ruchu głównego i kształtu narzędzia przecinarki dzieli się na ramowe, taśmowe, tarczowe i ściernie.

3.8.2. Przecinarki ramowe

Najczęściej stosowaną odmianą przecinarek jest przecinarka ramowa (rys. 3.43).



Rys. 3.43. Przecinarka ramowa: a) ogólna budowa, b) położenie piły w położeniu roboczym, c) położenie piły w położeniu jałowym (ruch powrotny)

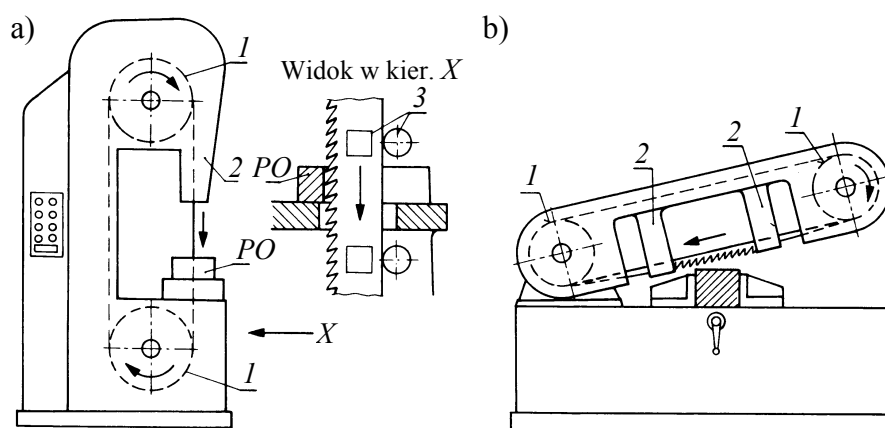
W przecinarce ramowej narzędziem jest płaska piła (brzeszczot) 1 przymocowana do uchwytyów przesuwnej ramy 2. Rama z piłą, napędzana mechanizmem korbowym 5, przesuwa się ruchem prostoliniowo-zwrotnym po prowadnicy odchylanego ramienia 3, które podczas ruchu roboczego (skrawania) jest opuszczane, a podczas ruchu powrotnego jest hydraulicznie unoszone za pomocą siłownika hydraulicznego 4. W ten sposób zapobiega się tępieniu ostrzy piły.

Przedmiot przecinany 6 jest zamocowany za pomocą prostego uchwyty 7 umieszczonego na korpusie podstawy.

3.8.3. Przecinarki taśmowe

W przecinarkach taśmowych narzędziem jest cienka taśma ze stali sprężynowej z przyspawanymi do obrzeża ostrzami ze stali szybkotnącej. Pozwala to na zwiększenie prędkości skrawania do około $100 [m/min]$.

Przecinarki taśmowe są budowane w układzie pionowym lub poziomym (rys. 3.44). W każdym z tych układów piła ma zamknięty obwód i jest naciągana między dwoma napędzającymi ją kołami 1. Podtrzymkę 2, zakończoną urządzeniem prowadzącym taśmę 3, można przesuwać w zależności od grubości przecinanego materiału.



Rys. 3.44. Przecinarki taśmowe: a) pionowa, b) wahliwa

Przecinarki taśmowe pionowe są przystosowane do cięcia płyt, poziome zaś do cięcia prętów, rur itp.

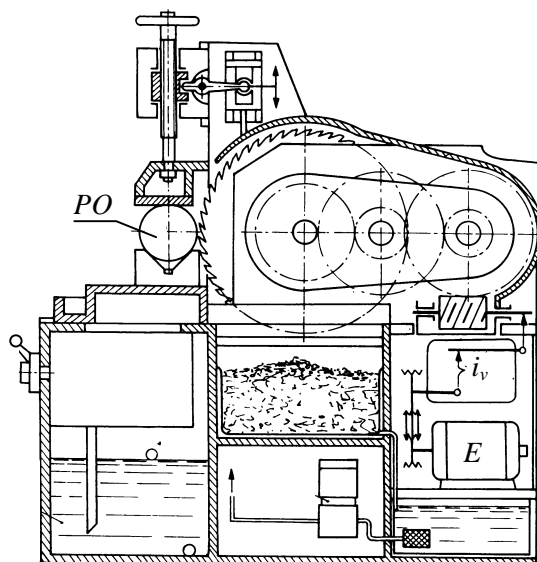
3.8.4. Przecinarki tarczowe

W przecinarkach tarczowych narzędziem jest piła tarczowa, której ostrza są wykonane zazwyczaj na segmentach ze stali szybko tnącej.

Przecinarki tarczowe są budowane jako poziome, pionowe lub ze skrętną tarczą. Przecinarki poziome i pionowe są przystosowane głównie do cięcia materiałów prętowych i rur, natomiast przecinarki ze skrętną tarczą są stosowane do cięcia dużych przedmiotów w hutach lub odlewniach.

Najczęściej się używa przecinarek tarczowych poziomych (rys. 3.45). Ruch główny, który wykonuje piła tarczowa, jest zwrócony w kierunku górnym tak, aby siły skrawania dociskały wrzeciennik do prowadnic podstawy. Ruch ten jest realizowany od silnika *E* przez przekładnię pasową, przekładnię bezstopniową i_v , przekładnię ślimakową oraz przekładnię zębate.

W mechanizmach ruchów posuwowych oraz w mechanizmach mocowania przecinanych przedmiotów najczęściej stosuje się napęd hydrauliczny, umożliwiający bezstopniową regulację posuwu oraz siły zacisku.



Rys. 3.45. Przecinarka tarczowa pozioma

Utrzymanie równomiernego obciążenia piły - niezależnie od kształtu przecinanego przekroju - zapewnia się za pomocą bezstopniowo nastawianej wartości posuwu dzięki zastosowaniu napędu hydraulicznego z dławieniową regulacją prędkości.

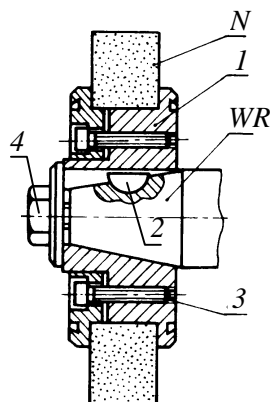
3.9. Szlifierki

3.9.1. Charakterystyka i rodzaje szlifierek

Szlifierki są obrabiarkami przeznaczonymi głównie do wykańczającej obróbki powierzchni utwardzonych, wstępnie obrobionych na innych obrabiarkach.

Stosowane do szlifowania narzędzia są wykonywane w postaci ściernic, taśm ciernych lub osełek.

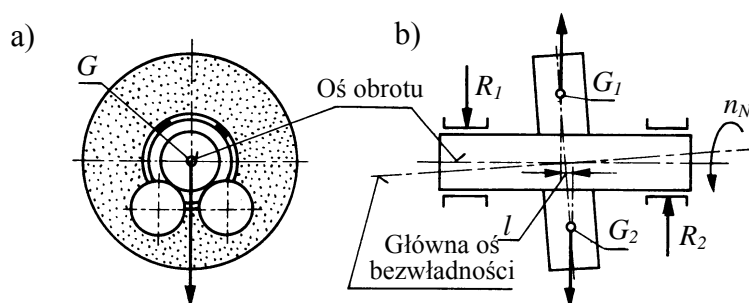
Do osadzania ściernic na końcówce wrzeciona służą obsady I , które mają rowki do mocowania ciężarków służących do **wyrównowazania** ściernicy (rys. 3.46).



Rys. 3.46. Mocowanie ściernicy

Obsada wraz ze ściernicą jest mocowana na końcówce stożkowej wrzeciona WR z wpustem czółenkowym 2 za pomocą śruby czołowej 4. Śruby zaciskające 3 służą do mocowania ściernicy w obsadzie.

Ze względu na dużą prędkość obwodową ściernicy przed założeniem jej na wrzeciono jest ona wyrównowazana (rys. 3.47).



Rys. 3.47. Wyrównowazanie ściernic: a) statyczne, b) dynamiczne

Wyrównowazanie statyczne (rys. 3.47a) polega na takim dodatkowym obciążeniu obsady ściernicy, aby jej środek ciężkości G pokrywał się z geometryczną osią obrotu. Tak wyrównowazona ściernica zatrzymuje się w dowolnym położeniu po jej obrocie.

Wyrównowazanie dynamiczne (rys. 3.47b) polega na takim dodatkowym obciążeniu obsady lub wrzeciona ściernicy, aby główna oś bezwładności ściernicy pokrywała się z osią obrotu i nie powstawał moment pochodzący od sił bezwładności wirujących mas. Do wyrównowazania

dynamicznego stosuje się obecnie specjalne urządzenia wbudowane we wrzeciona ściernicy, które umożliwiają samoczynne Wyrównywanie podczas pracy obrabiarki.

W celu zachowania prawidłowego kształtu i dobrych własności skrawnych ściernice są okresowo obciągane (ostrzone). Do obciągania ściernic stosuje się ostrza diamentowe osadzone w oprawkach specjalnych przyrządów mocowanych na wrzeciennikach ściernic lub stołach szlifierki. Przyrządy te są stosowane do obciągania (diamentowania) ręcznego lub automatycznego.

Na szlifierkach są stosowane także urządzenia do czynnej kontroli wymiarów przedmiotu w czasie procesu szlifowania. W ten sposób można zwiększyć dokładność wymiaru przedmiotu obrabianego, ponieważ eliminuje się wpływ zużycia promieniowego ściernicy.

W procesie szlifowania wymaga się obfitego chłodzenia, które zapobiega nagrzewaniu się szlifowanej powierzchni i jej przypaleniu, grożącemu utratą twardości i uszkodzeniem struktury warstwy wierzchniej przedmiotu. W celu oddzielenia zanieczyszczeń od spływającej do zbiornika cieczy chłodzącej stosuje się różnego rodzaju filtry, np. magnetyczne.

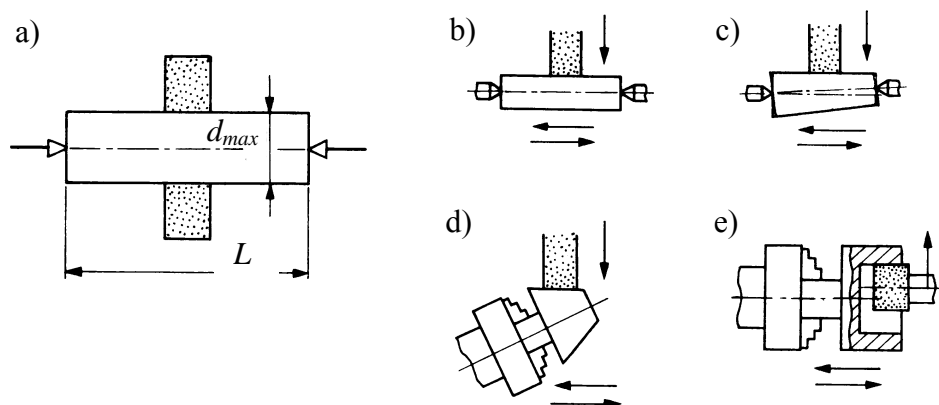
Wśród wielu odmian konstrukcyjnych szlifierek najbardziej są rozpowszechnione:

- szlifierki do wałków kłowe i bezkłowe,
- szlifierki do otworów,
- szlifierki do płaszczyzn,
- szlifierki do gwintów,
- szlifierki ostrzarki do narzędzi,

3.9.2. Szlifierki do wałków kłowe

Szlifierki do wałków kłowe, nazywane ogólnie szlifierkami do wałków, są przeznaczone do obróbki powierzchni walcowych przedmiotów mocowanych w kłach wrzeciona przedmiotu i konika. Szlifierki te często są przystosowane do mocowania krótkich przedmiotów w uchwytach, co pozwala na szlifowanie w tych przedmiotach otworów.

Wielkościami charakterystycznymi szlifierek do wałków jest największa średnica szlifowania d oraz rozstaw kłów L . Wielkości te oraz przykłady typowych zabiegów obróbkowych przedstawiono na rys. 3.48.



Rys. 3.48. Wielkości charakterystyczne szlifierek do wałków oraz przykłady zabiegów obróbkowych: a) wielkości charakterystyczne, b) szlifowanie powierzchni walcowej, c) szlifowanie powierzchni stożkowej w kłach, d) szlifowanie powierzchni stożkowej w uchwycie, e) szlifowanie otworu

Uproszczony schemat kinematyczny typowej szlifiarki uniwersalnej do wałków pokazano na rys. 3.49.

Cechami charakterystycznymi szlifierek uniwersalnych jest skrzętny stół *ST* (w zakresie $\pm 10^\circ$), skrzętny wrzeciennik przedmiotu (w zakresie $\pm 90^\circ$) i skrzętny wrzeciennik ściernicy (w zakresie $\pm 180^\circ$), co umożliwia obróbkę powierzchni stożkowych, a w przypadku zastosowania specjalnego odchylnego wrzeciona szlifierskiego - również otworów przedmiotów mocowanych w uchwycie.

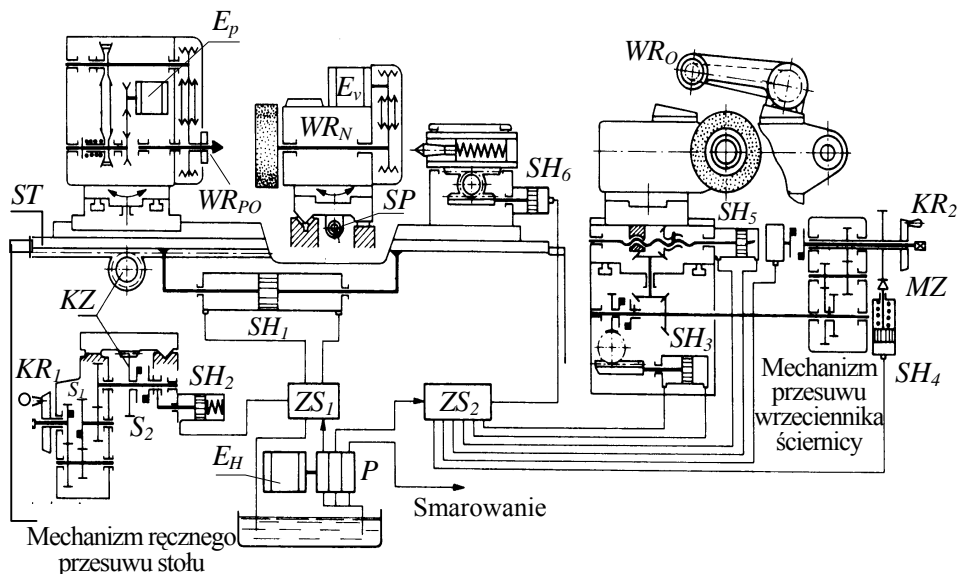
Szlifierka taka ma niezależny napęd ruchu głównego ściernicy (od silnika E_v), posuwu obwodowego przedmiotu (od silnika E_p) oraz posuwu wzdłużnego stołu (od silnika E_H i układu hydraulicznego).

W celu uzyskania bezdrganiowej pracy w napędzie ściernicy i posuwu obwodowego przedmiotu stosuje się przekładnie pasowe, natomiast stół jest napędzany siłownikiem hydraulicznym SH_1 z dławieniową regulacją prędkości i przystankami czasowymi w punktach nawrotu.

Wrzeciennik ściernicy umożliwia następujące ruchy:

- szybki dosuw i odsuw ściernicy siłownikiem hydraulicznym SH_5 ,
- dosuw stopniowy - w jednym lub obydwu punktach nawrotu stołu - uzyskiwany od napędzanego siłownikiem hydraulicznym SH_4 mechanizmu zapadkowego *MZ* (w zakresie $0.001 \div 0.025$ [mm]),
- dosuw hydrauliczny bezstopniowy - stosowany w przypadku szlifowania wglębnego - realizowany siłownikiem hydraulicznym SH_3 przez

przekładnię zębatkową, przekładnie zębate i przekładnię śrubową (w zakresie $0.1 \div 1.5$ [mm/min]).



Rys. 3.49. Szlifierka kłowa do wałków

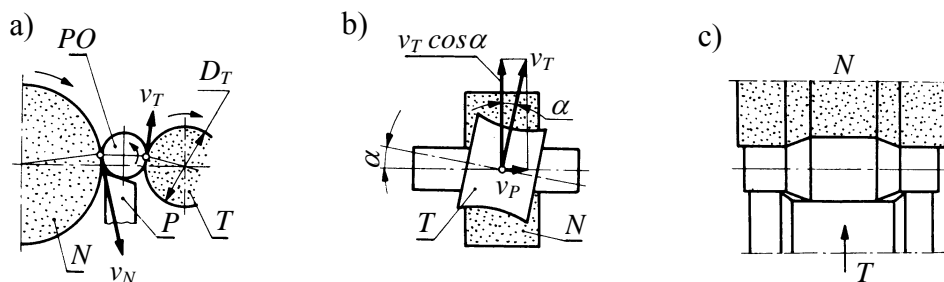
Zarówno stół, jak i wrzecionnik ściernicy mają mechanizmy napędu ręcznego od pokręteł KR_1 i KR_2 . W momencie włączenia mechanicznego napędu następuje rozłączenie napędu ręcznego S_2 siłownikiem hydraulicznym SH_2 . Siłownik hydrauliczny SH_6 służy do odsuwu tulei konika w celu zdjęcia przedmiotu obrabianego.

Do szlifowania otworów stosuje się specjalne wrzeciono łożyskowane w ramieniu skrotnego (o 180°) korpusu, który jest mocowany na wrzecienniku ściernicy i napędzany odrębnym silnikiem.

3.9.3. Szlifierki do wałków bezkłowe

Szlifierki bezkłowe są przeznaczone do szlifowania przelotowego przedmiotów walcowych oraz do szlifowania wgłębnego wałków kształtowych bez mocowania tych przedmiotów w kłach. Szlifierki te mają prostą budowę oraz sztywne podparcie przedmiotu i odznaczają się dużą wydajnością obróbki.

W przypadku szlifowania przelotowego wsparty na podtrzymce P przedmiot PO styka się z tarczą prowadzącą T (zwaną tarczą posuwową) i ściernicą roboczą N (rys. 3.50).



Rys. 3.50. Szlifowanie bezkłowe: a) ustawienie przedmiotu, b) ustawienie tarczy prowadzącej, c) szlifowanie bezkłowe wgłębne

Ponieważ siła tarcia między tarczą prowadzącą a przedmiotem jest większa od obwodowej siły skrawania, więc przedmiot obraca się z prędkością obwodową zbliżoną do prędkości tarczy v_T . Posuw wzdłużny przedmiotu jest uzyskiwany na skutek skrócenia tarczy prowadzącej o kąt $\alpha = 1 \div 6^\circ$. Prędkość tego posuwu (rys. 3.50b) można obliczyć według wzoru:

$$f_T = v_T \cdot \sin \alpha = \pi \cdot d_T \cdot n_T \cdot \sin \alpha$$

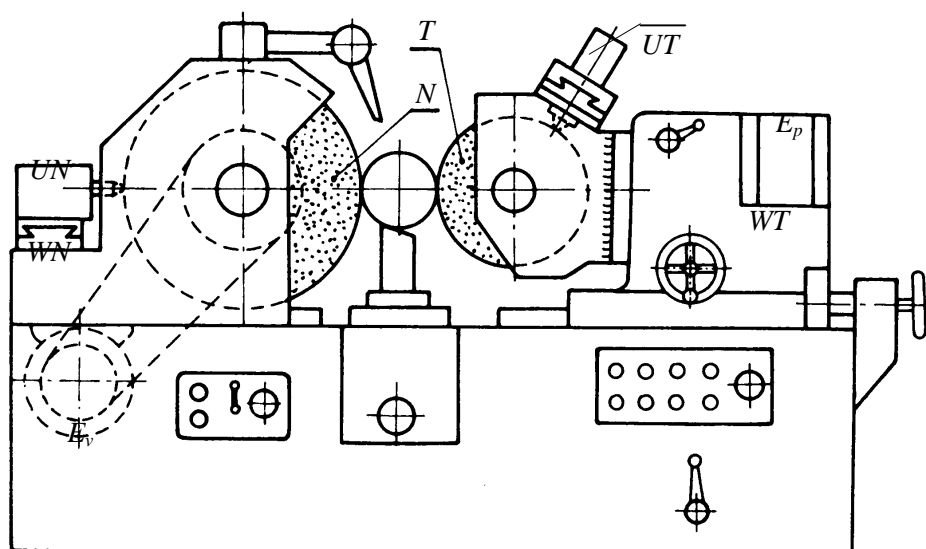
gdzie: v_T , d_T , n_T - prędkość obwodowa, średnica i prędkość obrotowa tarczy prowadzącej T ,

α - kąt skrócenia osi tarczy prowadzącej.

Prędkość obwodowa ściernicy roboczej wynosi $30 \div 40$ [m/s], a tarczy prowadzącej $10 \div 50$ [m/min].

W przypadku szlifowania wgłębego (poprzecznego) przedmiot nie wykonuje posuwu wzdłużnego i może mieć położenie ustalone zderzakiem, do którego jest lekko dociskany przez skróconą o kąt $\alpha = 0.5 \div 1^\circ$ tarczę prowadzącą.

Budowę szlifierki bezkłowej przedstawiono na rys. 3.51.



Rys. 3.51. Szlifierka bezkłowa do wałków

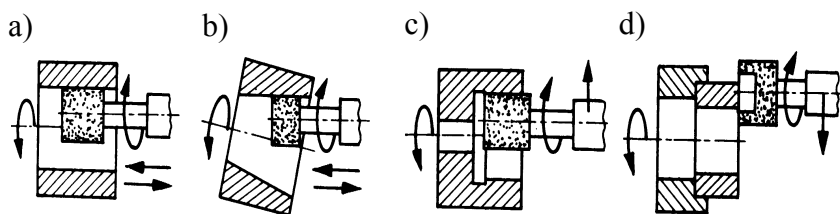
W szlifierkach tych ściernica robocza N i tarcza prowadząca T mają niezależne napędy od silników E_v i E_p , przy czym tarcza prowadząca ma regulowaną prędkość obrotową.

Wrzeciennik ściernicy WN i wrzeciennik tarczy prowadzącej WT mogą być przesuwane poprzecznie i są wyposażone w oddzielne urządzenia do obciągania ściernicy roboczej UN i tarczy prowadzącej UT . Podczas obciągania tarczy prowadzącej wykonuje się lekko wklęsły zarys, aby zapewnić jej liniowy styk z przedmiotem (ze względu na pochylenie osi pod kątem α).

3.9.4. Szlifierki do otworów

Przeznaczeniem szlifierek do otworów jest wykańczająca obróbka otworów walcowych i stożkowych oraz powierzchni czołowych szlifowanych przedmiotów.

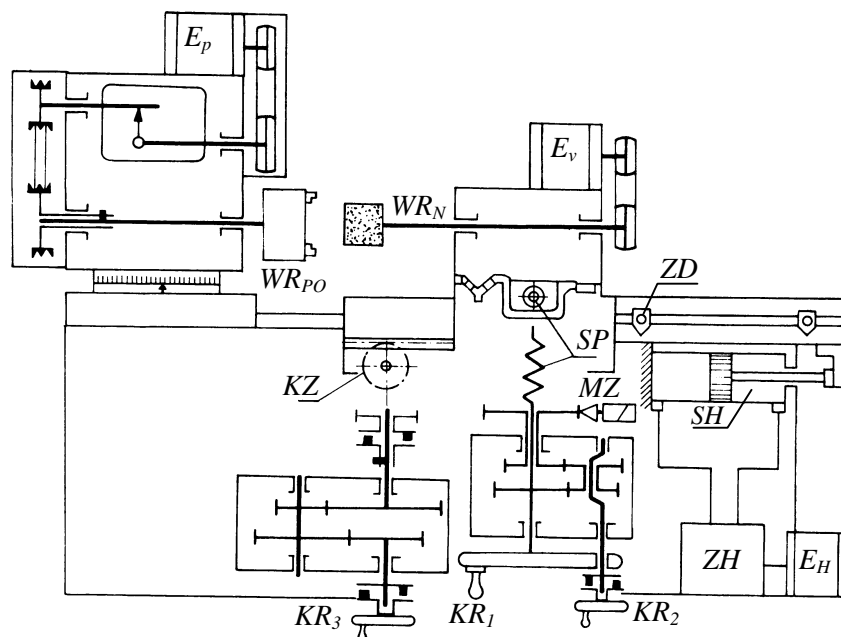
Przykłady zabiegów obróbkowych wykonywanych na szlifierkach do otworów pokazano na rys. 3.52.



Rys. 3.52. Przykłady zabiegów wykonywanych na szlifierkach do otworów:
a) szlifowanie otworu cylindrycznego przelotowego, b) szlifowanie otworu stożkowego, c) szlifowanie otworu cylindrycznego nieprzelotowego, d) szlifowanie czoła przedmiotu

Ruch główny wykonuje ściernica osadzona na trzpieniu zamocowanym we wrzecionie ściernicy, natomiast ruch posuwowy obwodowy - przedmiot obrabiany zamocowany w uchwycie osadzonym na końcówce wrzeciona przedmiotu.

Najczęściej są stosowane szlifierki uniwersalne i produkcyjne. Budowę szlifierki uniwersalnej do otworów przedstawiono na rys. 3.53.



Rys. 3.53. Szlifierka uniwersalna do otworów

W szlifierce tej wrzeciono ściernicy WR_N jest napędzane szybko-
bieżną przekładnią pasową, a jego ruch wzdlużny jest uzyskiwany za
pomocą siłownika hydraulicznego SH o nastawianej zderzakami ZD dłu-
gości drogi.

Przesuwu poprzecznego wrzeciennika ściernicy można dokonać za
pomocą mechanizmu zapadkowego MZ uruchamianego elektromagne-
sem lub ręcznego pokrętła KR_1 . Pokrętło KR_2 służy do zazębiania kół na
wałku mimośrodowym w przypadku dosuwu okresowego od mechani-
zmu zapadkowego.

Stół ma również napęd ręczny od pokrętła KR_3 przez kolejne prze-
kładnie zębate i przekładnię zębatkową KZ .

Wrzeciono przedmiotu WR_{PO} jest napędzane od silnika E_p poprzez
stopniowy lub bezstopniowy napęd pasowy.

Do szlifierek do otworów zalicza się także:

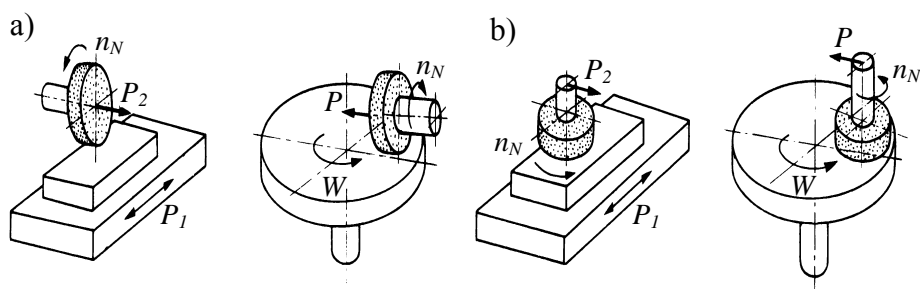
- szlifierek obiegowe (planetarne),
- szlifierek bezuchwytowe.

W szlifierkach obiegowych (planetarnych) przedmiot jest nierucho-
my, natomiast wszystkie ruchy związane z kształtowaniem powierzchni
otworu wykonuje ściernica.

Szlifierki bezuchwytowe - podobnie jak szlifierek bezkół do wał-
ków - są przeznaczone do obróbki przedmiotów bez zamocowania ich
w uchwytach.

3.9.5. Szlifierek do płaszczyzn

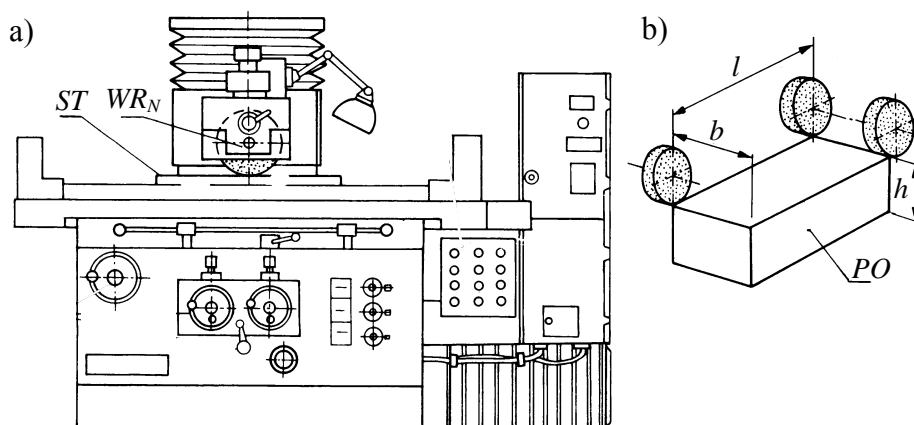
Szlifierki do płaszczyzn są przeznaczone do wykańczającej obróbki po-
wierzchni płaskich lub kształtowych z zastosowaniem ściernic pracują-
cych powierzchnią obwodową lub czołową (rys. 3.54).



Rys. 3.54. Metody kształtowania płaszczyzn: a) powierzchnią obwodową,
b) powierzchnią czołową

Większą dokładność obróbki zapewnia szlifowanie obwodowe, większą zaś wydajność obróbki - szlifowanie czołowe.

Do najbardziej rozpowszechnionych odmian szlifierek do płaszczyzn należą szlifierki ze stołem prostokątnym przystosowane do szlifowania obwodowego (rys. 3.55).



Rys. 3.55. Szlifierka do płaszczyzn ze stołem prostokątnym

W większości takich szlifierek stół *ST* wykonuje jedynie przesuw wzdłużny, natomiast przesuw poprzeczny i pionowy - wrzeciono ściernicy.

Szlifowane przedmioty są mocowane na stole uchwytem magnetycznym.

3.9.6. Szlifierki ostrzarki

Szlifierki ostrzarki są przeznaczone do kształtowania prawidłowej geometrii i żądanej jakości powierzchni ostrzom narzędzi skrawających, które uległy stępieniu podczas użytkowania.

Rozróżnia się szlifierki ostrzarki określonej grupy narzędzi, np. noży, wiertła, przeciągacze itp. Najszersze zastosowanie mają ostrzarki uniwersalne, przeznaczone głównie do ostrzenia narzędzi wieloostrowych, takich jak frezy, gwintowniki, rozwiertaki.

Ostrzarki uniwersalne odznaczają się dużą liczbą ruchów nastawczych ściernicy względem obrabianego przedmiotu. Dzięki temu możliwe jest ostrzenie na nich narzędzi o różnorodnych kształtach.

3.9.7. Obrabiarki do oselkowania i docierania

Obrabiarki do oselkowania i docierania służą do obróbki powierzchni, które powinny odznaczać się dużą dokładnością wymiarowo-kształtową (w klasach $IT\ 2\div 4$) oraz małą chropowatością ($R_a = 0.16\div 0.01\ [\mu m]$).

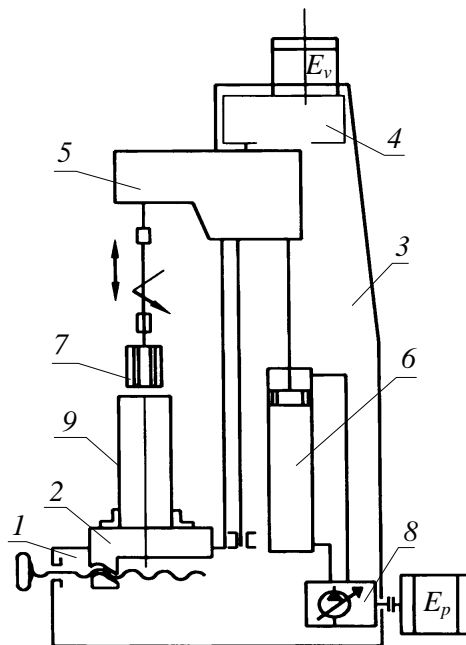
Obrabiarek do oselkowania - oselkownic używa się do wykańczającej obróbki otworów lub wałków z zastosowaniem drobnoziarnistych oselek osadzanych w specjalnych głowicach. Głowice te są tak zbudowane, że zapewniają odpowiedni docisk oselek do obrabianej powierzchni.

Rozróżnia się:

- oselkownice o dużym skoku, nazywane honownicami,
- oselkownice oscylacyjne.

• Honownice

Honownice są przeznaczone do wykańczającej obróbki otworów za pomocą głowicy z wysuwnymi osełkami. Honownice są budowane w układzie pionowym jako jedno- lub wielowrzecionowe. Budowę honownicy jednowrzecionowej pokazano na rys. 3.56.



Rys. 3.56. Honownica

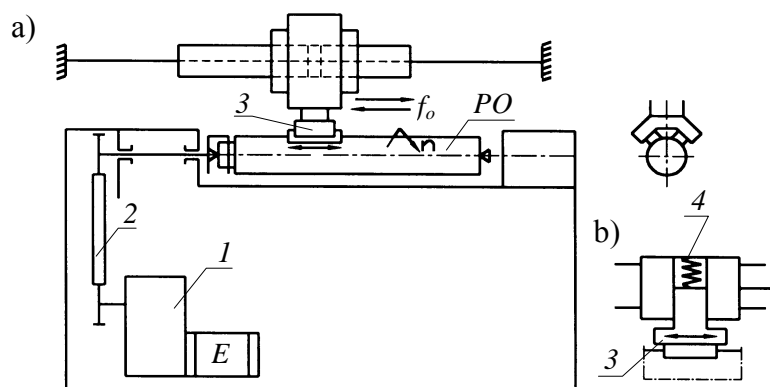
Honownica składa się z podstawy 1, stołu 2 do mocowania przedmiotu 9, stojaka 3 połączonego z podstawą, w którym jest osadzona skrzynka prędkości 4, przesuwne pionowo na prowadnicach stojaka wrzecienika 5, siłownika 6 napędu ruchu prostoliniowo-zwrotnego głowicy narzędziowej 7, układu hydraulicznego 8.

Głowica narzędziowa 7 jest zamocowana przegubowo we wrzecionie wykonującym ruch obrotowy z prędkością $60 \div 125$ [obr/min] i ruch prostoliniowo-zwrotny z prędkością około 10 [m/min].

Honownice stosuje się głównie w przemyśle silnikowym i motoryzacyjnym do dokładnej obróbki otworów w blokach cylindrowych.

• Osełkownice oscylacyjne

Osełkownice oscylacyjne są przeznaczone do wykonywania powierzchni obrotowych zewnętrznych lub płaskich. W osełkownicy oscylacyjnej do wałków (rys. 3.57) przedmiot jest zamocowany w kłach i obraca się z prędkością obrotową $100 \div 300$ [obr/min], otrzymując ruch obrotowy od silnika *E* przez skrzynkę prędkości 1 i przekładnię pasową 2.



Rys. 3.57. Osełkownica oscylacyjna: a) widok obrabiarki, b) głowica dogładzająca

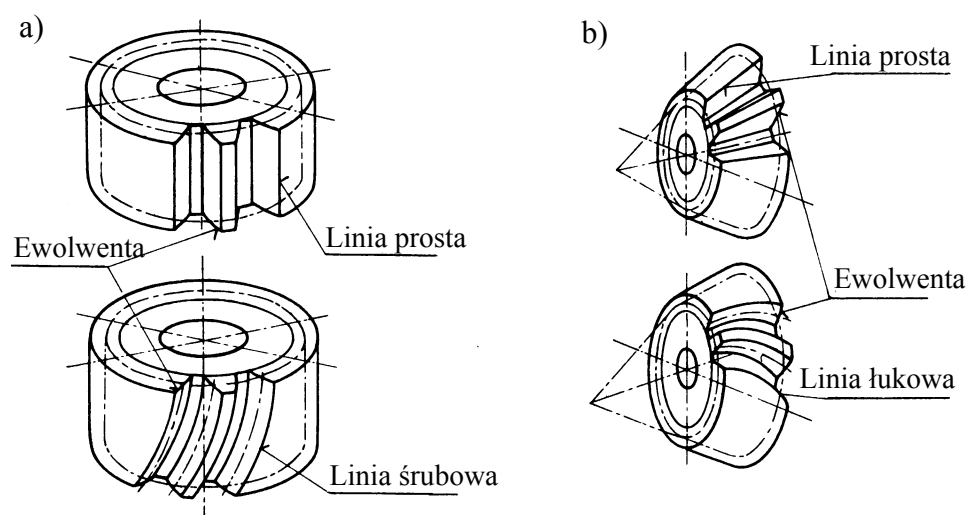
Stół wraz z przedmiotem obrabianym wykonuje ruch posuwowy ($f = 0.1$ [mm/obr] dla stali), a głowica dogładzająca 3 otrzymuje ruch oscylacyjny f_o o małej amplitudzie ($2 \div 6$ [mm]) i dużej częstotliwości ($5 \div 10$ [Hz]) od krzywki czołowej, napędzanej oddzielnym silnikiem. Docisk głowicy dogładzającej do przedmiotu obrabianego powoduje sprężyna 4.

3.10. Obrabiarki do uzębień

3.10.1. Charakterystyczne cechy kształtowania uzębień

Obrabiarki do uzębień są przeznaczone do wykonywania uzębień kół walcowych, stożkowych i ślimacznic.

Powierzchnia zęba jest określona ewolwentowym zarysem (*I* linia charakterystyczna) oraz prostą lub krzywą linią zęba (*II* linia charakterystyczna), jak to pokazano na rys. 3.58.



Rys. 3.58. Koła zębate: a) walcowe z zębami prostymi i śrubowymi,
b) stożkowe z zębami prostymi i łukowymi

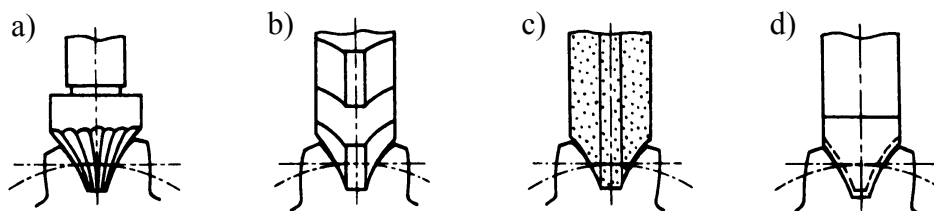
Podstawowy podział obrabiarek do uzębień zależy od zastosowanego narzędzia skrawającego. Stąd też rozróżnia się obrabiarki do obróbki uzębień metodą kształtową lub obwiedniową.

- **Metoda kształtowa**

Zastosowanie narzędzi kształtowych (rys. 3.59) umożliwia wykonanie zarysu zęba bez udziału ruchu kształtowania, co znacznie upraszcza budowę układu roboczego obrabiarki. Z powodu jednakże trudności wykonawczych narzędzia takie są stosunkowo drogie. Ponadto kształt ich zarysu roboczego zależy od modułu, liczby zębów i kąta przyporu wykonywanego uzębienia.

Jeśli można przyjąć, że kąt przyporu jest stały i najczęściej $\alpha = 20^\circ$, to moduł i liczba zębów są wielkościami zmiennymi. Stąd też dla konkretnych wartości modułu i liczby zębów należałoby wykonywać oddzielne narzędzie o zarysie ewolwentowym odpowiadającym wartościom tych parametrów.

Z tych względów stosowanie narzędzi kształtowych w przypadku niewielkiej liczbowo produkcji kół zębatych jest nieopłacalne. Poza tym narzędzia kształtowe nie mogą być używane do obróbki uzębień kół stożkowych, gdyż ich zarys zmienia się wzdłuż linii zęba (zmienia się moduł).



Rys. 3.59. Narzędzia do obróbki kształtowej uzębień: a) frez palcowy, b) frez krążkowy, c) ściernica, d) nóż strugarski

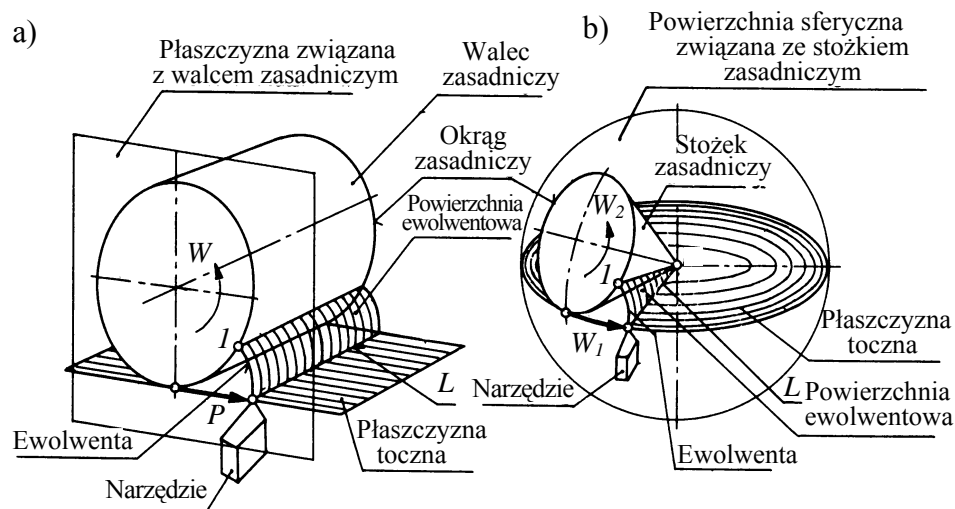
W celu ograniczenia liczby narzędzi dla określonego modułu i liczby zębów koła obrabianego ustalono pewne zespoły narzędzi o numerach odpowiadających pewnemu zakresowi zębów.

Dobór numeru freza z danego kompletu zależy od liczby zębów koła obrabianego. W przypadku obróbki zębów śrubowych zależy od tzw. zastępczej liczby zębów $z_z = z / \cos^3 \beta$ (z , β - liczba i kąt pochylenia zębów).

• Metoda obwiedniowa

W porównaniu z narzędziami kształtowymi narzędzia do obróbki obwiedniowej są łatwiejsze do wykonania, gdyż mają zazwyczaj prostoliniowe krawędzie skrawające. Przeciwnie niż w metodach kształtowych jedno narzędzie obwiedniowe o określonym module i kącie przyporu może obrabiać uzębienia kół o dowolnej liczbie zębów.

Aby za pomocą narzędzi obwiedniowych ukształtować ewolwentowy zarys uzębienia, obrabiarka musi być wyposażona w mechanizm ruchu tocznego. Mechanizm taki jest kinematycznie równoważny z modelem ruchu toczenia się bez poślizgu walca lub stożka zasadniczego obrabianego koła po płaszczyźnie tocznej (rys. 3.60).



Rys. 3.60. Powstawanie ewolwentowego zarysu i boku zęba w wyniku ruchu tocznego: a) walca i płaszczyzny, b) stożka i płaszczyzny

Ruch toczny składa się z ruchu obrotowego W i prostoliniowego P lub z dwóch składowych ruchów obrotowych W_1 i W_2 .

Ponieważ walec i stożek zasadniczy są powierzchniami związanymi z obrabianym kołem, więc we wszystkich obrabiarkach do uzębień jeden ze składowych ruchów jest zawsze ruchem wokół osi obrabianego koła. Natomiast drugim ruchem składowym, w przypadku obróbki kół walcowych jest ruch prostoliniowy płaszczyzny tocznej lub osi walca, a w przypadku obróbki kół stożkowych ruch obrotowy płaszczyzny tocznej wokół jej osi.

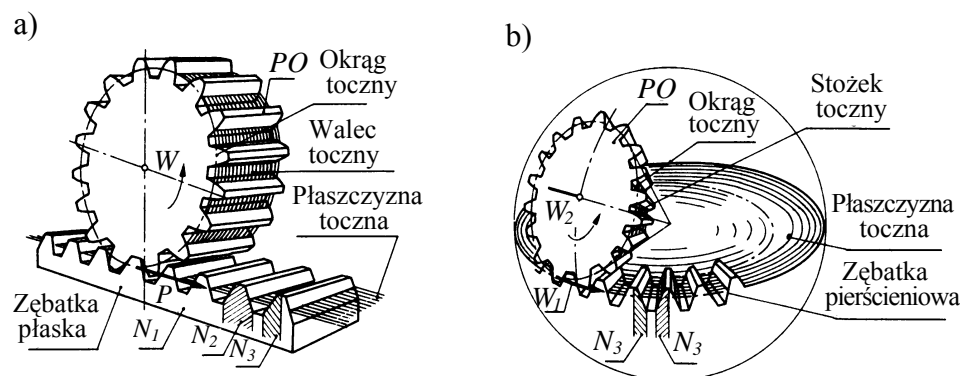
W wyniku ruchu toczenia się leżący na płaszczyźnie tocznej punkt I zakreśla na płaszczyźnie związanej z okręgiem zasadniczym walca ewolwentę płaską, a na powierzchni sferycznej (kuli) związanej z okręgiem zasadniczym stożka ewolwentę sferyczną. W analogiczny sposób leżąca na płaszczyźnie tocznej linia L zakreśla w przestrzeni ewolwentową powierzchnię boku zęba.

Podczas kształtowania uzębienia na obrabiarce narzędzie przemieszcza się wzdłuż linii zęba i wykonuje wraz z płaszczyzną toczną jej składowy ruch odtaczania.

Taki model ruchu tocznego, związany ze sposobem powstawania ewolwenty jako linii odwijanej z walca lub stożka zasadniczego, ma jednak tę wadę technologiczną, że wymaga zastosowania narzędzia kształtującego ewolwentę tylko wierzchołkiem ostrza, co ogranicza pełne wykorzystanie całej krawędzi skrawającej narzędzia.

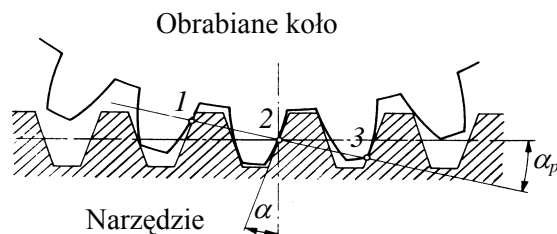
Aby umożliwić obróbkę uzębień narzędziami, które podczas ruchu tocznego kształtują ewolwentę kolejnymi punktami krawędzi, ruch toczny powinien się odbywać się na walcach lub stożkach tocznych o średnicach odpowiednio większych od średnic walców lub stożków zasadniczych.

W takim stosowanym powszechnie rozwiązaniu mechanizm ruchu tocznego można rozpatrywać jako model toczenia się walca lub stożka tocznego obrabianego koła po płaszczyźnie tocznej zębatego płaskiego lub pierścieniowego, jak to pokazano na rys. 3.61.



Rys. 3.61. Model kształtowania uzębienia oparty na współpracy obrabianego koła zębatką: a) w przypadku koła walcowego i zębatego płaskiego, b) w przypadku koła stożkowego i zębatego pierścieniowego

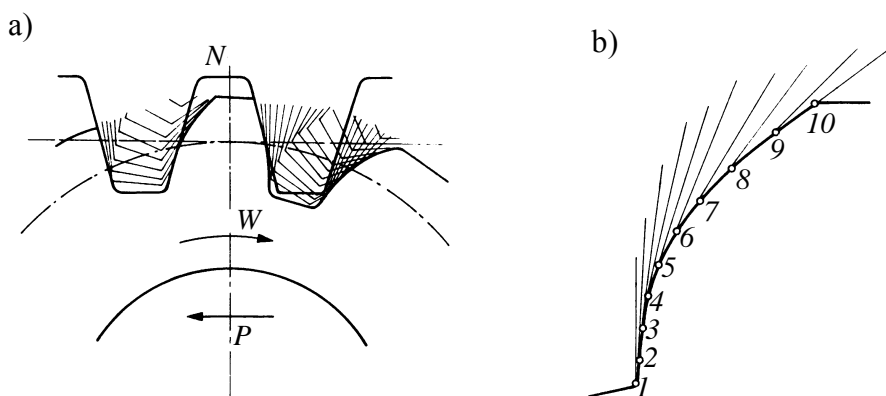
W praktycznym zastosowaniu tego modelu w obrabiarkach zęby zębatego płaskiego lub pierścieniowego są zastępowane krawędziami skrawającymi narzędzi obwodniowych $N_1 \div N_3$. Narzędzia takie podczas ruchu tocznego stykają się z obrabianą powierzchnią zębów wzdłuż linii przy-
poru (rys. 3.62).



Rys. 3.62. Współpraca narzędzia z obrabianym kołem zębatym

W punktach 1, 2, 3 leżących na linii przyporu następuje chwilowy styk zarysu narzędzia (zębatki) z kształtowanym uzębieniem koła.

W wyniku ruchu tocznego ewolwentowy zarys uzębienia powstaje jako obwiednia położów (1÷10) krawędzi skrawających narzędzia, jak to przedstawiono na rys. 3.63.



Rys. 3.63. Powstawanie ewolwentowego zarysu boku zęba: a) położenie zarysu uzębienia zębatki podczas ruchu odtaczania, b) zarys boku zęba jako obwiednia położów krawędzi skrawającej narzędzia - zębatki

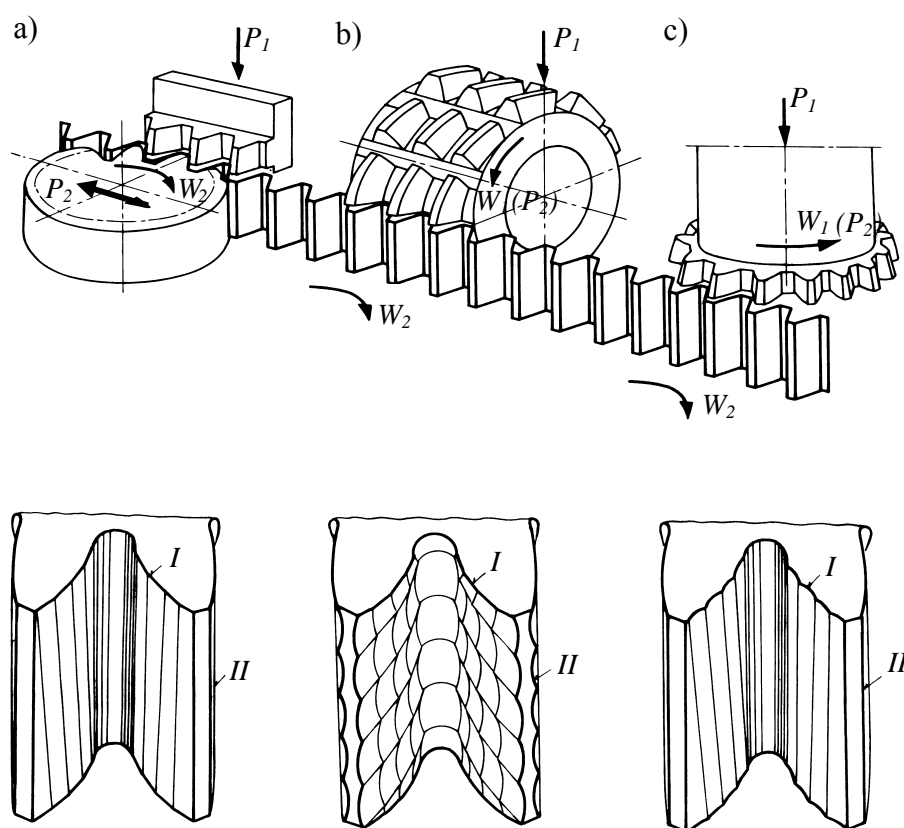
Liniami zębów kół walcowych są prawie wyłącznie linie proste lub śrubowe. Linie te powstają w wyniku prostego (prostoliniowego) lub złożonego (śrubowego) ruchu kształtowania.

Liniami zębów kół stożkowych mogą być linie proste, śrubowe, łuki kół, linie ewolwentowe oraz epicykloidalne, których sposób ukształtowania jest uzależniony od rodzaju zastosowanego narzędzia. Najczęściej są stosowane koła o prostej lub łukowo-kołowej linii zębów.

Obróbka uzębień może się odbywać metodą ciągłą lub nieciągłą. W przypadku obróbki nieciągłej, tzn. gdy wykonywanie kolejnego zęba rozpoczyna się po wykonaniu zęba poprzedniego, obrabiarka musi być wyposażona w mechanizm ruchu podziałowego.

3.10.2. Metody obróbki uzębień kół walcowych

Podstawową grupę obrabiarek do uzębienia kół walcowych stanowią obrabiarki pracujące metodą obwiedniową. Występujące ruchy kształtowania zarysu (*I* linii charakterystycznej) i linii zęba (*II* linii charakterystycznej) dla głównych metod obwiedniowej obróbki uzębienia walcowych przedstawiono poglądowo na rys. 3.64.



Rys. 3.64. Kształtowanie zarysu i linii zęba na: a) dłutownicy Maaga, b) frezarce obwiedniowej, c) dłutownicy Fellowsa

Do obrabiarek tych zalicza się:

- dłutownice Maaga, $I(P_2-W_2)$, $II(P_I)$,
- frezarki obwiedniowe, $I(W_I-W_2)$, $II(P_I)$,
- dłutownice Fellowsa, $I(W_I-W_2)$, $II(P_I)$.

Obrabiarki przeznaczone do wykonywania uzębień metodą kształtową mają dość ograniczone zastosowanie. Zalicza się do nich przede wszystkim specjalne dłutownice i przeciągarki służące do masowej obróbki uzębień w przemyśle motoryzacyjnym.

Uzębienia można też wykonywać frezami modułowymi krążkowymi na frezarce wspornikowej uniwersalnej z zastosowaniem podzielnicy.

3.10.3. Dłutownice Maaga

Dłutownice Maaga są przeznaczone do obróbki uzębień o prostej i śrubowej linii zębów z zastosowaniem narzędzi w postaci noży zębatkowych.

Schemat kinematyczny dłutownicy Maaga przedstawiono na rys. 3.65. Ruch toczny W_2-P_2 wykonuje przedmiot obrabiany mocowany na stole. Parę roboczą narzędzie-przedmiot obrabiany pod względem kinematycznym rozpatruje się jak przekładnię zębatkową, dla której można zapisać równanie: $PO \rightarrow PO$

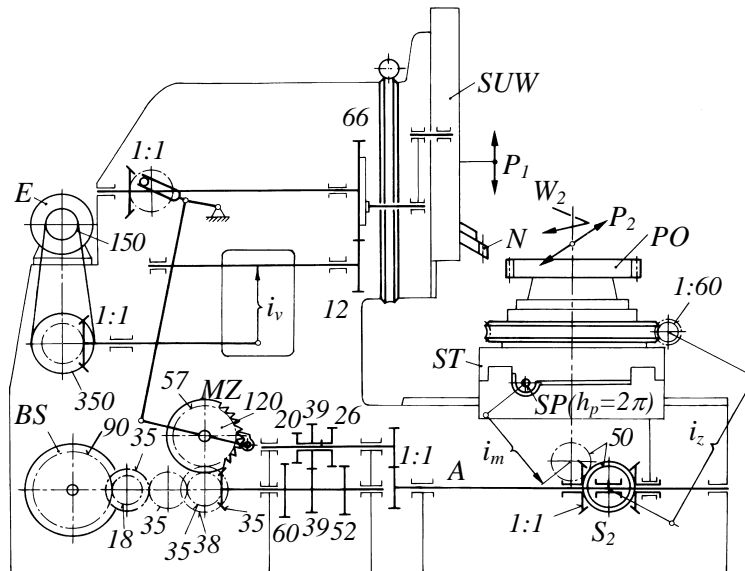
$$\varphi_{PO} [obr] \cdot \pi m z \left[\frac{mm}{obr} \right] = l_{PO} [mm]$$

$$\text{jeżeli } \varphi_{PO} = l [obr] \rightarrow l_{PO} = \pi m z [mm]$$

gdzie: m, z - moduł i liczba zębów obrabianego koła.

Ruch odtaczania jest ruchem przerywanym i odbywa się podczas powrotnego ruchu narzędzia. Ruch ten jest uzyskiwany od mechanizmu zapadkowego MZ .

Ruch główny, który wykonuje narzędzie, jest jednocześnie ruchem kształtowania linii zęba P_I . Podczas obróbki uzębień o linii śrubowej prowadnice suwaka narzędziowego SUW są pochylone w stosunku do osi obrabianego przedmiotu o kąt pochylenia linii śrubowej zębów β .



Rys. 3.65. Dłutownica Maaga

Przebieg łańcuchów kinematycznych można zapisać następującymi równaniami:

- Łańcuch prędkości skrawania: $E \rightarrow N$

$$n_E \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \cdot \frac{150}{350} \cdot \frac{1}{1} \cdot i_v \cdot \frac{12}{66} \cdot I \left[\frac{\text{p.sk}}{\text{obr}} \right] = n_N \left[\frac{\text{p.sk}}{\text{min}} \right] = \frac{1000v}{2H}$$

stąd $i_v = C_1 \cdot \frac{v}{H}$, C_1 - stała wartość przełożeń,

gdzie: v - prędkość skrawania, $[m/min]$,
 H - skok narzędzia, $[mm]$.

- Łańcuch ruchu odtaczania: $PO \rightarrow PO$

$$\pi m_c z [mm] \cdot \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\text{obr}}{mm} \right] \cdot i_l \cdot \frac{1}{60} = l [\text{obr}]$$

stąd $i_l = i_m \cdot i_z = C_2 \cdot \frac{\cos \beta}{m \cdot z}$, $C_2 = 120$

gdzie: m , z , β - moduł normalny, liczba zębów i kąt pochylenia linii zębów obrabianego koła,

m_c - moduł czołowy ($m_c = m/\cos\beta$).

Przełożenie i_l jest realizowane na dwóch oddzielnych przekładniach gitarowych i_m i i_z . Przyjmując, że przełożenie i_z jest funkcją tylko liczby zębów z , można je wyznaczyć z warunku określającego związek między obrotem bębna sterującego cyklem pracy BS oraz obrotem przedmiotu obrabianego. Wiedząc, że w czasie części roboczej cyklu bęben sterujący obraca się o $0.4[obr]$, można zapisać równanie: $BS \rightarrow PO$

$$0.4[obr] \cdot \frac{90}{18} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{39}{39} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{1} \cdot i_z \cdot \frac{1}{60} = \frac{1}{z}[obr]$$

stąd $i_z = C_3 \cdot \frac{1}{z}$, $C_3 = 30$

oraz $i_m = i_l / i_z = C_4 \cdot \frac{\cos\beta}{m}$, $C_4 = 4$

- Łańcuch posuwu obwodowego: $N \rightarrow PO$

Droga odtoczenia przypadająca na podwójny skok narzędzia jest wartością posuwu obwodowego $f_o[mm]$ mierzonego na okręgu podziałowym koła i nastawianego na mechanizmie zapadkowym według zależności:

$$1p.sk \cdot l \left[\frac{obr}{p.sk} \right] \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{x}{120} \cdot \frac{57}{38} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{39}{39} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{1}{i_m} \cdot 2\pi \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_o[mm]$$

stąd $x = C_5 \cdot \frac{f_o \cos\beta}{m}$, $C_5 \approx 50$

gdzie: x - nastawiana liczba zębów na kole zapadkowym.

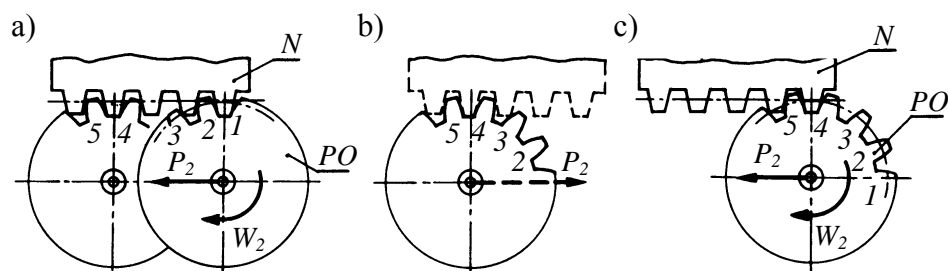
Ponieważ narzędzie ma ograniczoną długość, zatem obróbka przebiega w kolejnych cyklach obejmujących obróbkę jednego lub kilku zębów. Długość drogi odtaczania zależy od doboru przełożenia trójki przesuwnej zgodnie z zależnościami:

$\frac{39}{39} \rightarrow \varphi_{PO} = \frac{1}{z} [\text{obr}]$ - obróbka w cyklu 1 zęba

$\frac{52}{26} \rightarrow \varphi_{PO} = \frac{2}{z} [\text{obr}]$ - obróbka w cyklu 2 zębów

$\frac{60}{20} \rightarrow \varphi_{PO} = \frac{3}{z} [\text{obr}]$ - obróbka w cyklu 3 zębów

Cykl obróbkowy (rys. 3.66) jest sterowany bębnem sterującym *BS* (rys. 3.65), który zmienia kierunek ruchu odtaczania P_2 , wyłącza składowy ruch odtaczania W_2 podczas wycofywania przedmiotu do położenia wyjściowego oraz powoduje zatrzymanie narzędzia w górnym położeniu w czasie wycofywania przedmiotu.



Rys. 3.66. Cykl obróbkowy jednego zęba: a) obróbka zęba podczas ruchu tocznego P_2 - W_2 , b) zmiana kierunku odtaczania i ruch powrotny P_2 (ruch podziałowy), c) obróbka kolejnego zęba

3.10.4. Dłutownice Fellowsa

Dłutownice obwiedniowe Fellowsa są przeznaczone w zasadzie do obróbki uzębień prostoliniowych, natomiast obróbka uzębień śrubowych jest możliwa tylko wtedy, gdy obrabiarka zostanie wyposażona w specjalny mechanizm kształtowania linii śrubowej.

Cenną zaletą dłutownic Fellowsa jest możliwość obróbki uzębień wewnętrznych oraz innych powierzchni wewnętrznych o złożonych zarysach.

Charakterystyczną cechą kształtowania uzębienia na dłutownicach Fellowsa jest zastosowanie narzędzia w postaci noża krążkowego, nazywanego dłutakiem modułowym.

Ruch toczny jest uzyskiwany jako wynik składowych ruchów obrotowych W_1 i W_2 , wykonywanych przez narzędzie i obrabiane koło, co umożliwia ciągłą obróbkę uzębienia bez stosowania ruchu podziałowego.

Parę roboczą narzędzie-przedmiot obrabiany pod względem kinematycznym można rozpatrywać jak przekładnię zębatą, dla której można zapisać równanie: $N \rightarrow PO$

$$\varphi_N [\text{obr}] \cdot \frac{z_N}{z} = \varphi_{PO} [\text{obr}]$$

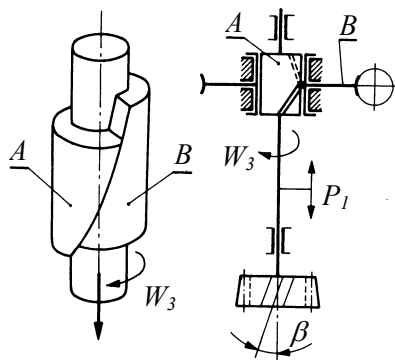
$$\text{jeżeli } \varphi_N = l[\text{obr}] \rightarrow \varphi_{PO} = \frac{z_N}{z} [\text{obr}]$$

gdzie: z_N, z - liczba zębów narzędzia i obrabianego koła.

Ruch odtaczania jest ruchem ciągłym, ponieważ podczas powrotnego ruchu narzędzia przedmiot jest odsuwany.

Ruch główny jest jednocześnie ruchem kształtowania linii zęba P_1 . Podczas obróbki uzębienia o linii śrubowej na wrzeciono narzędziowe jest zakładany specjalny segment śrubowy $A-B$, który podczas ruchu P_1 powoduje powstanie dodatkowego ruchu obrotowego W_3 (rys. 3.67).

W zależności od kąta pochylenia linii śrubowej zęba β dobiera się segment $A-B$ oraz narzędzie o takim samym kącie pochylenia.



Rys. 3.67. Prowadnice śrubowe wrzeciona: A - segment połączony z wrzecionem, B - segment połączony ze ślimacznica

[illegible]

Przebieg łańcuchów kinematycznych można zapisać następującymi równaniami:

$$n_E \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot \frac{100}{310} \cdot \frac{25}{25} \cdot i_v \cdot l \left[\frac{p.sk}{obr} \right] = n_N \left[\frac{p.sk}{min} \right] = \frac{1000v}{2H}$$

gdzie: v - prędkość skrawania, $[m/min]$,
 H - skok narzędzia, $[mm]$.

- Łańcuch ruchu odtaczania: $N \rightarrow PO$

$$l[obr] \cdot \frac{90}{l} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{35}{35} \cdot i_l \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{1}{90} = \frac{z_N}{z} [obr]$$

stąd $i_l = C_2 \frac{z_N}{z}, \quad C_2 = 1$

gdzie: z_N, z - liczba zębów narzędzia i koła obrabianego,
 m - moduł zębów narzędzia i koła obrabianego.

- Łańcuch posuwu obwodowego: $N \rightarrow PO$

Droga odtoczenia przypadająca na podwójny skok narzędzia jest wartością posuwu obwodowego $f_o[mm]$ mierzonego na okręgu podziałowym koła i nastawianego na przekładni gitarowej według zależności:

$$l[p.sk] \cdot l\left[\frac{obr}{p.sk}\right] \cdot \frac{4}{50} \cdot i_p \cdot i_l \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{1}{90} = \frac{f_o}{\pi m z} [obr]$$

stąd $i_p = C_3 \cdot \frac{f_o}{m \cdot z_N}, \quad C_3 = 358$

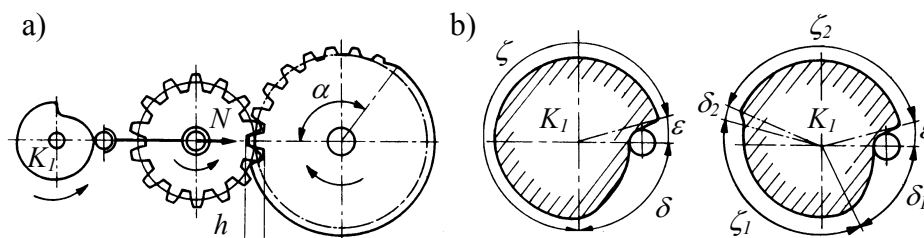
gdzie: f_o - posuw obwodowy, $[mm]$,
 m, z - moduł i liczba zębów obrabianego koła,
 z_N - liczba zębów narzędzia.

Dłutowanie przebiega w cyklu automatycznym, który może być jedno-, dwu- lub trzyprzejęciowy. Cykl jest sterowany za pomocą krzywki K_I napędzanej od przedmiotu obrabianego.

Cykl jednoprzejęciowy (rys. 3.69), stosowany w obróbce kół o niewielkich modułach, obejmuje:

- wcinanie się narzędzia na głębokość uzębienia h - podczas obrotu przedmiotu o kąt α ,
- właściwą obróbkę uzębienia - podczas obrotu przedmiotu obrabianego o kąt $\beta = l[obr]$, z zachowaniem stałej odległości osi narzędzia i przedmiotu,
- wycofanie narzędzia po obróbce - podczas obrotu przedmiotu o kąt γ .

Ruchy te są realizowane przez odpowiednie zarysy krzywki na kątach δ, ξ, ε .



Rys. 3.69. Przebieg cyklu obróbkowego jednoprzęściowego: a) faza wcinania się narzędzia, b) krzywki dla cyklu jedno- i dwuprzęściowego

W przypadku cyklu dwu- lub trzyprzęściowego następuje dwu- lub trzykrotne wcinanie się narzędzia w celu wykonania obróbki zgrubnej i wykańczającej.

W zależności od rodzaju realizowanego cyklu pracy dobiera się odpowiednią krzywkę K_1 oraz odpowiednie przełożenie w trójce przesuwnej, przez co uzyskuje się odpowiedni kąt obrotu przedmiotu w czasie I obrotu krzywki K_1 , a mianowicie: $K_1 \rightarrow PO$

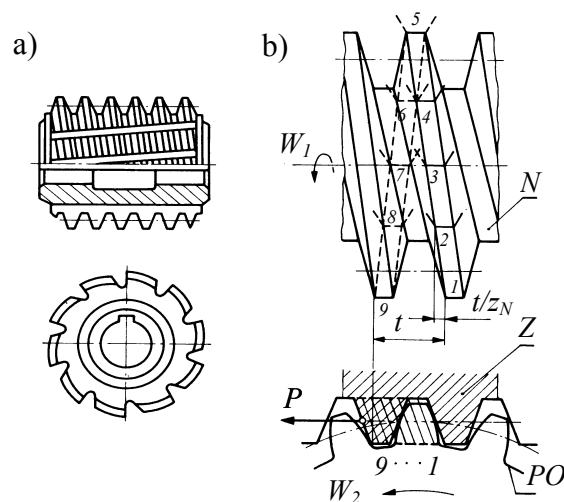
$$I[obr] \cdot \frac{90}{I} \begin{cases} \frac{38}{28} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{1}{90} = 1.35[obr] & \text{- cykl 1-przęściowy} \\ \frac{48}{18} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{1}{90} = 2.66[obr] & \text{- cykl 2-przęściowy} \\ \frac{52}{13} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{1}{90} = 4[obr] & \text{- cykl 3-przęściowy} \end{cases}$$

3.10.5. Frezarki obwiedniowe

Frezarki obwiedniowe są najczęściej stosowaną grupą obrabiarek do uzębień kół walcowych. Są one używane do obróbki kół o zębach prostych i śrubowych oraz ślimacznicy.

Charakterystyczną cechą metody kształtowania uzębienia na frezarkach obwiedniowych jest zastosowanie jako narzędzia freza ślimakowego, którego ostrza są rozmieszczone wzdłuż linii śrubowej zwoju freza.

Ponieważ linia ostrzy freza ślimakowego w przekroju normalnym - tj. prostopadłym do linii zwojów - ma zarys zębatki, więc podczas ruchu obrotowego W_1 zarys ten przesuwa się ruchem prostoliniowym P , jak to przedstawiono na rys. 3.70.



Rys. 3.70. Frez ślimakowy i jego kinematyczne sprzężenie z obrabianym przedmiotem: a) budowa freza, b) kształtowanie zarysu zębów

W celu poprawnego ruchu odtaczania obrabianego koła po zębatce trapezowej oś freza musi być odpowiednio skrzyżowana w stosunku do osi przedmiotu (rys. 3.71).

Koło Frez	z zębami prostymi	z uzębieniem śrubowym	
		prawozwojnym	lewozwojnym
Prawo- zwojny			
Lewo- zwojny			

Rys. 3.71. Ustawienie osi freza ślimakowego w stosunku do obrabianego przedmiotu: γ - kąt wzniosu linii śrubowej zwojów freza, β - kąt pochylenia linii śrubowej zęba koła obrabianego

Oś freza musi być tak ustawiona, aby linia jego zwojów stanowiła przedłużenie linii zęba obrabianego koła. Wtedy w przekroju prostym do linii zęba występuje zębatka trapezowa narzędzia. Wadliwe ustawienie osi freza spowoduje błąd nominalnego kąta zarysu zębów.

Na ogół przyjmuje się zgodne kierunki zwojów freza i zębów koła obrabianego, przeciwne kierunki można przyjmować, jeżeli kąt $\beta < 20^\circ$.

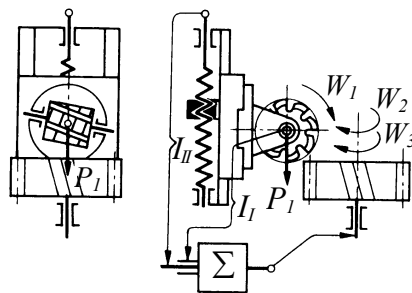
Parę roboczą narzędzie-przedmiot obrabiany pod względem kinematycznym można rozpatrywać jak przekładnię ślimakową, dla której można zapisać równanie: $N \rightarrow PO$

$$\varphi_N [\text{obr}] \cdot \frac{k}{z} = \varphi_{PO} [\text{obr}]$$

$$\text{jeżeli } \varphi_N = 1 [\text{obr}] \rightarrow \varphi_{PO} = \frac{k}{z} [\text{obr}]$$

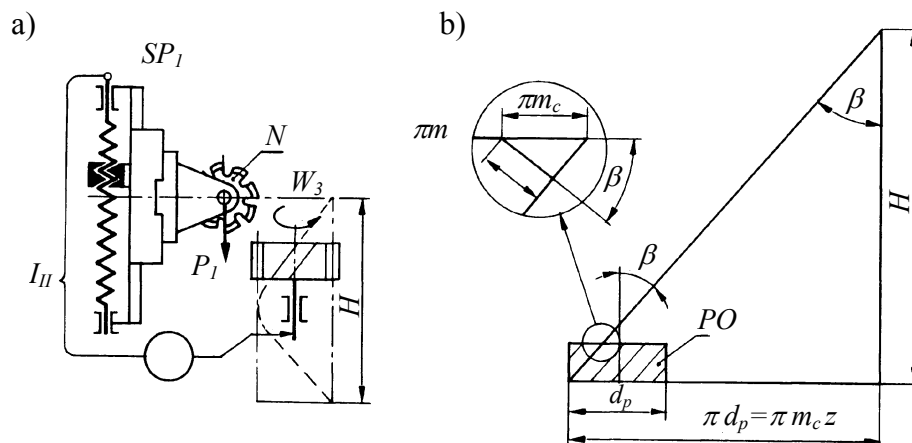
gdzie: k - krotność freza ślimakowego,
 z - liczba zębów obrabianego koła.

Kształtowanie linii zębów zależy od tego, czy frezarka obwiedniowa jest zbudowana w układzie kształtowania $E-S$ (ewolwenta-linia śrubowa), czy w układzie $E-P$ (ewolwenta-linia prosta). Najszerze zastosowanie mają frezarki obwiedniowe budowane w układzie $E-S$. W układzie tym frezarka ma posuw pionowy P_I równoległy do osi przedmiotu i kształtowanie linii śrubowej odbywa się za pomocą złożonego ruchu śrubowego P_I-W_3 (rys. 3.72).



Rys. 3.72. Kształtowanie zarysu i linii zębów w układzie $E-S$

W układzie tym w celu uzyskania linii śrubowej zęba spręga się przemieszczenie posuwu pionowego P_I z dodatkowym obrotem przedmiotu W_3 (rys. 3.73).



Rys. 3.73. Kształtowanie linii śrubowej w układzie *E-S*: a) łańcuch kształtowania, b) rozwinięcie linii śrubowej

Kształtowanie linii śrubowej jest realizowane według zależności:
 $N \rightarrow PO$

$$H [mm] \rightarrow l [obr]$$

gdzie: H - skok linii śrubowej zębów.

Mając parametry geometryczne koła, skok linii śrubowej można obliczyć z zależności:

$$\frac{\pi d_p}{H} = \tan \beta \rightarrow H = \frac{\pi d_p}{\tan \beta}$$

Wiedząc, że $d_p = m_c \cdot z$ oraz $m_c = \frac{m}{\cos \beta}$, otrzymuje się:

$$H = \frac{\pi m z}{\sin \beta}$$

gdzie: m , z , β - moduł normalny, liczba zębów i kąt pochylenia linii zębów koła obrabianego.

Schemat kinetyczny frezarki obwiedniowej w układzie kształtowania *E-S* przedstawiono na rys. 3.74.

- Łańcuch ruchu odtaczania: $N \rightarrow PO$

$$i_{[obr]} \cdot \frac{64}{16} \cdot \frac{17}{17} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{24}{24} \cdot \frac{46}{46} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{23}{23} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot i_l \cdot \frac{1}{96} = \frac{k}{z} [obr]$$

dla $z < 161 \frac{a_2}{b_2} = \frac{36}{36} = 1$, natomiast dla $z > 161 \frac{a_2}{b_2} = \frac{24}{48} = 0.5$

stąd $i_l = C_2 \cdot \frac{k}{z}$, $C_2 = 24$

lub $i_l = C_3 \cdot \frac{k}{z}$, $C_3 = 48$

gdzie: k - krotność freza,
 z - liczba zębów obrabianego koła.

- Łańcuch kształtowania linii śrubowej zębów: $N \rightarrow PO$

$$\frac{\pi m z}{\sin \beta} [mm] \cdot \frac{1}{10} \left[\frac{obr}{mm} \right] \cdot \frac{30}{5} \cdot \frac{20}{4} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{36}{45} \cdot i_{II} \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{2}{1} \cdot i_l \cdot \frac{1}{96} = i_{[obr]}$$

stąd $i_{II} = C_4 \cdot \frac{\sin \beta}{\pi m k}$, $C_4 = 25$

gdzie: m, β - moduł normalny i kąt pochylenia linii zębów,
 k - krotność freza.

- Łańcuch ruchu posuwowego: $PO \rightarrow N$

Za pomocą łańcucha ruchu posuwowego uzyskuje się posuw pionowy f_p , promieniowy f_r lub styczny f_s narzędzia w zależności od rodzaju obrabianego przedmiotu:

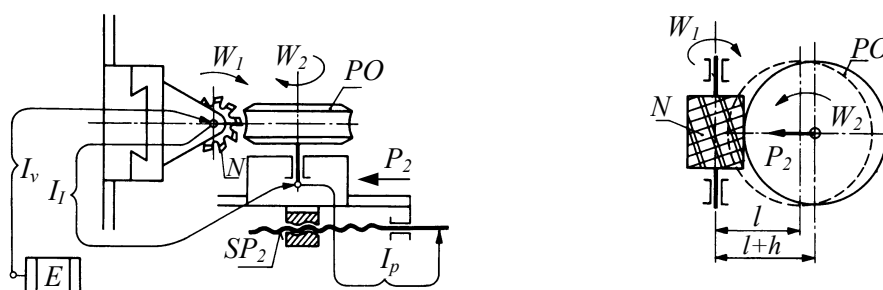
$$\begin{aligned} & \frac{5}{30} \cdot 10 \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_p [mm] \\ i_{[obr]} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{2}{24} \cdot i_p \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{4}{20} & \left\{ \begin{array}{l} \frac{10}{20} \cdot \frac{4}{20} \cdot \frac{10}{25} \cdot \frac{20}{25} 10 \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_r [mm] \\ \frac{16}{16} \cdot \frac{30}{20} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{1}{50} \cdot 5 \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_s [mm] \end{array} \right. \end{aligned}$$

stąd $i_p = C_5 \cdot f_p$, $C_5 = \frac{3}{10}$, $i_p = C_6 \cdot f_r$, $C_6 = \frac{5}{4}$, $i_p = C_7 \cdot f_s$, $C_7 = 1$

• Obróbka ślimacznic

Na frezarkach obwiedniowych można również wykonywać uzębienia ślimacznic metodą promieniową lub styczną.

Obróbka ślimacznic metodą promieniową, tzn. z promieniowym wgłębianiem się narzędzia, wymaga stosowania tylko łańcucha ruchu od-taczania, gdyż zarówno zarys ewolwentowy, jak linia zębów zostają ukształtowane w wyniku ruchu obrotowego W_1 narzędzia oraz ruchu obrotowego W_2 ślimacznicy, jak to pokazano na rys. 3.75.



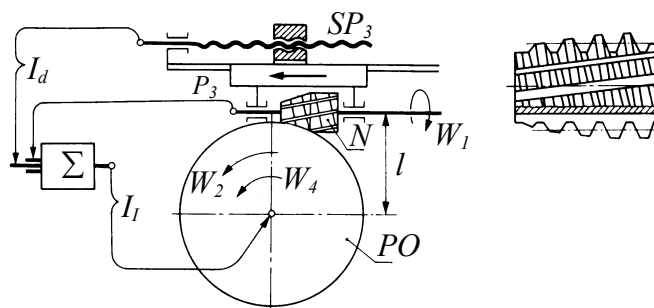
Rys. 3.75. Kształtowanie uzębienia ślimacznicy metodą promieniową

Przełożenie zarówno tego łańcucha, jak też łańcuchów ruchu głównego i posuwu promieniowego, które są niezbędne podczas wykonywania ślimacznicy, jest nastawiane podobnie jak w obróbce kół walcowych.

Podczas obróbki ślimacznic metodą promieniową właściwe kształtowanie uzębienia ślimacznicy następuje dopiero wtedy, gdy oś freza ślimakowego osiągnie właściwą odległość l od osi ślimacznicy (po wcięciu się freza na pełną głębokość uzębienia h).

W przypadku **obróbki ślimacznic metodą styczną** odległość osi freza od osi ślimacznicy jest stała. Wymaga to użycia freza ze stożkowym nakrojem, który umożliwia stopniowe wykonywanie uzębienia z zastosowaniem stycznego przesuwu narzędzia, jak to pokazano na rys. 3.76.

W metodzie stycznej jest konieczne zastosowanie łańcucha kinematycznego ruchu dodatkowego, którego zadaniem jest wprowadzenie dodatkowego ruchu obrotowego obrabianej ślimacznicy W_4 na skutek ruchu stycznego P_3 .



Rys. 3.76. Kształtowanie uzębienia ślimacznicy metodą styczną

Ruch dodatkowy jest uzyskiwany za pomocą nie wykorzystanego w obróbce ślimacznic łańcucha kształtowania linii śrubowej, który w tym przypadku sprzęga ruch styczny P_3 freza z dodatkowym ruchem W_4 ślimacznicy zgodnie z równaniem: $N \rightarrow PO$

$$f_s [mm] \cdot \frac{1}{5} \left[\frac{obr}{mm} \right] \cdot \frac{50}{1} \cdot \frac{30}{20} \cdot \frac{20}{30} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{16}{16} \cdot \frac{19}{19} \cdot \frac{36}{45} \cdot i_d \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{a_2}{b_2} \cdot i_l \cdot \frac{1}{96} = \frac{f_s}{\pi m_c z} [obr]$$

$$\text{stąd} \quad i_d = C_8 \cdot \frac{l}{m_c \cdot k}, \quad C_8 = \frac{7.5}{\pi}$$

gdzie: m_c - moduł czołowy ślimacznicy,
 k - krotność freza.

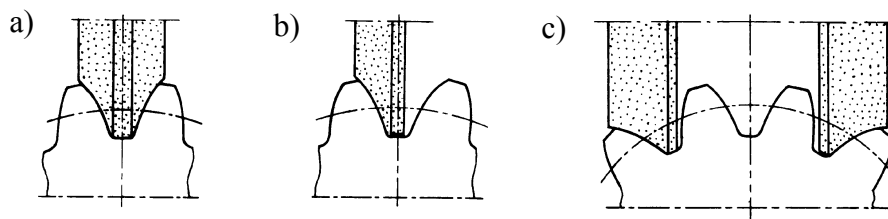
Przesuw styczny freza ślimakowego może być także stosowany do obróbki kół zębatach walcowych, co umożliwia wykorzystanie pełnej długości roboczej narzędzia i znacznie wydłuża okres jego pracy między kolejnymi ostrzeniami.

3.10.6. Metody szlifowania uzębień kół walcowych

Szlifierki do uzębienia są obrabiarkami przeznaczonymi do wykańczającej obróbki kół zębatach, których zęby po obróbce wstępnej zostały utwardzone.

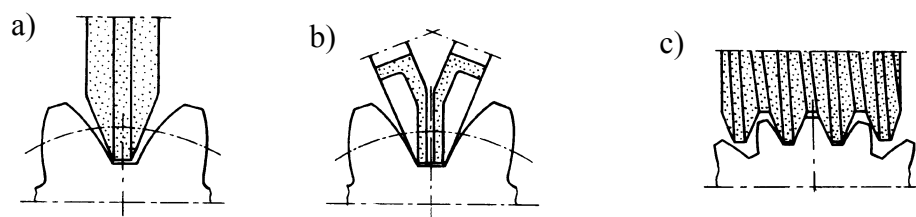
W szlifierkach wykonujących uzębienie metodą kształtową zarys ściernicy jest dostosowany do zarysu pojedynczego boku zęba lub pojedynczego wrębu międzyzębnego, jak to pokazano na rys. 3.77.

Szlifierki do obróbki kształtowej uzębień muszą więc być wyposażone w przyrząd do obciągania, tj. kształtowania zarysu ściernicy.



Rys. 3.77. Szlifowanie uzębień kół walcowych metodą kształtową z zastosowaniem: a) ściernicy wykonującej pełny wręb uzębienia, b) ściernicy wykonującej jeden bok zęba, c) dwóch ściernic wykonujących dwa różne boki uzębienia

Najszerze zastosowanie mają szlifierki kształtujące uzębienie metodą obwiedniową (rys. 3.78).



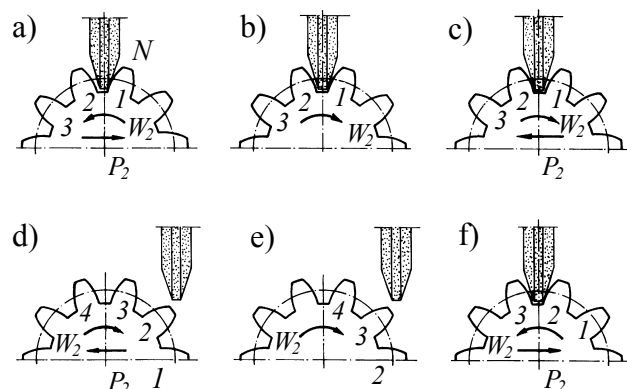
Rys. 3.78. Szlifowanie uzębień kół walcowych metodą obwiedniową z zastosowaniem: a) ściernicy o zarysie zęba zębatego, b) dwóch ściernic o zarysach dwóch boków zębów zębatego, c) ściernicy ślimakowej o zarysie zębatkowym

W szlifierkach takich stosuje się ściernice o zarysie pojedynczego zęba zębatego (ściernice pojedyncze), pojedynczego boku zęba zębatego (dwie ściernice) lub kilku zębów zębatego (ściernice ślimakowe).

Ściernice o zarysie zęba zębatego są stosowane w szlifierkach Nilesa, dwie ściernice o zarysie dwóch boków zęba zębatego - w szlifierkach Maaga, a ściernice ślimakowe - w szlifierkach Reishauera.

3.10.7. Szlifierki Nilesa

Szlifierki Nilesa mają układ kształtowania zarysu i linii zęba podobny do dłutownic Maaga. Obróbka uzębienia odbywa się w automatycznie powtarzalnych cyklach pracy, w których następuje (rys. 3.79a-f):



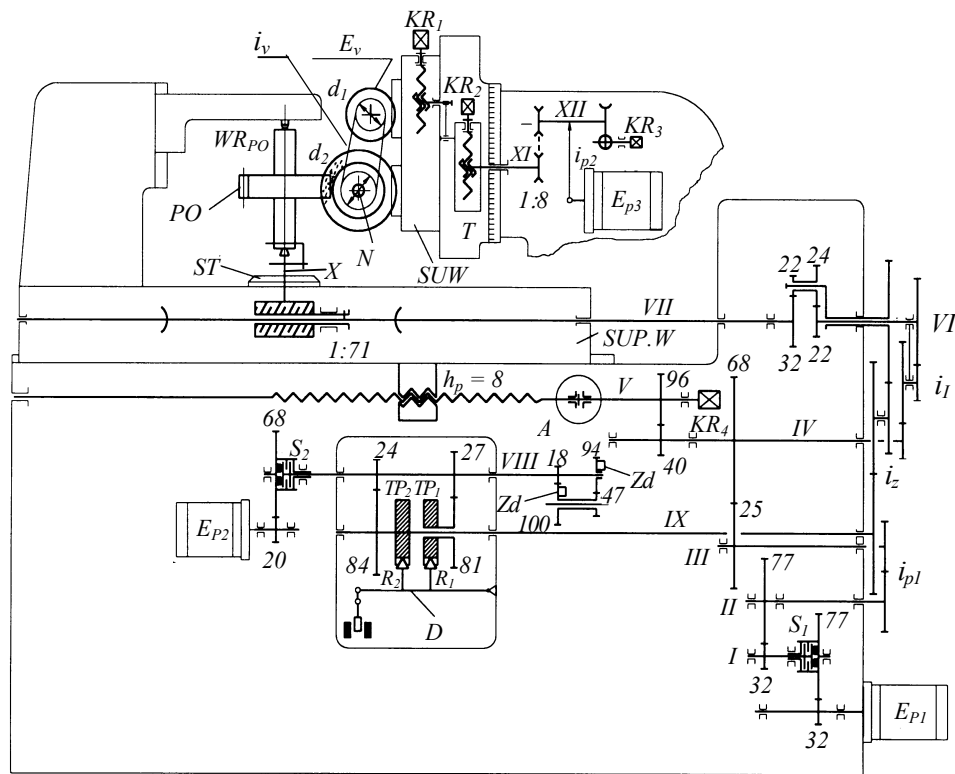
Rys. 3.79. Cykl obróbkowy zęba na szlifierce Nilesa

- szlifowanie jednego boku zęba,
- kasowanie luzu między ściernicą a drugim bokiem zęba (przy zmienionym kierunku ruchu odtaczania),
- szlifowanie drugiego boku zęba,
- szybkie odtoczenie lub odskok poza obszar zazębienia się ściernicy z kołem w celu dokonania podziału kąтового,
- ruch podziałowy kątowy o wartości $1/z$ [obr],
- szybki powrót z wprowadzeniem ściernicy do następnego wrębu uzębienia.

Schemat kinematyczny szlifierki Nilesa przedstawiono na rys. 3.80.

Cykl pracy jest sterowany zderzakami Zd , które łączą mikrołączniki i włączają kolejne etapy cyklu.

Ruch podziałowy jest dokonywany za pomocą dwutarczowego mechanizmu podziałowego włączanego okresowo sprzęgłem S_2 . Z chwilą włączenia mechanizmu tarcze TP_1 i TP_2 zostają odblokowane dźwignią D i zaczynają się względem siebie obracać. Gdy wykonają względem siebie jeden obrót, zostają ponownie zablokowane, a sprzęgło S_2 zostaje wyłączone. Podczas trwania tego ruchu tarcza TP_2 związana sztywno z wałkiem $VIII$ wykonuje przemieszczenie kątowe wynoszące 6 [obr].



Rys. 3.80. Szlifierka Nilesa

Przebieg łańcuchów kinematycznych można zapisać następującymi równaniami:

- Łańcuch prędkości skrawania: $E_v \rightarrow N$

$$n_{Ev} \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \cdot i_v = n_N \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] = \frac{60 \cdot 1000v}{\pi d_s}$$

stąd $i_v = C_l \cdot \frac{v}{d_s}$, C_l - stała wartość przełożeń,

gdzie: v - prędkość skrawania, $[m/s]$,
 d_s - średnica ściernicy, $[mm]$.

- Łańcuch ruchu odtaczania: $PO \rightarrow PO$

$$\pi \cdot m_c \cdot z [mm] \cdot \frac{1}{8} \left[\frac{obr}{mm} \right] \cdot \frac{96}{40} \cdot i_I \cdot \frac{22}{24} \cdot \frac{22}{32} \cdot \frac{1}{71} = l [obr]$$

stąd $i_I = C_2 \cdot \frac{1}{m \cdot z}$, $C_2 = 120$ - dla zębów prostych ($m_c = m$),

$$i_I = C_2 \cdot \frac{\cos \beta}{m \cdot z} \quad - \text{dla zębów śrubowych } (m_c = m/\cos \beta),$$

gdzie: m, z - moduł normalny i liczba zębów obrabianego koła,
 β - kąt pochylenia linii zębów.

- Łańcuch ruchu podziałowego: $TP_2 \rightarrow PO$

$$6 [obr] \cdot i_z \cdot \left(1 - \frac{22}{24} \cdot \frac{22}{32} \right) \cdot \frac{1}{71} = \frac{1}{z} [obr]$$

stąd $i_z = C_3 \cdot \frac{1}{z}$, $C_3 = 32$

gdzie: z - liczba zębów obrabianego koła.

- Łańcuch posuwu skoku: $E_{p1} \rightarrow PO$

$$n_{Ep1} \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot \frac{32}{77} \cdot \frac{32}{77} \cdot i_{p1} \cdot \frac{25}{68} \cdot \frac{40}{96} \cdot 8 \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_{tw} \left[\frac{mm}{min} \right]$$

stąd $i_{p1} = C_4 \cdot f_{tw}$, C_4 - stała wartość przełożeń,

gdzie: f_t - prędkość posuwu stołu.

- Łańcuch posuwu pionowego narzędzia: $E_{p3} \rightarrow N$

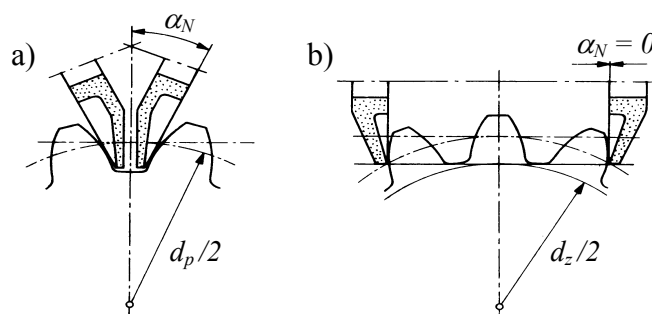
$$n_{Ep3} \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot i_{p2} \cdot \frac{1}{8} \cdot l \left[\frac{p.sk}{obr} \right] = n_N \left[\frac{p.sk}{min} \right] = \frac{1000 f_{tp}}{2H}$$

stąd $i_{p2} = C_5 \cdot \frac{f_{tp}}{H}$, C_5 - stała wartość przełożeń,

gdzie: f_{tp} - prędkość posuwu pionowego narzędzia, $[m/min]$,
 H - skok narzędzia, $[mm]$.

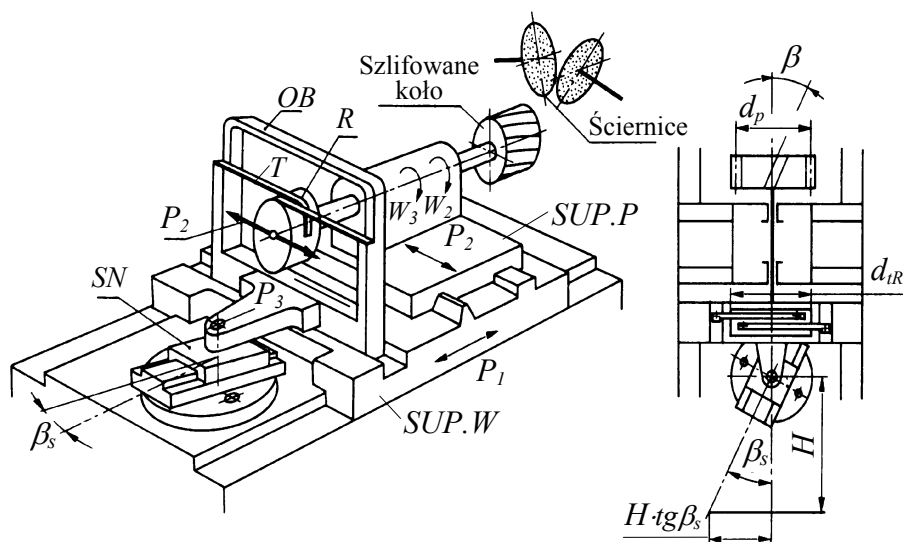
3.10.8. Szlifierki Maaga

Szlifierki Maaga kształtują uzębienie koła dwiema ściernicami stanowiącymi dwa boki zęba zębátky lub ustawionymi jako narzędzia punktowe (rys. 3.81).



Rys. 3.81. Ustawienie ściernic na szlifierce Maaga: a) ustawienie jako dwóch boków zębátky ($\alpha = \alpha_N$), b) ustawienie jako narzędzi punktowych ($\alpha_N = 0^\circ$)

Cechą charakterystyczną szlifierki Maaga jest rozwiązanie mechanizmu ruchu tocznego w postaci wzorcowej pary tocznej. Parę tę stanowi rolka toczna R (a w przypadku większych średnic - segment toczny) oraz napięte taśmy stalowe T , utwierdzone w obudowie OB (rys. 3.82).



Rys. 3.82. Układ kształtowania szlifierki Maaga

W czasie ruchu suportu poprzecznego $SUP.P$ i wystąpienia ruchu P_2 wrzeczono przedmiotowe zakończone rolką toczną R , przemieszczając się w stosunku do unieruchomionej obudowy OB , powoduje jednoczesny ruch obrotowy W_2 . Nastawienie kinematyczne ruchu tocznego P_2-W_2 odbywa się za pomocą wymiennych rolek tocznych, których średnica toczna d_{tR} powinna spełniać warunek:

$$d_{tR} = d_{tPO} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_N}$$

dla $\alpha = \alpha_N \rightarrow d_{tR} = d_{tPO} = d_p$, $\alpha_N = 0^\circ \rightarrow d_{tR} = d_{tPO} \cdot \cos \alpha = d_z$

gdzie: α - kąt przyporu uzębienia ($\alpha = 20^\circ$),
 α_N - kąt przyporu uzębienia (ściernicy),
 d_z - średnica zasadnicza koła,
 d_{tPO} - średnica toczna przedmiotu obrabianego.

Kształtowanie śrubowej linii zębów jest uzyskiwane za pomocą nastawianych kątowo prowadnic, po których przesuwają się sanie SN połączone z obudową OB .

W czasie przesuwu suportu wzdłużnego $SUP.W$ ruchem P_1 sanie SN powodują przesuw poprzeczny P_3 obudowy OB wraz z taśmami, a tym samym dodatkowy ruch obrotowy przedmiotu W_3 .

Składowe ruchu śrubowego P_1-W_3 są nastawiane przez zmianę pochylenia prowadnicy pod kątem β_s , tak aby był spełniony warunek: $SN \rightarrow PO$

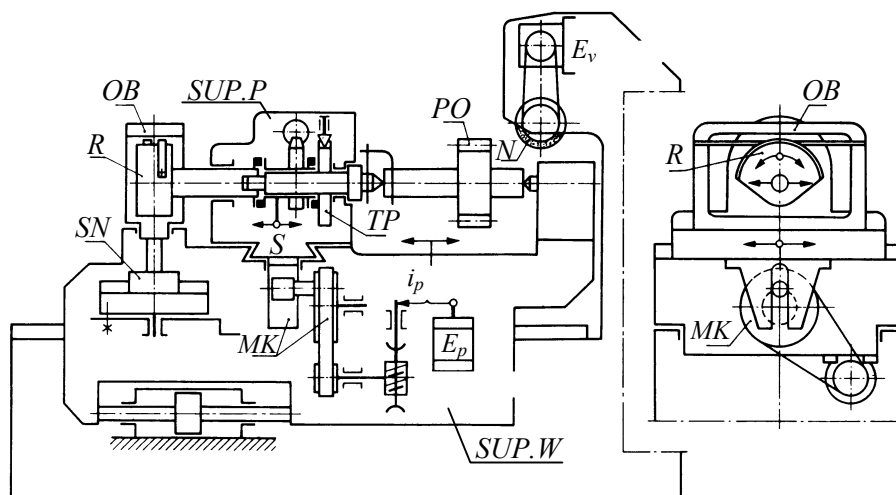
$$SN: l = H [mm] \rightarrow R: \varphi_R = \frac{H \cdot \operatorname{tg} \beta_s}{\pi \cdot d_{tR}} [obr] \rightarrow PO: \varphi_{PO} = \frac{H \cdot \operatorname{tg} \beta}{\pi d_p} [obr]$$

jeżeli $\alpha_N = \alpha \rightarrow d_{tR} = d_p \rightarrow \beta_s = \beta$

$$\alpha_N = 0 \rightarrow d_{tR} = d_z \rightarrow \operatorname{tg} \beta_s = \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \alpha$$

gdzie: H - skok linii śrubowej zęba,
 β_s - kąt skreślenia prowadnicy,
 β - kąt pochylenia linii zęba.

Uproszczony schemat kinematyczny szlifierki Maaga przedstawiono na rys. 3.83. Szlifierka ta ma układ kształtowania analogiczny do przedstawionego na rys. 3.82 oraz zawiera mechanizm ruchu podziałowego.



Rys. 3.83. Szlifierka Maaga

Mechanizm ruchu podziałowego składa się z tarczy podziałowej *TP* ryglowanej odchylną dźwignią oraz sprzęgła *S* umożliwiającego obrót przedmiotu obrabianego. Obrót tarczy podziałowej, odsuwanie dźwigni ryglującej i włączanie sprzęgła są dokonywane hydraulicznie.

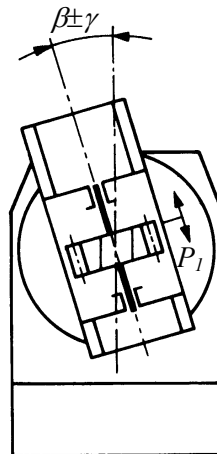
Pozostałymi mechanizmami szlifierki są:

- mechanizm korbowy *MK* napędzający suport poprzeczny *SUP.P* (układ odtaczania szlifierki),
- hydrauliczny napęd suportu wzdłużnego *SUP.W* (układ kształtowania linii zęba),
- napęd ruchu głównego ściernic,
- mechanizm do profilowania i kompensacji zużycia ściernic.

3.10.9. Szlifierki Reishauera

W szlifierkach Reishauera narzędziem jest ściernica ślimakowa, która kształtuje uzębienie podobnie jak frezarka obwiedniowa, tj. w sposób ciągły, bez potrzeby stosowania podziału.

W celu uzyskania właściwego ruchu odtaczania należy odpowiednio skrócić oś przedmiotu w stosunku do osi ściernicy (rys. 3.84), zgodnie z zasadą pokazaną na rys. 3.71.



Rys. 3.84. Ustawienie osi przedmiotu w stosunku do osi ściernicy

Aby zminimalizować wpływ zużycia ściernicy na dokładność kształtowania uzębienia, w szlifierce tej występuje obowiązkowo ruch styczny przedmiotu w stosunku do powierzchni ściernicy, zapewniający w ten sposób równomierne jej zużycie na całej szerokości.

Schemat kinematyczny szlifierki Reishauera pokazano na rys. 3.85.

Napęd posuwu stycznego jest uzyskiwany od silnika, Ep , który przez przekładnię ślimakową napędza mechanizm korbowy MK , powodując przesuw suportu stycznego $SUP.S$ po prowadnicach Pr .

Nastawienia kinematycznego łańcucha ruchu dodatkowego stycznego dokonuje się za pomocą skrócenia nastawnej kątowo listwy ustawczej LU . Podczas przesuwu stycznego po listwie tej toczy się rolka listwy zębatej LZ napędzającej koło zębate KZ .

Mechanizmy sumujące MS_1 i MS_2 służą do sumowania składowych ruchu obrotowego przedmiotu pochodzących od ruchu odtaczania φ_{PO1} , ruchu kształtowania linii śrubowej φ_{PO2} oraz ruchu stycznego ściernicy φ_{PO3} .

stąd $i_I = C_2 \cdot \frac{I}{z}$, $C_2 = 48$, $k = 1$ (średnica jednozwojna)

- Łańcuch kształtowania linii śrubowej zęba: $PO \rightarrow PO$

$$\frac{\pi m z}{\sin \beta} [mm] \cdot \frac{4}{25,4} \left[\frac{obr}{mm} \right] \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{32}{32} \cdot i_{II} \times$$

$$\times \frac{1}{64} \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{8}{31} \cdot \frac{60}{30} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{31}{67} \cdot \frac{67}{96} = l[obr] = \varphi_{PO2}$$

stąd $i_{II} = C_3 \cdot \frac{\sin \beta}{mz}$, $C_3 = \frac{609,6}{\pi}$

gdzie: m , z , β - moduł normalny, liczba zębów i kąt pochylenia linii zębów obrabianego koła.

- Łańcuch posuwu pionowego: $PO \rightarrow PO$

$$l[obr] \cdot \frac{96}{67} \cdot \frac{67}{31} \cdot \frac{48}{24} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{31}{8} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{3}{45} \cdot \frac{4}{50} \cdot i_p \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{25,4}{4} \left[\frac{mm}{obr} \right] = f_p [mm]$$

stąd $i_p = C_4 \cdot f_p$, $C_4 \cong 10$

gdzie: f_p - posuw pionowy przedmiotu, $[mm/obr]$.

- Łańcuch dodatkowego ruchu stycznego: $PO \rightarrow PO$

$$x_3 \operatorname{tg} \alpha [mm] \cdot \frac{1}{\pi \cdot 3 \cdot 14} \left[\frac{obr}{mm} \right] \cdot \frac{96}{31} \cdot \frac{60}{30} \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{24}{48} \cdot \frac{31}{67} \cdot \frac{67}{96} = \frac{x_3 \cdot \cos(\beta \pm \gamma)}{\pi m_c z} [obr] = \varphi_{PO3}$$

stąd $\operatorname{tg} \alpha = C_5 \cdot \frac{\cos(\beta \pm \gamma) \cdot \cos \beta}{mz}$, $C_5 = 21$

gdzie: β - kąt pochylenia linii zęba,
 γ - kąt wzniosu linii zwojów ściernicy ślimakowej,
 α - kąt skreślenia listwy ustawczej LU .

3.10.10. Charakterystyka i metody obróbki kół stożkowych

Obróbka uzębień kół stożkowych jest technologicznie trudniejsza od obróbki uzębień kół walcowych. Jest to spowodowane bardziej złożonym kształtem geometrycznym tych uzębień na skutek zmiany modułu, a tym samym zarysu zęba wzdłuż jego linii.

Zmienność zarysu wzdłuż linii zęba sprawia, iż koła stożkowe wykonuje się prawie wyłącznie metodami obwiedniowymi.

Ze względu na budowę układu kształtowania obrabiarki do uzębień kół stożkowych można podzielić na dwie grupy:

- obrabiarki kształtujące linię zębów prostym ruchem kształtowania,
- obrabiarki kształtujące linię zębów złożonym ruchem kształtowania.

Do pierwszej z tych grup zalicza się obrabiarki do wykonywania kół o prostej i łukowo-kołowej linii zębów, natomiast do grupy drugiej obrabiarki do wykonywania kół o linii zębów epicykloidalnej i ewolwentowej.

3.10.11. Strugarki i frezarki Gleasona

Większość kół stożkowych o prostej i łukowo-kołowej linii zębów jest obrabiana metodą Gleasona, tj. metodą opracowaną przez największego producenta obrabiarek do uzębień kół stożkowych, jakim jest amerykańska firma Gleason.

W metodzie tej do obróbki kół o prostej linii zębów są stosowane dwa noże o zarysie boku zęba zębunki pierścieniowej, poruszające się ruchem prostoliniowo-zwrotnym, zbieżnie do centralnego punktu zazębienia *A* (rys. 3.86a). Według tej metody pracuje strugarka Gleasona.

Natomiast do obróbki kół o łukowo-kołowej linii zębów są stosowane obrotowe głowice nożowe, w których noże o prostoliniowych krawędziach skrawających są ułożone na okręgu koła (rys. 3.86b). Według tej metody pracuje frezarka Gleasona.

W stosunku do strugarki frezarka Gleasona ma zmieniony jedynie napęd ruchu głównego i konstrukcję głowicy tocznej. Pozostałe zespoły napędowe są identyczne.

Pod względem kinematycznym para robocza narzędzie-przedmiot obrabiany może być rozpatrywana jako przekładnia zębata stożkowa, dla której można zapisać następującą zależność: $N \rightarrow PO$

$$\varphi_{GT}[obr] \cdot \frac{z_{ZP}}{z} = \varphi_{PO}[obr]$$

$$\text{jeżeli } \varphi_{GT} = I[obr] \rightarrow \varphi_{PO} = \frac{z_{ZP}}{z}[obr]$$

gdzie: z_{ZP} - liczba zębów teoretycznej zębatki pierścieniowej,
 z - liczba zębów obrabianego koła.

Ponieważ liczba zębów z_{ZP} nie jest parametrem określającym kształtowane uzębienie, więc jest zastępowana parametrami geometrycznymi koła, a mianowicie (rys. 3.87a)

$$\frac{z_{ZP}}{z} = \frac{r_{ZP}}{r_{PO}}, \quad \frac{r_{ZP}}{r} = \cos \xi_S, \quad \frac{r_{PO}}{r} = \sin \delta_p$$

$$\text{stąd } \frac{z_{ZP}}{z} = \frac{r \cos \xi_S}{r \sin \delta_p} = \frac{\cos \xi_S}{\sin \delta_p}$$

gdzie: ξ_S - kąt stopy zęba,
 δ_p - półkął stożka podziałowego obrabianego przedmiotu.

Określając przełożenie z definicji jako $i = \frac{n_2}{n_1}$, i uwzględniając

zależność $n = \frac{1000v}{\pi d}$ otrzymamy:

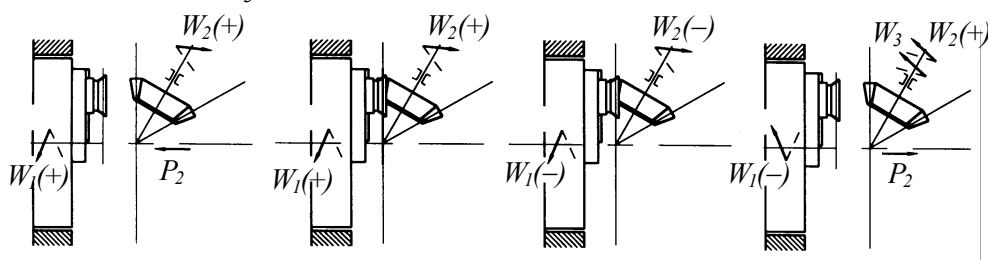
$$i = \frac{1000v}{\pi 2r_{PO}} : \frac{1000v}{\pi 2r_{ZP}} = \frac{r_{PO}}{r_{ZP}}$$

gdzie: v - prędkość obwodowa w punkcie styku pary kinematycznej GT-PO[m/min]

Pełny cykl obróbki wykańczającej składa się z kolejno powtarzanych czynności (rys. 3.88):

- dosunięcia obrabianego koła ruchem P_2 do pozycji, w której następuje kształtowanie zęba,

- kształtowania zęba podczas roboczego kierunku ruchu odtaczania $W_1-W_2 (+)$,
- zmiany kierunku odtaczania i kształtowania wykańczającego zęba $W_1-W_2 (-)$,
- odsunięcia obrabianego koła od narzędzi ruchem P_2 i dokonania podziału ruchem W_3 .



Rys. 3.88. Etapy cyklu obróbkowego

Układ kinematyczny typowej obrabiarki do kształtowania uzębień kół stożkowych metodą Gleasona przedstawiono na rys. 3.89.

Jest to strugarka Gleasona przeznaczona do obróbki kół o zębach prostych, w której do napędu ruchu prostoliniowo-zwrotnego noży zastosowano mechanizm korbowy MK .

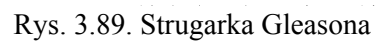
Cykl obróbkowy jest sterowany bębniem sterującym BS i bębniem dosuwu BD , napędzanymi silnikiem E .

Dosunięcie i odsunięcie obrabianego koła są uzyskiwane za pomocą krzywek K_1 i K_2 osadzonych na bębnie dosuwu BD , których zarysy są przystosowane do obróbki zgrubnej lub wykańczającej.

Na okres ruchu podziałowego bęben sterujący BS sprzęgłem S_2 włącza napęd na tarczę podziałową TP , która w czasie podziału wykonuje 1 obrót. Zmiana kierunku odtaczania jest dokonywana sprzęgłem S_1 .

Ruch posuwowy jest określony prędkością ruchu odtaczania, która zależy od czasu cyklu obróbki jednego zęba. W zależności od modułu obrabianego koła ustawia się wartość kąta odtaczania (wychylenia główicy tocznej). W czasie cyklu obróbkowego, tzn. 1 obrotu bębna sterującego BS główica toczna wykonuje wychylenie o kąt 2θ .

Cykl obróbki zgrubnej nie zawiera ruchu odtaczania, stąd wykonuje się tylko trapezowy rowek międzyzębowy. Ruch odtaczania jest wyłączany przez zdjęcie koła zębatego z przekładni gitarowej i_θ .



- Łańcuch prędkości skrawania: $E \rightarrow N$

gdzie: v - prędkość skrawania, $[m/min]$,
 H - skok narzędzia, $[mm]$.

- Łańcuch ruchu podziałowego: $TP \rightarrow PO$

$$l[obr] \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{32}{24} \cdot \frac{26}{26} \cdot i_z \cdot \frac{36}{24} \cdot \frac{1}{120} = \frac{1}{z} [obr]$$

stąd $i_z = C_2 \cdot \frac{1}{z}, \quad C_2 = 30$

gdzie: z - liczba zębów obrabianego koła.

- Łańcuch ruchu tocznego: $GT \rightarrow PO$

$$l[obr] \cdot \frac{120}{1} \cdot \frac{25}{20} \cdot i_I \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{26}{26} \cdot \frac{32}{24} \cdot \frac{26}{26} \cdot i_z \cdot \frac{36}{24} \cdot \frac{1}{120} = \frac{\cos \xi_S}{\sin \delta_p} [obr]$$

stąd $i_I = C_3 \cdot \frac{z \cdot \cos \xi_S}{\sin \delta_p}, \quad C_3 = \frac{1}{75}$

gdzie: z - liczba zębów obrabianego koła,

ξ_S - kąt stopy zęba,

δ_p - półkął stożka podziałowego obrabianego koła.

- Łańcuch ruchu posuwowego: $E \rightarrow BS$

$$n_E \left[\frac{obr}{min} \right] \cdot \frac{15}{45} \cdot i_p \cdot \frac{15}{45} \cdot \frac{2}{34} \cdot T[min] = l[obr]$$

stąd $i_p = C_4 \cdot \frac{1}{T}$

gdzie: T - czas cyklu obróbki jednego zęba, $[min]$.

- Łańcuch kąta odtaczania: $BS \rightarrow GT$

$$l[obr] \cdot \frac{34}{2} \cdot \frac{42}{42} \cdot i_\theta \cdot \frac{45}{36} \cdot \frac{20}{25} \cdot \frac{1}{120} = \frac{2\theta}{360^\circ} [obr]$$

stąd $i_\theta = C_5 \cdot \theta, \quad C_5 = \frac{2}{51}$

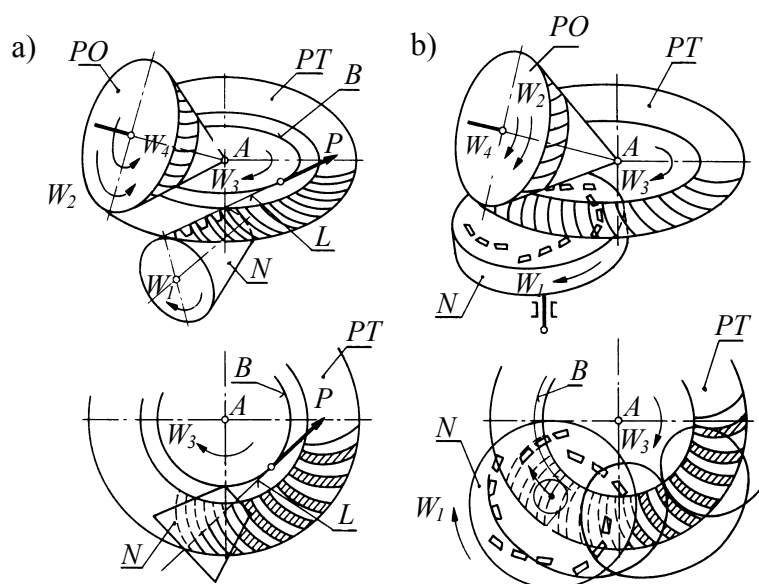
gdzie: θ - kąt odtaczania.

3.10.12. Obrabiarki do uzębień kół stożkowych o ewolwentowej i epicykloidalnej linii zębów

Obróbka uzębień o ewolwentowej linii zębów jest wykonywana na frezarkach Klingelnberga za pomocą specjalnego freza ślimakowego stożkowego (rys. 3.90a).

Obróbka uzębień o epicykloidalnej linii zębów jest wykonywana na frezarkach Oerlikona za pomocą głowicy frezowej, której noże są ustawione na wielokrotnej spirali Archimedesesa (rys. 3.90b).

Kształtowanie **ewolwentowej linii zębów** odbywa się za pomocą ruchu złożonego W_3 - W_4 wykonywanego przez głowicę toczną z narzędziem oraz przedmiot obrabiany. Ruch obrotowy W_4 koła obrabianego zastępuje ruch prostoliniowy P teoretycznej liny L odwijanej z koła zasadniczego B .



Rys. 3.90. Zasada kształtowania uzębień kół stożkowych: a) o ewolwentowej linii zębów, b) o epicykloidalnej linii zębów

Kształtowanie **epicykloidalnej linii zębów** odbywa się za pomocą ruchu złożonego W_1 - W_2 wykonywanego przez głowicę narzędziową oraz przedmiot obrabiany.