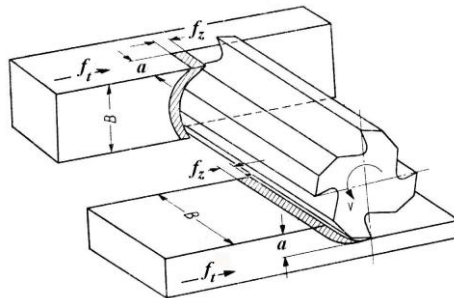


FREZOWANIE

3.1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA FREZOWANIA

Frezowanie jest to sposób obróbki skrawaniem, w którym narzędzie wykonuje ruch obrotowy, przedmiot obrabiany — ruch posuwowy: prostoliniowy lub krzywoliniowy. Frezowanie służy do obróbki powierzchni krzywoliniowych oraz płaszczyzn. Jest to najczęściej stosowany sposób obróbki skrawaniem poza toczeniem. Proces skrawania każdym ostrzem jest cyklicznie przerywany oraz przekrój poprzeczny warstwy skrawanej nie jest stały. Rozróżniamy zasadnicze dwie odmiany frezowania, tzw. **frezowanie walcowe** i **czołowe** - rys.3.1.

Frezowania dokonuje się narzędziami wieloostrowymi zwanymi **frezami**.



Rys.3.1. Schemat frezowania walcowego i czołowego wg [2]

3.2. ODMIANY FREZOWANIA

Na rys. 3.2 przedstawiono technologiczne odmiany frezowania: a) walcowe (obwodowe), b) czołowe, c) skośne.

Frezowaniem walcowym nazywamy odmianę frezowania, gdy frez walcowy styka się powierzchnią walcową z powierzchnią obrabianą.

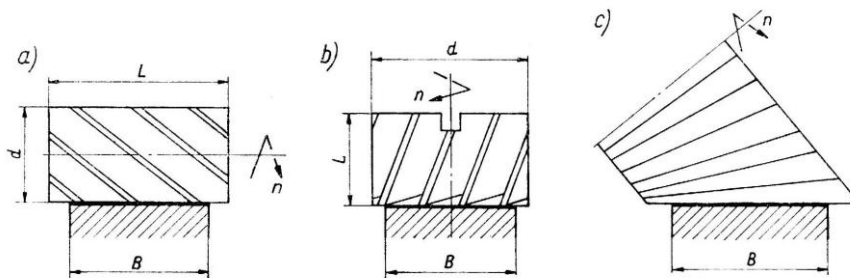
Frezowaniem czołowym nazywamy odmianę frezowania, gdy frez styka się z powierzchnią obrabianą w sposób przeważający swą powierzchnią czołową.

Frezowaniem skośnym nazywamy odmianę frezowania, gdy oś obrotu freza tworzy z powierzchnią obrabianą kąt różny od 0° i 90° , występuje we wszystkich przypadkach stosowania frezów kątowych.

Z powyższego wynika, że przy frezowaniu walcowym oś obrotu freza jest równoległa do powierzchni obrabianej, zaś przy frezowaniu czołowym — prostopadła do niej.

Frezy do frezowania walcowego są przystosowane do skrawania ostrzami o krawędziach skrawających, leżących na powierzchni walca, który można opisać na

frezie. Frezy do frezowania czołowego przystosowane są do skrawania ostrzami o krawędziach skrawających, leżących na powierzchni czołowej freza oraz częściowo na powierzchni walcowej.



Rys.3.2. Technologiczne odmiany frezowania: a) walcowe, b) czołowe, c) skośne wg [1]

Frezy, które mogą skrawać krawędziami leżącymi na powierzchni czołowej freza oraz równocześnie na dłuższej części powierzchni walcowej, nazywają się *frezami walcowo-czołowymi*; wykonuje się nimi *frezowanie walcowo-czołowe*.

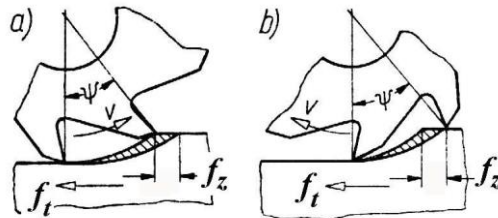
Oprócz omówionych odmian frezowania wyodrębniamy jeszcze inne odmiany, których nazwy pochodzą od kształtu obrabianej powierzchni i od typu używanego freza (np. *frezowanie czołowo-stożkowe* lub *frezowanie kształtowe*).

Pod względem konstrukcyjnym, frezowanie dzieli się na:

- **frezowanie pełne (trzystronne)** — w wyniku obróbki powstają w przedmiocie trzy powierzchnie obrabiane, a wymiar obróbkowy B jest wymiarem wewnętrznym,
- **frezowanie niepełne (dwustronne)** — w przedmiocie powstają dwie powierzchnie obrabiane, a wymiar obróbkowy B jest wymiarem mieszanym,
- **frezowanie swobodne (jednostronne)** - w przedmiocie powstaje jedna powierzchnia obrabiona (prosto- lub krzywokreślna), a wymiar obróbkowy ma kierunek prostopadły do powierzchni obrabianej lub kierunek zbliżony do prostopadłego.

Pod względem kinematycznym, rys. 3.3, frezowanie dzieli się na:

- **frezowanie przeciwbieżne** — przedmiot obrabiany wykonuje ruch posuwowy w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu ostrzy freza,
- **frezowanie współbieżne** — przedmiot obrabiany wykonuje ruch posuwowy w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu ostrzy freza.



Rys. 3.3. Schemat frezowania: a) przeciwbieżnego, b) współbieżnego wg [2]

Pod względem dokładności obróbki frezowanie dzieli się na: zgrubne, średnio dokładne, dokładne i osiągnane w wyjątkowych przypadkach - bardzo dokładne.

3.3. PRĘDKOŚĆ RUCHU NARZĘDZIA I MATERIAŁU OBRABIANEGO

Niezależnie od odmiany kinematycznej lub technologicznej frezowania, określenia prędkości ruchu obrotowego narzędzia oraz ruchu posuwowego przedmiotu są jednakowe.

Prędkością ruchu głównego jest prędkość obwodowa ruchu obrotowego narzędzia v_c , określana ze wzoru :

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (3.1)$$

gdzie: d - zewnętrzna średnica freza w [mm],
 n - prędkość obrotowa wrzeciona w [obr/min].

Ruch pomocniczy przedmiotu, czyli posuw, może być prostoliniowy lub krzywoliniowy, a w szczególności śrubowy. Posuw śrubowy stosuje się przy frezowaniu uzębień, gwintów, rowków śrubowych itp.

Przy ruchu posuwowym prostoliniowym prędkość tego ruchu nazywamy prędkością posuwu i oznaczamy f_t w [mm/min].

Jeśli przy posuwie f_t prędkość obrotowa wrzeciona wynosi n [obr/min], to tzw. posuw na obrót f wyrażamy wzorem (3.2) a posuw na ostrze f_z wzorem (3.3):

$$f = \frac{f_t}{n} \quad [\text{mm/obr}] \quad (3.2)$$

$$f_z = \frac{f}{z} = \frac{f_t}{nz} \quad [\text{mm/ostrze}] \quad (3.3)$$

Ze złożenia ruchu obrotowego freza i prostoliniowego ruchu posuwowego przedmiotu powstaje tor ostrza względem stołu, który jest cykloidą wydłużoną.

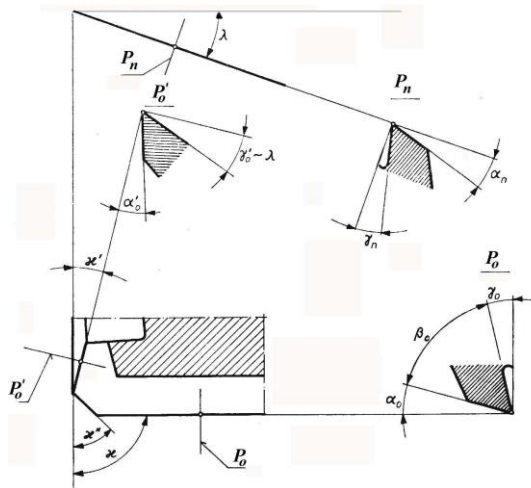
3.4. OPIS OSTRZY FREZÓW WALCOWYCH

Frezy walcowe wykonywane są z ostrzami ze stali szybko tnącej lub z węglików spiekanych.

Ze względu na położenie ostrzy względem *osi* rozróżniamy *frezy z ostrzami prostymi* (równoległymi do osi) oraz *frezy z ostrzami śrubowymi* (główna krawędź skrawająca tworzy linię śrubową na powierzchni walcowej freza).

Za przekrój główny, w którym charakteryzuje się ostrza kątem natarcia i przyłożenia, przyjęto uważać przekrój prostopadły do krawędzi skrawającej. Ten sposób wymiarowania kątów ostrza freza jest uzasadniony ze względu na sposób wykonywania (ostrzenia) ostrzy.

Na rys. 3.4 przedstawiono geometrię w układzie narzędzia freza walcowego nasadzanego, przeznaczonego do frezowania powierzchni płaskich. Płaszczyzna podstawowa P_r przechodzi przez rozpatrywany punkt krawędzi ostrza i oś freza. Kąt przystawienia wyznaczany w tej płaszczyźnie $\chi = 90^\circ$. Warto zwrócić uwagę, że we frezach walcowych, niektóre płaszczyzny odniesienia pokrywają się (P_f i P_o oraz P_p i P_s), w związku z tym kąty natarcia główne i boczne są sobie równe ($\gamma_o = \gamma_f$), analogicznie kąt ostrza $\beta_o = \beta_f$ oraz kąt przyłożenia $\alpha_o = \alpha_f$. W przypadku gdy kąt pochylenia krawędzi jest równy zero ($\lambda = 0$), pokrywają się wszystkie trzy płaszczyzny odniesienia: P_o , P_f i P_n , a kąty natarcia, ostrza i przyłożenia wyznaczone w tych płaszczyznach są wzajemnie równe ($\gamma_o = \gamma_f = \gamma_n$; $\alpha_o = \alpha_f = \alpha_n$; $\beta_o = \beta_f = \beta_n$).



Rys. 3.4. Geometria freza walcowo-czołowego w układzie narzędzia wg [3]

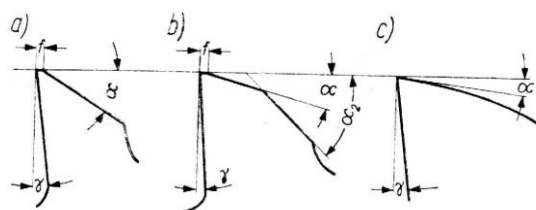
W przypadku gdy kąt $\lambda = 0$ frez walcowy ma rowki wiórowe i ostrza proste, gdy $\lambda \neq 0$ rowki wiórowe i ostrza są śrubowe. Frezy takie nazywamy odpowiednio frezami walcowymi o ostrzach (zębach) prostych lub śrubowych. Kąt pochylenia krawędzi λ jest jednocześnie kątem pochylenia linii śrubowej rowka wiórowego i krawędzi ostrza.

Wpływ posuwu na zmianę kątów natarcia γ_x i przyłożenia α_x w czasie skrawania jest przy frezowaniu walcowym bardzo niewielki.

Kąt natarcia stosowany we frezach ze stali szybko tnącej waha się w granicach od 10° — dla średniej twardości stali, do 20° - dla miękkiej stali. Ostrza z węglików spiekanych mają zazwyczaj kąty natarcia od $0^\circ - 15^\circ$.

Powierzchnia przyłożenia freza może mieć kształt tzw. *jednościny*, *dwuściny* lub *zataczany* – rys.3.5. Wielkości kątów przyłożenia wahają się w zakresie $10^\circ - 20^\circ$. Ostrza frezów walcowych mają od strony powierzchni przyłożenia ścin, który powstaje przez wyrównywanie różnic wysokości ostrzy, aby uniknąć w czasie pracy tzw. *bicia*. Szerokość ścina f jest rzędu dziesiątych milimetra.

Kąt pochylenia linii śrubowej krawędzi skrawających zwiększa liczbę ostrzy równocześnie pracujących oraz zmniejsza nierównomierność obciążenia freza.



Rys. 3.5. Kształty powierzchni przyłożenia wg [2]

3.5. PARAMETRY WARSTWY SKRAWANEJ FREZOWANIA WALCOWEGO

Głębokością skrawania a nazywamy wymiar warstwy skrawanej (zbieranej w jednym przejściu), mierzony prostopadle do płaszczyzny obrabianej. Głębokość skrawania określa się jednakowo dla wszystkich odmian frezowania walcowego.

Szerokość frezowania B jest to wymiar warstwy skrawanej mierzony w kierunku prostopadłym do posuwu i równoległe do płaszczyzny obrabianej. Określa się go również jednakowo dla wszystkich odmian frezowania walcowego.

Każde ostrze freza styka się z materiałem obrabianym przez czas skrawania, odpowiadający kątowi obrotu freza ψ . Ten kąt obrotu freza nazywamy *kątem pracy ostrza* lub *kątem styku ostrza z materiałem*. Kąt pracy ostrza freza obliczamy ze wzoru (3.4), natomiast czas styku ostrza t_ψ obliczamy ze wzoru (3.5).

$$\cos \psi = 1 - \frac{2a}{d} \quad (3.4)$$

$$t_{\psi} = \frac{\psi}{360^{\circ}} \cdot \frac{60}{n} = \frac{\arccos\left(1 - \frac{2a}{d}\right)}{6n} [s] \quad (3.5)$$

gdzie: ψ - kąt pracy ostrza, a_p - głębokość skrawania w [mm], d - średnica freza w [mm], n - prędkość obrotowa freza w [obr/min].

3.6. CZAS MASZYNOWY FREZOWANIA WALCOWEGO

Czas maszynowy przy frezowaniu walcowym oblicza się według wzoru:

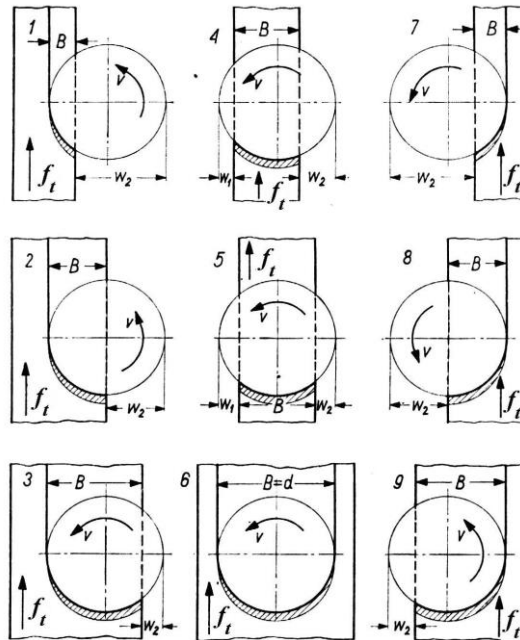
$$t_m = \frac{l_d + l + l_w}{f_z z n} [\text{min}] \quad (3.6)$$

gdzie: l_d — długość dobiegu w mm, l — długość frezowanej powierzchni w [mm], l_w - długość wybiegu w [mm].

3.7. ODMIANY FREZOWANIA CZOŁOWEGO

Rozróżniamy następujące odmiany frezowania czołowego, rys. 3.6: 1) *frezowanie czołowe pełne*, gdy szerokość frezowania B jest równa średnicy freza d oraz 2) *frezowanie czołowe niepełne*, gdy szerokość frezowania B jest mniejsza od średnicy freza d . Frezowanie niepełne można z kolei podzielić na:

- a) *jednostronne*, gdy frez wystaje poza płaszczyznę obrabianą tylko z jednej strony, czyli gdy $\omega_1 = 0$, a $0 < \omega_2 < d$,
- b) *dwustronne*, gdy frez wystaje poza płaszczyznę obrabianą z obu stron, czyli gdy $0 < \omega_1 < d$ i $0 < \omega_2 < d$.



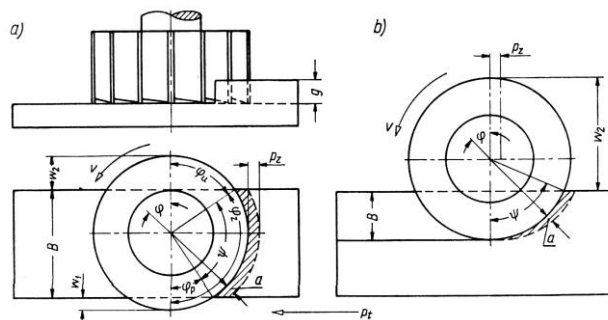
Rys. 3.6. Odmiany frezowania czołowego wg [2]

Frezowanie niepełne dwustronne może być: niesymetryczne, gdy $\omega_1 = \omega_2$ oraz symetryczne, gdy $\omega_1 = \omega_2$.

Klasyfikacja odmian frezowania czołowego oparta jest zatem na podstawie różnego usytuowania przedmiotu względem freza oraz szerokości frezowania. Niezależnie od tego pozostaje podstawa klasyfikacji na *frezowanie przeciw-* i *współbieżne*. Podstawą tą jest wzajemne położenie wektorów prędkości skrawania i prędkości posuwu. Przy frezowaniu czołowym jednak, zwłaszcza pełnym i niepełnym dwustronnym, ostrze pracuje zawsze przy wcinaniu przeciwbieżnie, a przy wyjściu współbieżnie.

3.8. PARAMETRY WARSTWY SKRAWANEJ PRZY FREZOWANIU CZOŁOWYM

Parametry warstwy skrawanej przy frezowaniu czołowym są takie same, jak przy frezowaniu walcowym. Różnica polega tylko na tym, że zgodnie z podaną uprzednio definicją głębokości skrawania przy frezowaniu czołowym jest to wymiar warstwy skrawanej w tym kierunku, w którym przy frezowaniu walcowym mierzy się szerokość frezowania, rys. 3.7.



Rys. 3.7. Parametry warstwy skrawanej przy frezowaniu czołowym niepełnym:
a) dwustronnym, i b) jednostronnym, wg [2]

Frezowanie niepełne dwustronne charakteryzuje się tym, że ostrze freza wcina się w materiał pod kątem wcinania φ_p i wychodzi z materiału pod kątem wyjścia φ_z . Ponieważ *grubość warstwy skrawanej* a wyraża się tym samym wzorem, jak przy frezowaniu walcowym, więc przy frezowaniu niepełnym dwustronnym ostrze **zaczyna** skrawać warstwę o grubości : $a_p = f_z \sin \varphi_p$ [mm] i kończy skrawać z grubością : $a_z = f_z \sin \varphi_z$ [mm].

Kąt pracy ostrza w przypadku frezowania czołowego jest więc różnicą między kątem wyjścia i kątem wcinania

$$\psi = \varphi_z - \varphi_p \quad (3.7)$$

Frezowanie jednostronne jest szczególnym przypadkiem frezowania czołowego, gdy $\varphi_p=0$.

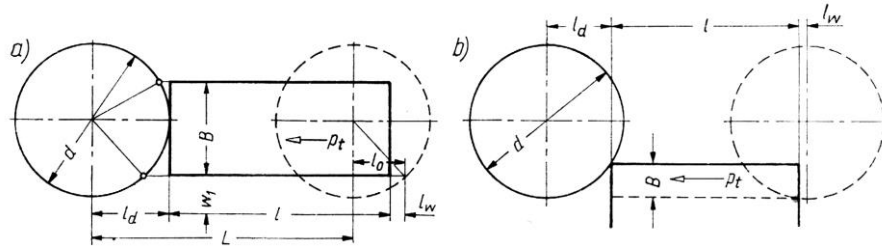
3.9. OBLICZANIE CZASU MASZYNOWEGO PRZY FREZOWANIU CZOŁOWYM

Czas maszynowy przy frezowaniu czołowym niepełnym dwustronnym oblicza się wg wzoru (3.8), rys. 3.8.

$$t_m = \frac{l_d + l - l_0 + l_w}{f_t} = \frac{0,5d + l - \omega_1 \sqrt{\frac{d}{\omega_1} - 1} + l_w}{f_z z n} \quad [\text{min}] \quad (3.8)$$

gdzie: l_d - długość dobiegu w [mm], l - długość powierzchni obrabianej w [mm],

l_0 -skrócenie długości skrawania na skutek niepełnego frezowania w [mm].



Rys. 3.8 Schemat do obliczania czasu maszynowego wg [2]

Literatura:

- [1] Poradnik Inżyniera „Obróbka skrawaniem” t.I, WNT, W-wa 1991.
- [2] Jan Kaczmarek „Podstawy obróbki wiórowej, ścierniej i erozyjnej”, WNT, W-wa 1970.
- [3] Jerzy Dmochowski „Podstawy obróbki skrawaniem”, PWN, W-wa 1978.
- [4] Krzysztof Jemieliński „Obróbka skrawaniem”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, W-wa 1998.