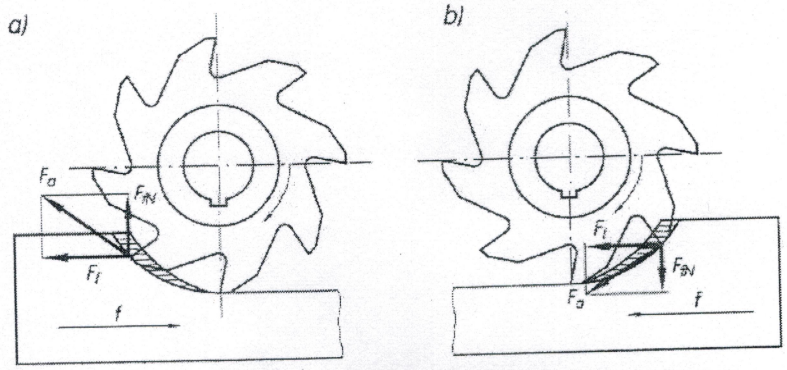
4.5. Frezowanie: odmiany frezowania, narzędzia do frezowania, frezarki, prace wykonywane na frezarkach

4.5.1. Materiał nauczania

Frezowanie jest jednym z często stosowanych najbardziej wydajnych sposobów obróbki skrawaniem, polegających na oddzieleniu warstwy materiału za pomocą obracającego się narzędzia (freza) na obrabiarce zwanej frezarką. Frezowaniem można obrabiać płaszczyzny, powierzchnie krzywoliniowe, gwinty, koła zębate, itp.

Frez wykonuje obrotowy ruch główny skrawania, natomiast przedmiot wykonuje względem freza ruch posuwowy (postępowy lub obrotowy). Zęby freza wchodząc kolejno w materiał zdejmują wióry o zmiennej grubości (kształt w przekroju poprzecznym podobny do przecinaka). Rozróżnia się frezowanie obwodowe, w którym frez skrawa ostrzami leżącymi na powierzchni walcowej i frezowanie czołowe, w którym frez skrawa zębami położonymi na powierzchni czołowej. W zależności od kierunku ruchu posuwowego względem freza frezowanie może być przeciwbieżne (kierunki prędkości ruchu obrotowego freza i ruchu posuwowego przedmiotu są przeciwbieżne) lub współbieżne, gdy kierunek ruchu posuwowego stołu frezarki jest zgodny z kierunkiem ruchu roboczego freza. Przy frezowaniu przeciwbieżnym kierunek ruchu posuwowego jest przeciwny do kierunku ruchu roboczego. Frezowanie współbieżne jest bardziej dokładne.

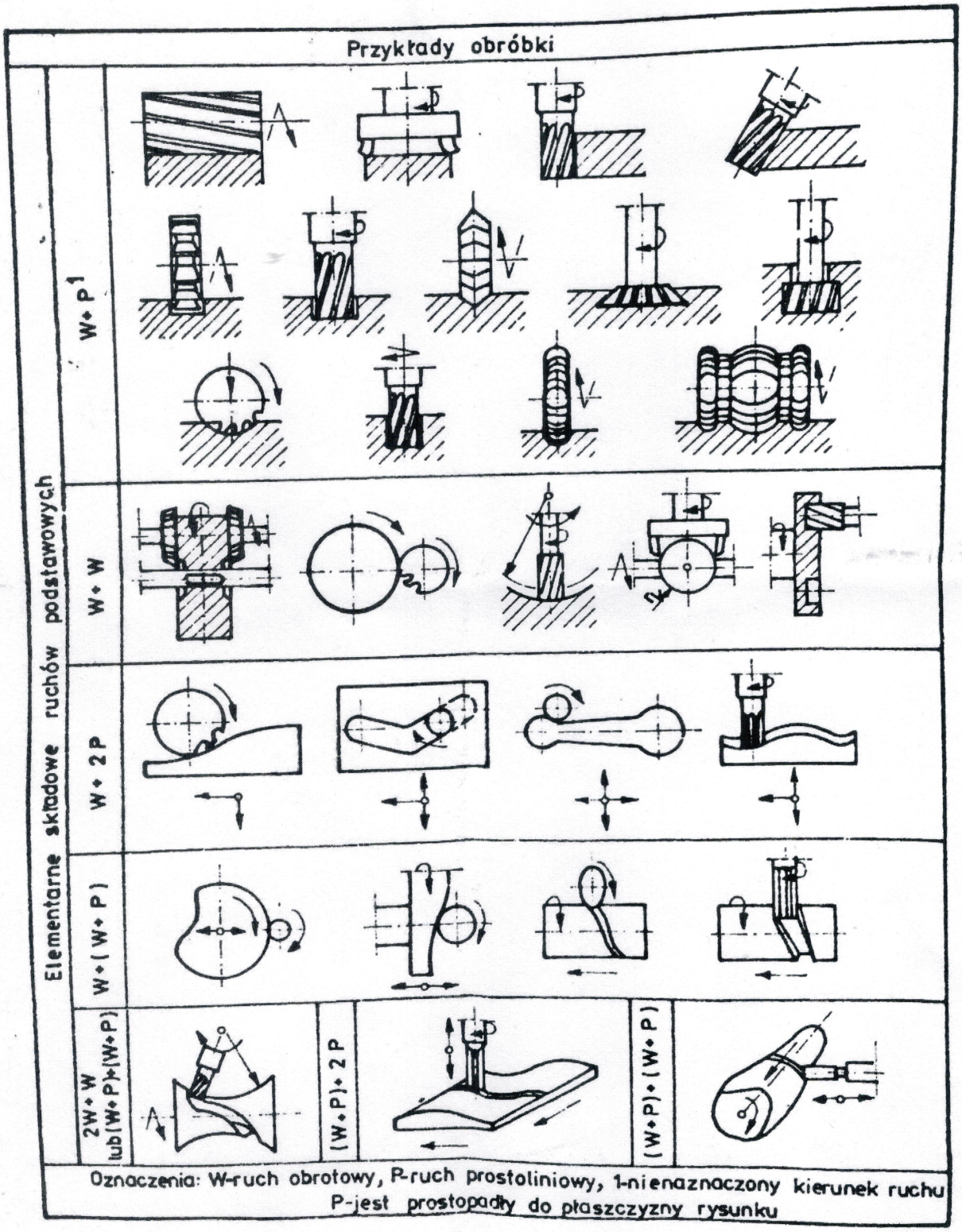


Rys. 33. Rodzaje frezowania: a) przeciwbieżne, b) współbieżne
Źródło: Brodowicz W.: Skrawanie i narzędzia. WSiP, Warszawa 1998

Przedmioty o złożonych kształtach można obrabiać:

- frezowaniem kształtowym – ostrze freza ma kształt o takim zarysie, jaki powinien uzyskać obrabiany przedmiot np. mało dokładne koła zębate,
- frezowaniem kopiowym opartym na zasadzie kopiowania według wzornika lub bezpośrednio z rysunku (kopiowanie), np. matryce, wykrojniki, śruby okrętowe, itp. frezowanie kopiowe wykonuje się na frezarko-kopiarkach lub na zwykłych frezarkach pionowych wyposażonych dodatkowo w specjalne przyrządy.

KSZTAŁTY POWIERZCHNI FREZOWANYCH



Frezy

W frezach wyróżniamy ostrza skrawające, które kształtem i geometria ostrza są podobne do noża tokarskiego.

Ze względu na budowę rozróżniamy frezy:

- walcowe,
- tarczowe,
- palcowe,
- kształtowe,
- walcowo-czołowe,
- kątowe,
- specjalne.

Frezy walcowe są przeznaczone do obróbki powierzchni płaskich.

Frezy tarczowe są przeznaczone do obróbki różnego rodzaju rowków, wcięć itp.

Frezy palcowe służą głównie do obróbki rowków na wpusty i kliny oraz różnego rodzaju powierzchni płaskich wgłębnych.

Frezy kształtowe stanowią bardzo liczna grupę narzędzi stosowanych do obróbki powierzchni o skomplikowanych kształtach, np. do obróbki gwintów, uzębień, rowków kształtowych oraz różnych kształtów specjalnych.

Ze względu na zarys ostrzy wyróżnia się frezy:

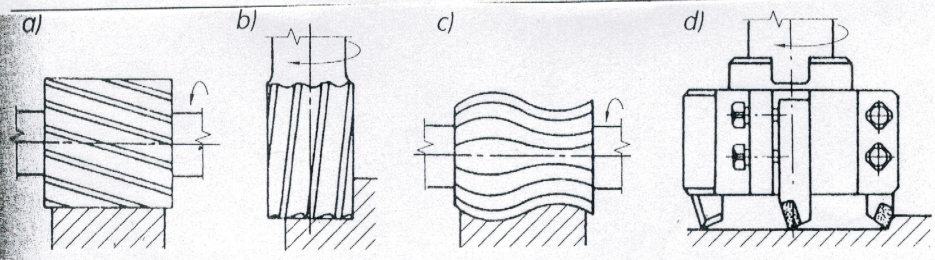
- jednościanowe,
- dwuścianowe,
- łukowe,
- zataczane.

Frezy o ostrzach jednościanowych najprostszych do wykonania, są stosowane do robót niewymagających obciążenia, ponieważ grubość zębów, a zatem i ich wytrzymałość nie są znaczne.

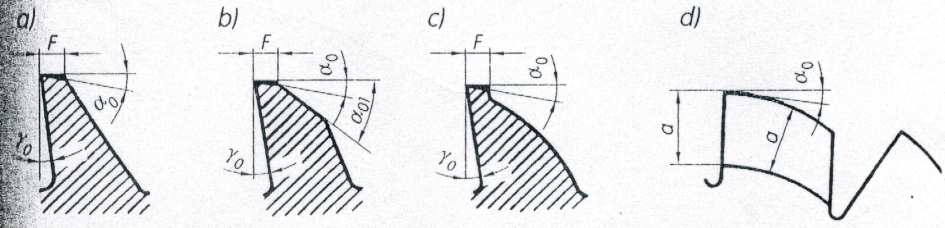
Frezy o ostrzach dwuściennych są przeznaczone do takich samych robót jak frezy jednościenne tylko ze frezy dwuścienne są bardziej wytrzymałe na obciążenie

Frezy o ostrzach łukowych są wytrzymałe i dlatego są stosowane do prac ciężkich. Rowki wiórowe o ostrzach łukowych są w stanie pomieścić podczas skrawania więcej wiórów niż we frezach dwuściennych, dlatego są od nich lepsze.

Frezy o ostrzach zataczanych zachowują niezmienione kształty po ostrzeniu. Z tego powodu mimo trudności ich wykonania stosuje je się tam, gdzie wymagane jest nadanie przedmiotowi odpowiednich, nieraz skomplikowanych kształtów.



Rys. 5.34. Rodzaje frezów: *a)* walcowy, *b)* walcowo-czołowy, *c)* kształtowy, *d)* głowica frezarska (czołowa) [2]



Rys. 5.35. Geometria ostrzy frezów: *a)* jednościnowych, *b)* dwuścinowych, *c)* jednościnowych z grzbietem krzywoliniowym, *d)* zataczanych;
γ_0 – kąt natarcia w płaszczyźnie przekroju głównego, α_0 – kąt przyłożenia, α_{01} – pomocniczy kąt przyłożenia, f – szerokość powierzchni przyłożenia [2]

Typowe prace wykonywane na frezarkach

Przedmioty frezowane zamocowuje się w zależności od kształtu i wielkości najczęściej bezpośrednio na stole frezarki, w imadle maszynowym, w uchwycie podzielnicy lub przyrządach specjalnych.

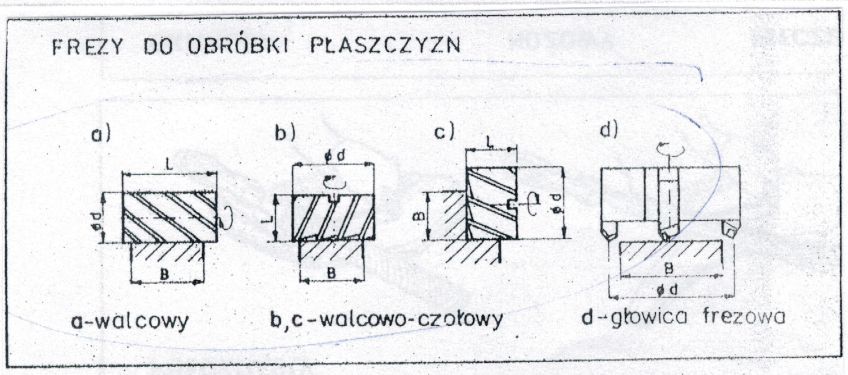
Najczęściej stosowaną operacją obróbki frezowaniem jest frezowanie płaszczyzn. Do tego celu używa się frezów walcowych, frezów walcowo-czołowych oraz głowic frezowych wieloostrzowych z wymiennymi ostrzami.

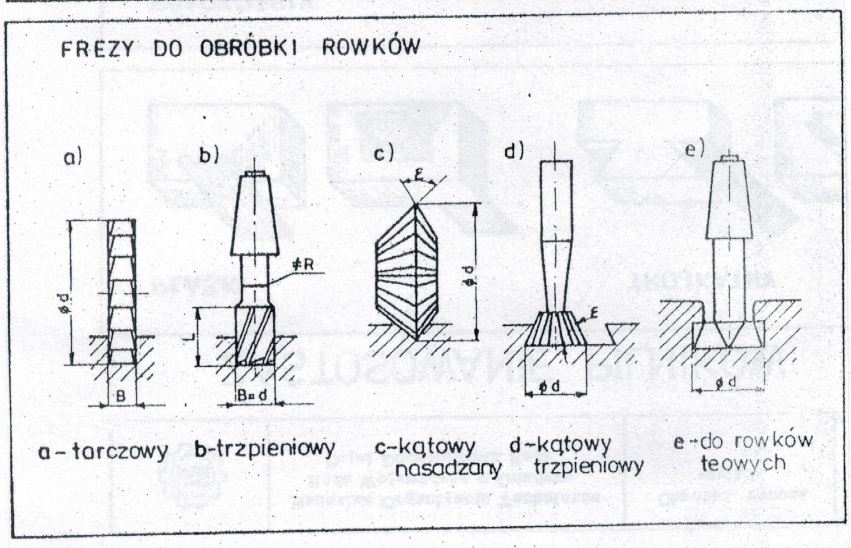
Kolejną pracą wykonywaną na frezarkach jest frezowanie rowków prostych. Do takich operacji używa się frezów tarczowych trzystronnych o zębach prostoliniowych, frezów tarczowych o zębach naprzemianskośnych lub frezów trzpieniowych.

Rowki teowe frezuje się za pomocą frezów trzpieniowych tarczowych.

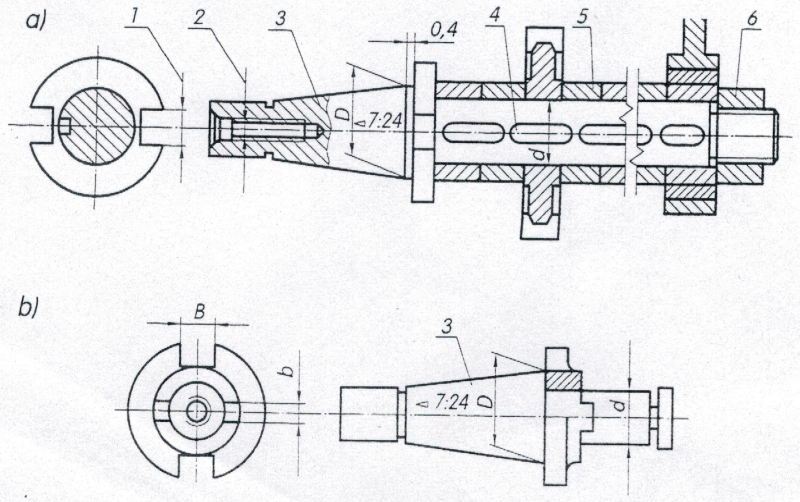
Prowadnice trapezowe lub rowki trapezowe należy frezować za pomocą frezów trzpieniowych kątowych. Rowki kątowe wykonuje się za pomocą frezów kątowych dwustronnych.

Na frezarkach można nacinać uzębienie kół zębatych. Istnieje kilka sposobów obróbki uzębień. Jeden z nich polega na wykorzystaniu modułowych frezów krążkowych lub trzpieniowych. Jest to tak zwana metoda kształtowa, stosowana tam, gdzie nie jest wymagana duża dokładność. Wynika to z trudności wykonania narzędzi kształtowych oraz niedokładności ustawienia narzędzia na obrabiarce. Ponadto wadą tej metody jest konieczność posiadania oddzielnych narzędzi do kół zębatych o różnych parametrach. Frezy modułowe stosuje się zwykle do modułów mniejszych. Uzębienie o modułach przekraczających 20 mm obrabia się frezami kształtowymi. Frezowanie kształtowe stosuje się jedynie w produkcji jednostkowej.

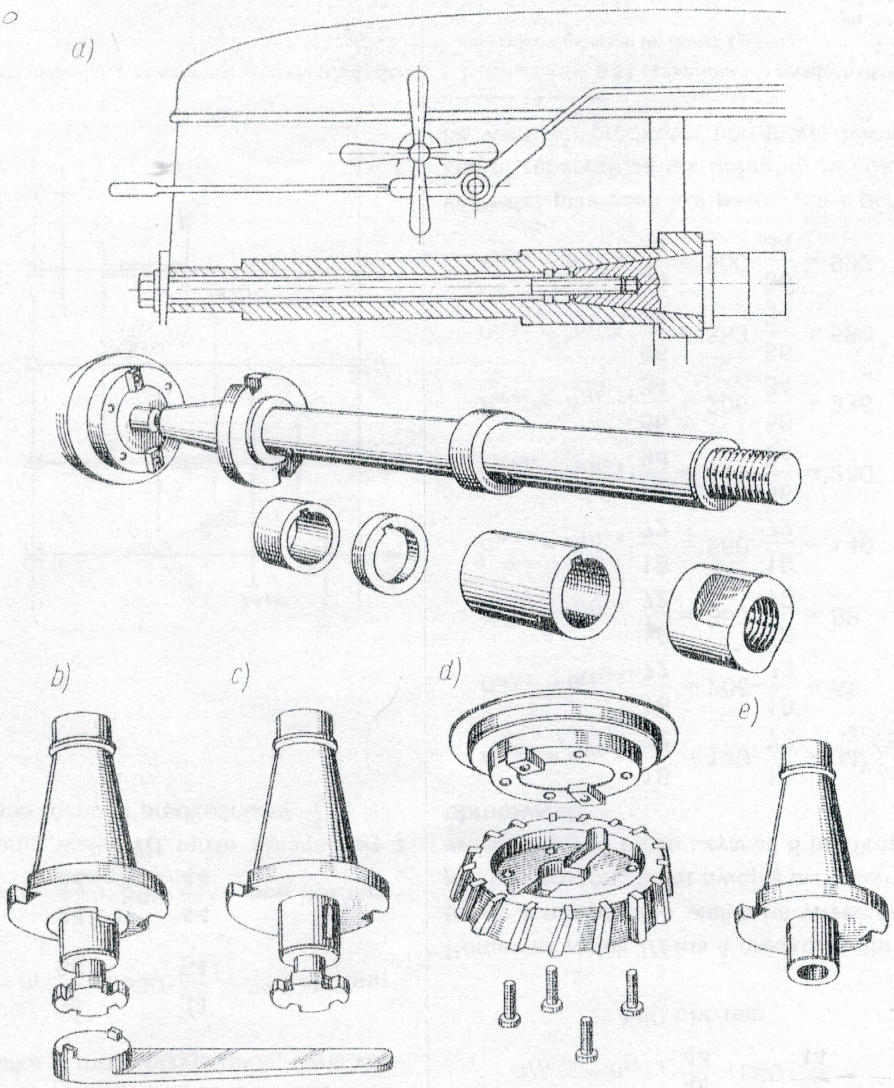




Mocowanie frezów we wrzecionach frezarek zależy od rodzaju obrabiarki, rodzaju freza i jego wymiarów. Frezy trzpieniowe o średnicy do 16 mm mają chwyt walcowy, w zakresie średnic 10÷40 mm mają chwyt stożkowy Morse'a, natomiast o średnicy większej niż 40 mm są wykonywane jako nasadzane. Małe frezy piłkowe mocuje się na trzpieniach za pomocą pierścieni i nakrętek. Większe frezy są wykonywane z rowkiem wpustowym. Wpust jest elementem mocowania. Końcówki wrzecion frezarskich są wykonywane z gniazdem stożkowym o zbieżności 7:24, które służy do ustalania trzpienia freza (**rys. 5.38**). Prostokątne wkładki (zabieraki) na czole freza przenoszą moment obrotowy. Powierzchnia zewnętrzna wrzeciona służy do ustalania głowic frezarskich, które są mocowane śrubami wkręcanymi w otwory gwintowane na czole wrzeciona. Natomiast małe głowice, trzpienie do frezarek z osią poziomą lub pionową, trzpienie zabierakowe, trzpienie do frezów piłkowych, oprawki zaciskowe z chwytem stożkowym 7:24 są ustalane w gnieździe wrzeciona za pomocą powierzchni stożkowej trzpienia i mocowane we wrzecionie śrubą wkręcaną w trzpień. W celu zamocowania oprawki do frezów lub freza z chwytem stożkowym Morse'a w gnieździe z chwytem stożkowym o zbieżności 7:24 (amerykańskim) stosuje się tulejki



Rys. 5.38. Trzpienie frezarskie: *a)* długi, do frezarki z poziomą osią obrotu, *b)* krótki, do frezarki z pionową lub poziomą osią obrotu;
1 – rowek zabieraka, *2* – gwint do zaciśnięcia stożka śrubą, *3* – chwyt stożkowy, *4* – wpust, *5* – pierścień ustalający, *6* – nakrętka [2]

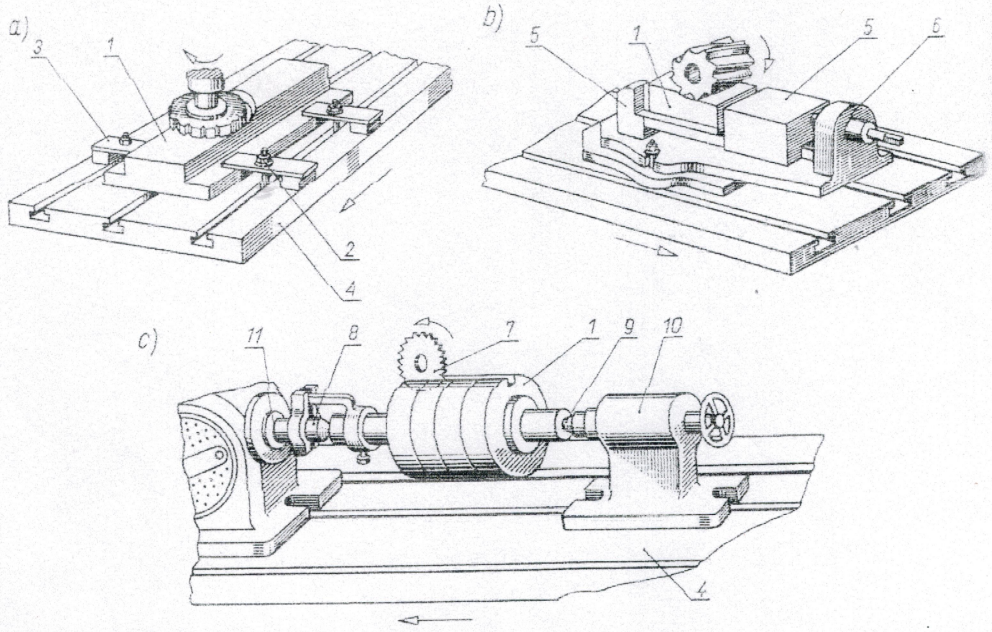


Rys. 9.93. Sposoby mocowania frezów: *a*) zakończenie wrzeciona i długi trzpień frezarski do frezarki poziomej, *b*), *c*) krótkie trzpienie frezarskie, *d*) mocowanie głowicy frezowej, *e*) tulejka redukcyjna

Mocowanie przedmiotów obrabianych

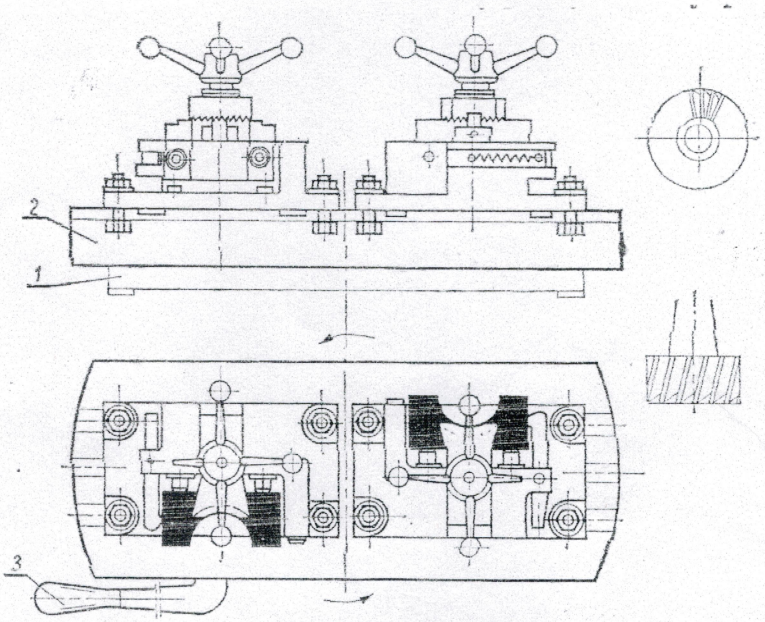
Przedmioty obrabiane mogą być mocowane na stole frezarki za pomocą docisków, w imadle maszynowym lub w specjalnym przyrządzie.

Na **rys. 27-7***a* przedmiot obrabiany *1* jest zamocowany bezpośrednio na stole *4* frezarki za pomocą śrub teowych *2* i nakładek *3*. Na **rys. 27-7***b* przedmiot



Rys. 27-7. Mocowanie przedmiotów na frezarce

obrabiany *1* jest zamocowany w szczękach *5* imadła maszynowego *6*, natomiast na **rys. 27-7***c* przedmiot *1* obrabiany za pomocą freza *7* jest ustalony w kłach *8* i *9*, z których jeden jest umieszczony w tulei konika *10*, a drugi we wrzecionie podzielnicy *11* ustawionej na stole *4* frezarki.



Rys. 207. Stół dwupozycyjny

miot następny itd. Przykład zastosowania stołu dwupozycyjnego do frezowania płaszczyzn w pokrywach łożysk ślizgowych przedstawiono na rys. 207. Obróbka odbywa się na frezarce poziomej

Technologiczne parametry frezowania to: prędkość skrawania v_c, posuw minutowy f_t, posuw na obrót f, posuw na ostrze f_z, głębokość frezowania a_p, szerokość frezowania B (**rys. 5.36**). Ruch obrotowy freza jest zawsze ruchem głównym. Ruchy stołu frezarki z zamocowanym przedmiotem obrabianym są ruchami posuwowymi.

Prędkość skrawania oblicza się podobnie jak przy toczeniu

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/min}$$

gdzie: d – średnica zewnętrzna freza w mm,
n – prędkość obrotowa wrzeciona frezarki w obr/min.

Posuw na jeden obrót, tj. wartość przemieszczenia części w kierunku ruchu posuwowego podczas jednego obrotu freza

$$f = \frac{f_t}{n} \text{ mm/obr}$$

gdzie: f_t – posuw minutowy, wartość prędkości ruchu posuwowego w mm/min.

Posuw na jedno ostrze jest to wartość przemieszczenia części w kierunku ruchu posuwowego odpowiadającego obrotowi freza o kąt odpowiadający jego podziałce:

$$f_z = \frac{f}{z} = \frac{f_t}{n \cdot z} \text{ mm/ostrze}$$

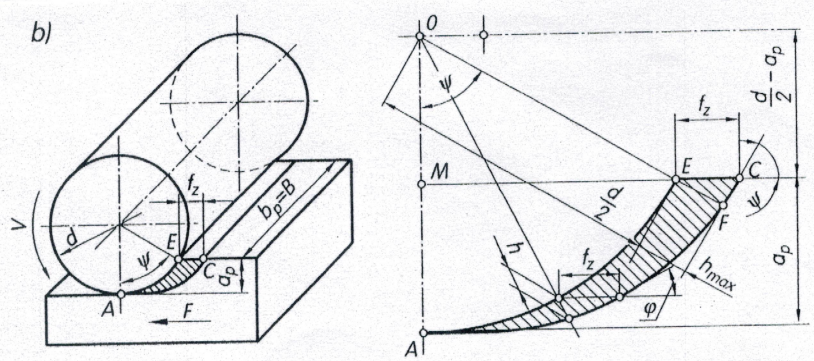
gdzie: z – liczba zębów freza.

Głębokość frezowania a_p w mm jest wymiarem naddatku skrawanego przy jednym przejściu freza.

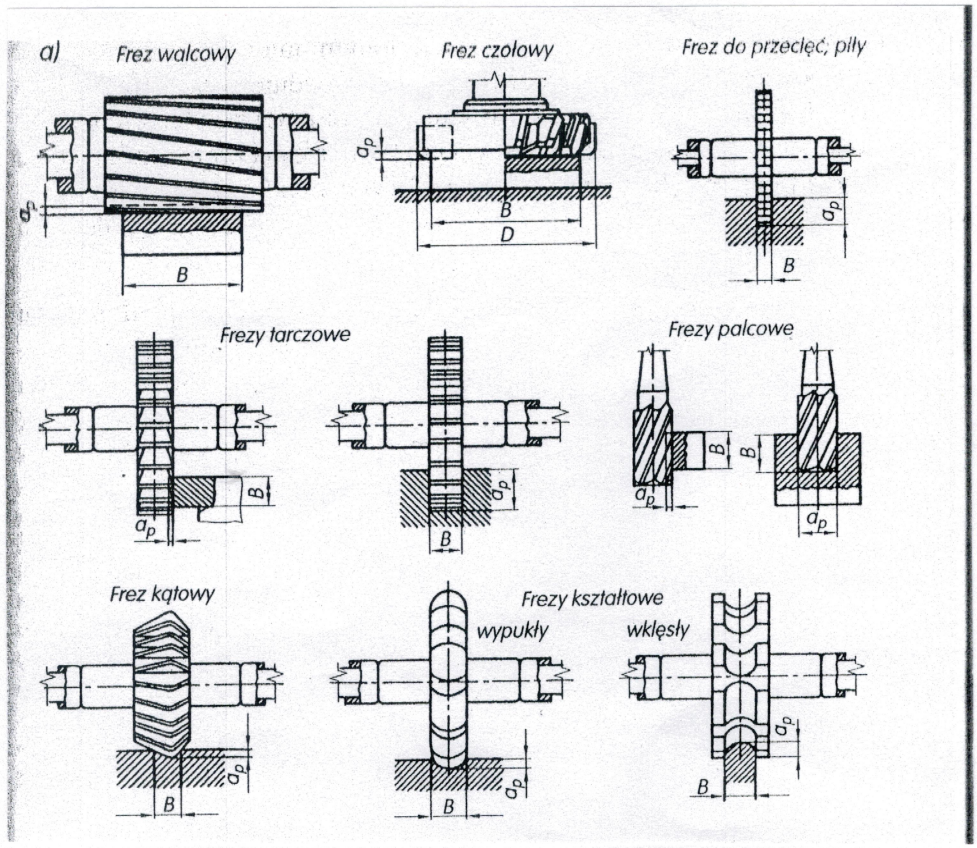
Szerokość frezowania B w mm jest długością odcinka zetknięcia się freza z częścią obrabianą, mierzonego wzdłuż prostej.

Geometryczne parametry skrawania w procesie frezowania ujmują:

- szerokość warstwy frezowanej b_D w mm, tj. długość styku krawędzi skrawającej freza z przedmiotem (dla zębów prostych i śrubowych $b_D = B$),



Rys. 5.36. Frezowanie walcowe: *a)* przykłady zadań obróbkowych wykonywanych różnymi frezami, *b)* parametry geometryczne;
d, D – średnice freza, f – posuw (minutowy), f_z – posuw (na ząb), a_p – głębokość skrawania, v – prędkość obwodowa, ψ – kąt styku (odpowiadający łukowi skrawania), φ – chwilowy kąt styku, h – lokalna grubość warstwy skrawanej przez jedno ostrze, h_{max} – maksymalna grubość warstwy skrawanej, $b_D = B$ – szerokość warstwy skrawanej równa szerokości frezowania [



Ogólne wytyczne doboru parametrów skrawania:

Głębokość frezowania:

- przy obróbce zgrubnej przyjmować możliwie dużą tak, by zdjąć naddatek w jednym przejściu,
- podczas frezowania odlewów i odkuwek frezować przeciwbieżnie,
- przy frezowaniu wykańczającym głębokość zależy od wymaganej chropowatości powierzchni.

Posuw frezowania:

- przy obróbce zgrubnej przyjmować możliwie duży odpowiednio do mocy frezarki (w tabelach do doboru parametrów podaje się zwykle posuw na ostrze),
- przy frezowaniu wykańczającym wraz ze zmniejszaniem posuwu polepsza się jakość powierzchni, zbyt mały posuw powoduje powstawanie poślizgu ostrzy. Posuw winien być nie mniejszy od 0,05mm na jedno ostrze, choć zależy to od wielu czynników, np. sztywności przedmiotu i maszyny, zamocowania (w tabelach podaje się posuw na obrót).

Prędkość skrawania:

- dobierana z tabel w zależności od materiału obrabianego i kontrolowana trwałością ostrzy,
- przy tym parametrze mamy największą swobodę, ale zwiększając v skracamy trwałość narzędzia - wydajność obróbki wzrasta, jeżeli mamy automatyczną zmianę narzędzia, bo przy ręcznej wymianie może ulec zmniejszeniu, a zmniejszając v zmniejszamy wydajność obróbki.