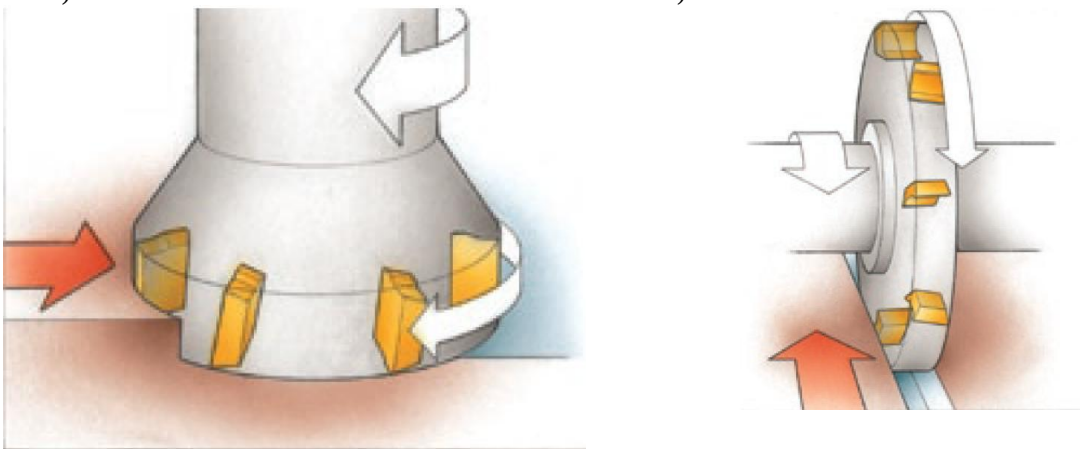
Charakterystyka procesu frezowania
Wiadomości ogólne

Frezowaniem nazywamy rodzaj obróbki skrawaniem, w którym ruch główny obrotowy wykonuje narzędzie (frez, głowica frezowa), natomiast ruch posuwowy może być wykonywany przez:

a) przedmiot obrabiany – jest to najczęstsza sytuacja,
b) narzędzie,
c) jednocześnie narzędzie i przedmiot obrabiany.

Za pomocą frezowania możliwe jest wykonanie: płaszczyzn, rowków, kanałków, powierzchni kształtowych, gwintów i uzębień. Ze względu na to, iż materiał jest usuwany jednocześnie przez wiele ostrzy, frezowanie jest obróbką bardzo wydajną. Każde z ostrzy wykonuje pracę co pewien określony czas. Daje to możliwość odpływu ciepła w głąb korpusu narzędzia podczas przebywania przez ostrze drogi jałowej, co stanowi zjawisko korzystne. Problemem natomiast jest występowanie w materiale ostrza naprężeń zmiennych, wywoływanych okresowo pojawianiem się i zanikaniem sił skrawania na każdym ostrzu. Powoduje to również występowanie drgań wymuszonych w układzie obrabiarka – narzędzie – przedmiot.
W obróbce frezarskiej wyróżnić możemy odmiany frezowania pokazane na rys 1.

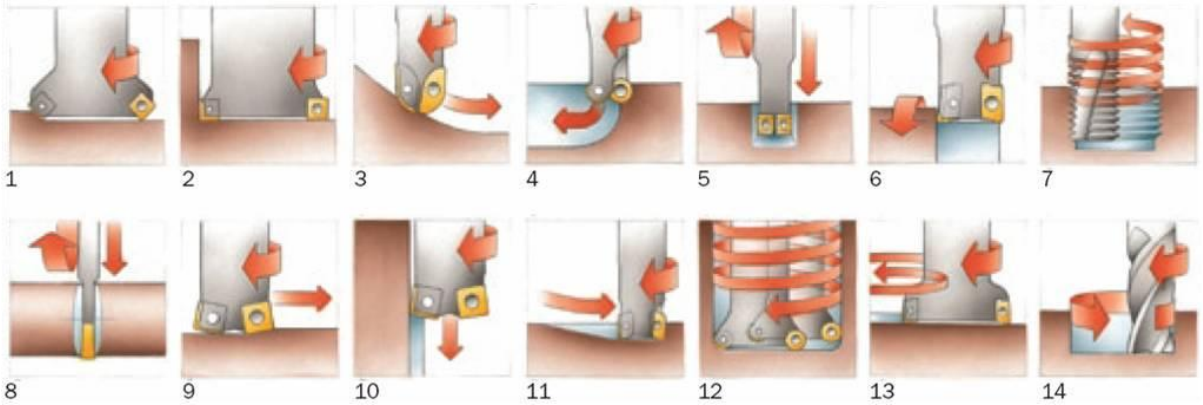
a) frezowanie czołowe b) frezowanie obwodowe



Rys. 1 Kinematyka podstawowych odmian frezowania

Podział podstawowych odmian frezowania wynika z różnego rozmieszczenia ostrzy skrawających. W przypadku frezowania czołowego ostrza rozmieszczone są na powierzchni czołowej i obwodowej, natomiast we frezowaniu obwodowym ostrza rozmieszczone są tylko na powierzchni obwodowej. W dzisiejszych czasach frezowanie czołowe zastępuje frezowanie obwodowe. Jest to podyktowane zaletami wynikającymi ze stosowania frezowania czołowego takimi jak: większa gładkość powierzchni i dokładność wymiarowa, stabilniejsza praca obrabiarki oraz większa wydajność obróbki.
Do podstawowych zabiegów procesu frezowania należą (rys. 2):

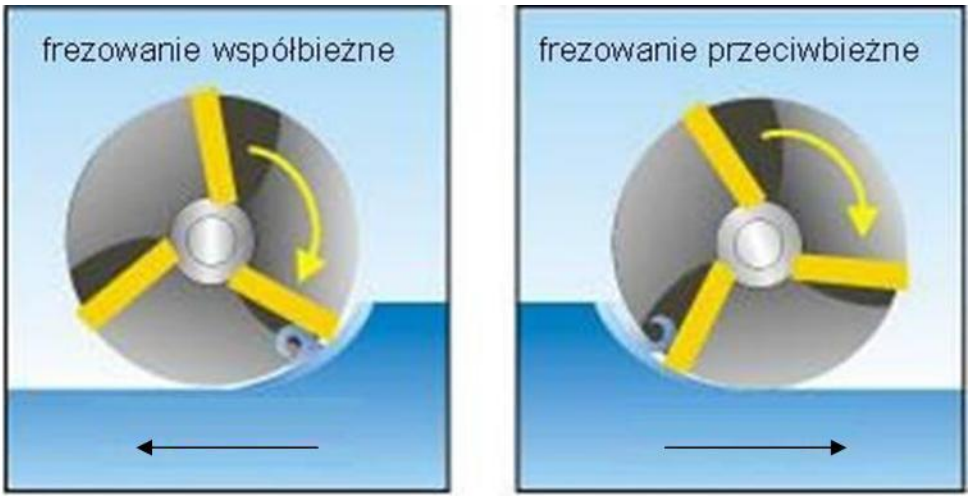
1. frezowanie czołowe płaszczyzn,
2. frezowanie walcowo – czołowe,
3. frezowanie profilowe powierzchni,
4. frezowanie profilowe kieszeni,
5. frezowanie rowków,
6. frezo-toczenie,
7. frezowanie gwintów,
8. frezowanie wąskich kanałków i przecinanie,
9. frezowanie z wysokimi posuwami,
10. frezowanie wgłębne,
11. zagłębianie skośne,
12. zagłębianie po linii śrubowej,
13. ruch po łuku okręgu,
14. frezowanie trochoidalne.



Rys. 2 Proces frezowania – zabiegi

Rozpatrując kierunek ruchu obrotowego narzędzia i ruchu posuwowego narzędzia frezowanie można podzielić na (rys. 3):

a) współbieżne,
b) przeciwbieżne.



Rys. 3 Frezowanie współbieżne i przeciwbieżne

Gdy kierunek posuwu przedmiotu obrabianego jest przeciwny do kierunku obrotów narzędzia frezarskiego wtedy mówimy o frezowaniu przeciwbieżnym, stosowanym do obróbki przedmiotów o twardej powierzchni, gdyż narzędzie zaczyna skrawanie od powierzchni już obrobionej.
W sytuacji odwrotnej, gdy kierunek ruchu posuwowego przedmiotu obrabianego jest zgodny z kierunkiem ruchu obrotowego narzędzia frezarskiego mamy do czynienia z frezowaniem współbieżnym. Parametry skrawania mogą być wyższe w porównaniu do frezowania przeciwbieżnego, jednak to frezowanie wymaga niewielkich luzów w napędzie, gdyż ostrza narzędzia skrawającego wnikają w materiał przy dużej grubości wióra. W efekcie uzyskujemy powierzchnię równą i matową.

Parametry skrawania dla frezowania

Znajomość parametrów skrawania i ich odpowiedni dobór są warunkiem uzyskania wyrobu o żądanych dokładnościach. Proces skrawania przy dobrze dobranych parametrach będzie wydajny i wykonywany przy optymalnych nakładach finansowych. Najważniejsze jest by dokładność wykonania nie podlegała wahaniom. Wyższa dokładność wykonania od wymaganej jest uzasadniona tylko wtedy, gdy nie prowadzi do wzrostu kosztów
i wydajności. W rzeczywistości taka sytuacja jest mało realna. Większą dokładność osiąga się zwiększonym kosztem i spadkiem wydajności.

Podstawowe parametry frezowania (pokazane na rysunkach 6, 7, 8):

a) v_c – prędkość skrawania – prędkość obwodowa narzędzia określana wzorem:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \qquad (1)$$

d [mm] – średnica freza
n [obr/min] – prędkość obrotowa freza (obroty wrzeciona)
$\pi \approx 3{,}14$

b) f_z – posuw na ostrze – odległość o jaką przemieszcza się stół obrabiarki podczas jednego obrotu freza podzielona przez liczbę ostrzy:

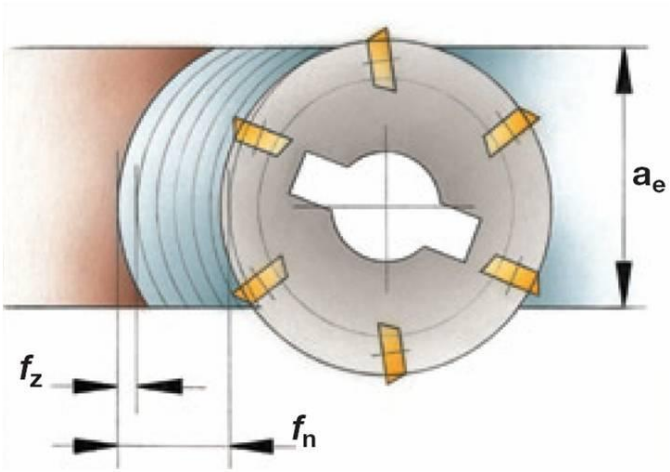
$$f_z = \frac{f}{z} \text{ [mm/ostrze]} \qquad (2)$$

f – [mm/min] – posuw na jeden obrót
z – liczba zębów freza

c) f_t – posuw minutowy – wartość prędkości ruchu posuwowego wyrażona w [mm/min], określona wzorem:

$$f_t = f_z \cdot z \cdot n \qquad (3)$$

f_z – [mm/ostrze] – posuw na ostrze
z – liczba zębów freza
n – [obr/min] – prędkość obrotowa freza (obroty wrzeciona)



Rys. 6 Posuw we frezowaniu

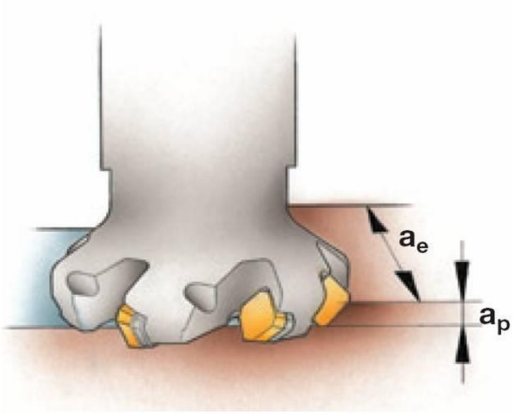
d) v_f – posuw minutowy – określenie równoznaczne z pojęciem prędkości ruchu posuwowego. Określa długość drogi [mm] przebytej przez przedmiot obrabiany w ciągu 1 minuty. Wyraża się wzorem:

$$v_f = f \cdot n \qquad (4)$$

f – posuw na jeden obrót
n – obroty wrzeciona

e) a_p – głębokość skrawania – wielkość określająca długość zetknięcia się krawędzi skrawającej freza z przedmiotem obrabianym. Dla frezowania czołowego wielkość tę interpretuje się jako wartość zagłębienia powierzchni czołowej narzędzia względem powierzchni przedmiotu obrabianego.

f) a_e – szerokość skrawania – wymiar określany prostopadle do głębokości. W przypadku frezowania czołowego będzie to szerokość obszaru pokrytego powierzchnią czołową freza, a w przypadku frezowania obwodowego będzie to promieniowe zagłębianie freza.



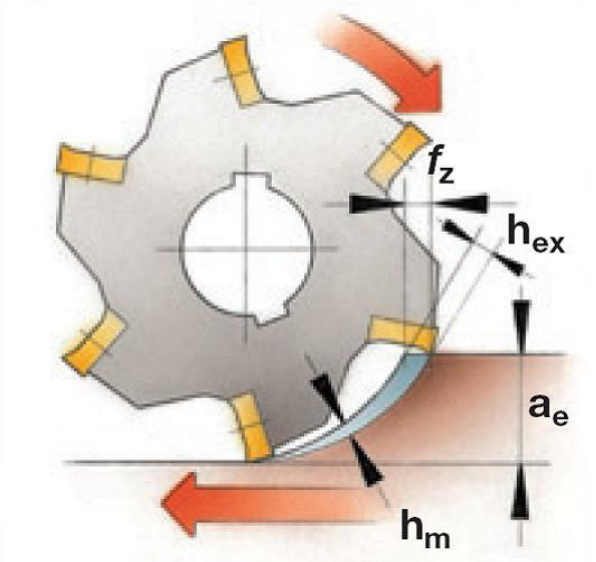
Rys. 7 Głębokość i szerokość skrawania

g) h_m – średnia grubość wióra – wartość obliczana w zależności od sposobu i stopnia styku narzędzia z materiałem obrabianym, przydatna do wyznaczania oporu właściwego skrawania oraz obliczeń zapotrzebowania mocy

$$h_m = f_z \cdot a_p \text{ [mm]} \qquad (5)$$

f_z [mm/obr] – posuw na ostrze
a_p [mm]– osiowa głębokość skrawania

h) h_{ex} – maksymalna grubość wióra – w odniesieniu do tego wskaźnika projektuje się m.in. krawędzie skrawające frezów, istotny a zarazem limitujący wskaźnik dla narzędzia



Rys. 8 Średnia i maksymalna szerokość wióra

i) t_c – czas obróbki, dla frezowania określany wzorem

$$t_c = \frac{L}{f_z \cdot z \cdot n} \text{ [min]} \qquad (6)$$

L [mm] – długość frezowanej powierzchni + dobieg/wybieg narzędzia
f_z [mm/ostrze] – posuw na ostrze
z – liczna ostrzy
n [obr/min] – prędkość obrotowa

Narzędzia frezarskie

Frezy to wieloostrzowe narzędzia w kształcie obrotowych brył, które na obwodzie posiadają ostrza skrawające. Narzędzia te zaczęto stosować we Francji przy końcu XVIII wieku. Ich pierwotna postać przypominała w kształcie poziomkę, stąd zawdzięczamy ich nazwę „la fraise" co z francuskiego znaczy poziomka, truskawka.

Według „Poradnika frezera" Eugeniusza Górskiego istnieje wiele podziałów frezów. Zaczynając od podziału podobnego dla wszystkich narzędzi skrawających mamy frezy normalne i specjalne.

a) Frezy normalne są to frezy przeznaczone do obróbki płaszczyzn, rowków, gwintów, uzębień itp. Ze względu na to, iż są objęte normami państwowymi nazywamy je frezami normalnymi.
b) Frezy specjalne są przeznaczone do obróbki przedmiotów o specjalnych powierzchniach. To frezy kształtowe o zarysie odpowiadającym kształtowi obrabianej powierzchni. Frezy takie wykonuje się na specjalne zamówienie i stosuje się je głównie w produkcji wielkoseryjnej i masowej.

Podział frezów ze względu na przeznaczenie:

a) do obróbki powierzchni płaskich, płaszczyzn: walcowe, walcowo – czołowe, głowice frezowe,
b) do rowków: prostokątnych: tarczowe jedno lub trzystronne palcowe; kątowych: kątowe symetryczne, niesymetryczne lub jednostronne,
c) do gwintów: jedno lub wieloostrzowe,
d) do kół zębatych: krążkowe lub ślimakowe.

Biorąc pod uwagę materiał ostrza, frezy możemy podzielić na:

a) Frezy ze stali stopowych.
b) Frezy ze stali szybkotnących, można je dodatkowo podzielić na jednolite, zgrzewane stykowo, z wymiennymi, wstawianymi ostrzami.
c) Frezy z płytkami z węglików spiekanych, możemy je podzielić dodatkowo na trzy grupy w zależności od sposobu połączenia ostrza z korpusem freza. Frezy z płytkami przylutowanymi, frezy z płytkami mocowanymi mechanicznie, frezy z wkładkami ze stali konstrukcyjnej mocowanymi mechanicznie i zaopatrzonymi w przylutowane płytki z węglików spiekanych jak np. głowice frezarskie.

Ze względu na sposób zamocowania frezy dzielimy na:

a) Frezy nasadzane – posiadają otwór w korpusie frezu do osadzenia na trzpieniu frezarskim,
b) Frezy trzpieniowe – część robocza i część chwytowa stanowi jedną całość i jest mocowana bezpośrednio w gnieździe wrzeciona obrabiarki lub pośrednio w tulei redukcyjnej.

Rozważając rodzaj ostrzy frezy dzieli się na:

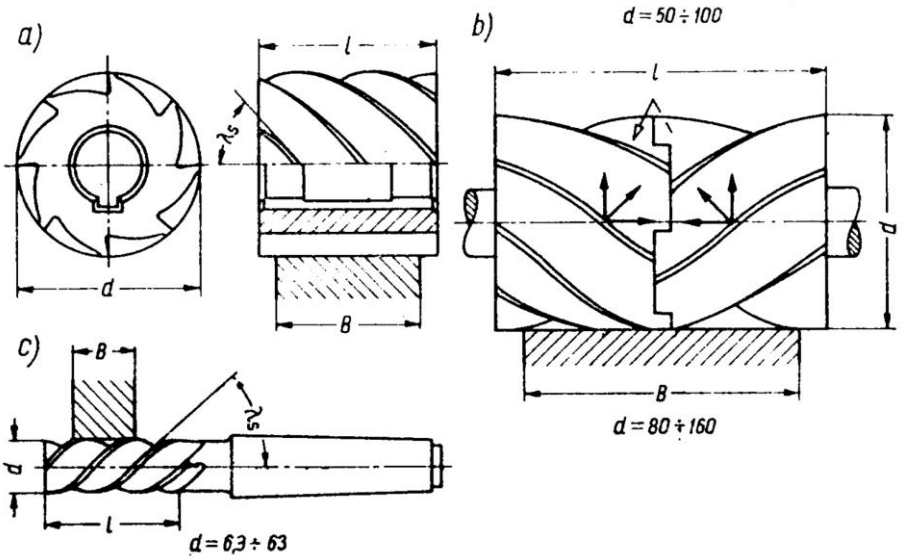
a) Frezy z ostrzami ścinowymi:
   - jednościnowymi,
   - dwuścinowymi,
   - z grzbietem krzywoliniowym,
b) Frezy z ostrzami zataczanymi:
   - po spirali,
   - po linii prostej.

Podział ten jest istotny, ponieważ wiąże się z odmienną technologią ich wyrobu i ostrzenia.

Z punktu widzenia kierunku pracy, frezy możemy podzielić na:

a) Frezy prawotnące – kierunek skrawania dla obserwatora patrzącego od strony zamocowania, jest zgodny z kierunkiem ruchu wskazówki zegara,
b) Frezy lewotnące – obowiązuje ta sama zasada co powyżej jednak kierunek skrawania jest przeciwny do kierunku wskazówek zegara.

Frezy walcowe posiadają ostrza tylko na krawędzi walcowej i są przeznaczone do obróbki płaszczyzn. Długość freza l jest dobierana w zależności od szerokości płaszczyzny frezowanej B. Średnica zewnętrzna d związana jest ze średnicą otworu freza dobieraną w zależności od trzpienia frezarskiego, na którym mocuje się frez, oraz od warunków obróbki.



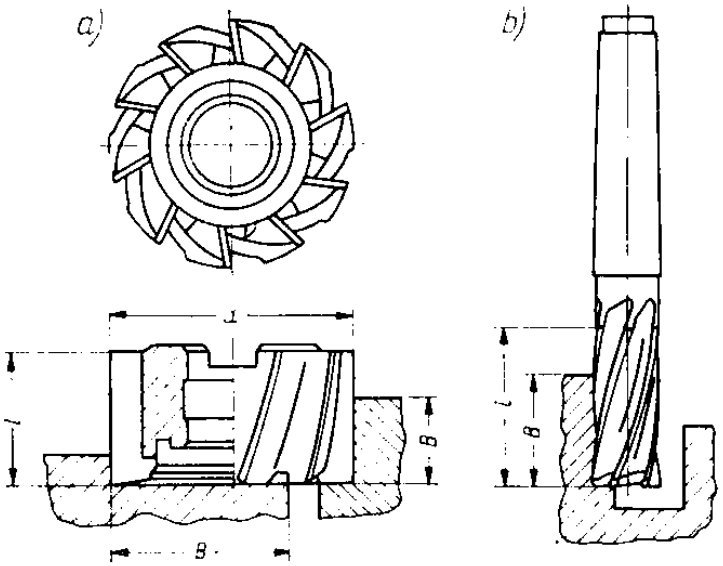
Rys. 10 Rodzaje frezów walcowych: a) nasadzane, b) nasadzane zespołowe, c) trzpieniowe

Przedstawione na rysunku 10a) i b) frezy walcowe mają ostrza śrubowe z dużym kątem pochylenia $\lambda_s = 45°$, ułatwia to pracę ostrzy oraz zapewnia spokojną pracę narzędzia. Frezy trzpieniowe (rys. 10c) z drobnymi ostrzami mają kąt $\lambda_s = 20°$.

Frezy zespołowe z przeciwną zwojnością ostrzy na obu połówkach (rys. 10b) wykorzystuje się do obróbki szerokich płaszczyzn lub do dużych głębokości frezowania. Zaletą ich stosowania jest wzajemne znoszenie się sił osiowych, występujących na obu częściach freza. Frezy walcowe nasadzane, zespołowe wykonuje się jako jednolite ze stali szybkotnącej.

Frezy walcowe o małych średnicach są wykonywane ze stali szybkotnącej jako trzpieniowe jednolite lub łączone w sposób trwały (rys. 11c). Stosuje się je do obróbki wąskich płaszczyzn, a głównie do frezowania płaskich roboczych powierzchni krzywek.

Frezy walcowo – czołowe posiadają ostrza na powierzchni obwodowej i na jednej z dwóch powierzchni czołowych. Używa się ich do frezowania jednostronnie ograniczonych płaszczyzn, ewentualnie wąskich płaszczyzn swobodnych. Gdy frez pracuje ostrzami czołowymi, to dobierana jest jego średnica *d* w zależności od szerokości *B* frezowanej płaszczyzny. W przypadku, gdy frez pracuje ostrzami obwodowymi dobierana jest długość *l*. Obie sytuacje przedstawia rysunek 11.

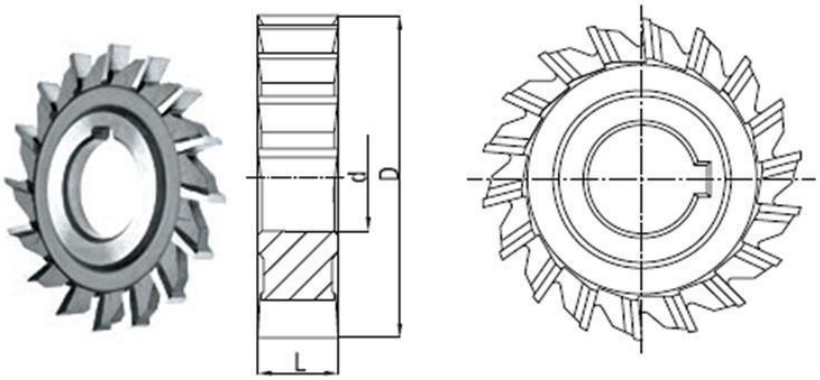


Rys. 11 Frezy walcowo – czołowe a) nasadzany, b) trzpieniowy

Ostrza na powierzchni obwodowej freza są śrubowe o kącie pochylenia λ_s, który jest uzależniony od wartości kąta natarcia na ostrzach czołowych.

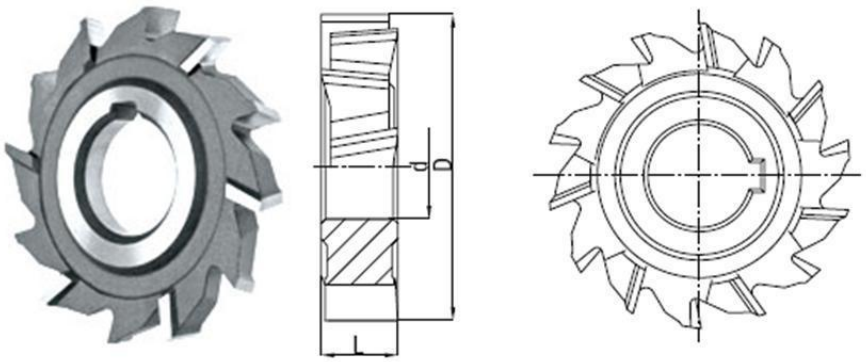
Frezy tarczowe. Istnieje ich wiele odmian, najczęściej stosowanymi są frezy tarczowe trzystronne o ostrzach prostych i naprzemianskośnych. Te pierwsze mają ostrza proste na powierzchni obwodowej oraz na obu

powierzchniach czołowych (rys. 12). Szerokość freza *L* jest dobierana w zależności od szerokości frezowanego rowka. Frezy te stosujemy do stosunkowo płytkich rowków przy małych posuwach na ostrze.



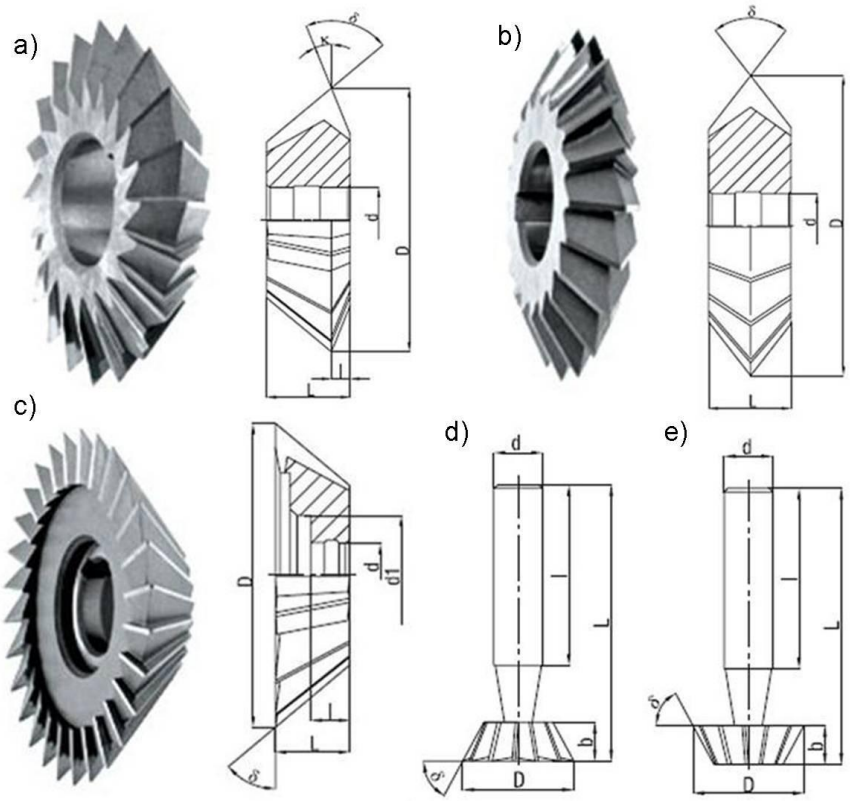
Rys. 3.12 Frez tarczowy trzystronny

Kolejną grupę stanowią frezy tarczowe trzystronne naprzemianskośne (rys. 13). Frezy te mają skośne ostrza na obwodzie i obydwóch powierzchniach czołowych z tym, że co drugie ostrze jest ścięte. Ścięcie ostrza czołowego wykonane jest z tej strony, na której wartość kąta natarcia równa kątowi pochylenia ostrza obwodowego, byłaby ujemna. Takie frezy wykonuje się o tych samych średnicach i szerokościach co poprzednie, ale stosuje się je do frezowania głębokich rowków z dużymi posuwami na ostrze.



Rys. 3.13 Frez tarczowy trzystronny naprzemianskośny

Kolejną grupę frezów stanowią frezy kątowe. Stosujemy je do jednoczesnego frezowania dwóch wąskich powierzchni płaskich sprzężonych, jak np. w przypadku rowków o przekroju trójkątnym lub rzadziej do frezowania pojedynczych wąskich powierzchni płaskich pochylonych. Frezy kątowe ze względu na sposób mocowania możemy podzielić na: trzpieniowe lub krążkowe (nasadzane).

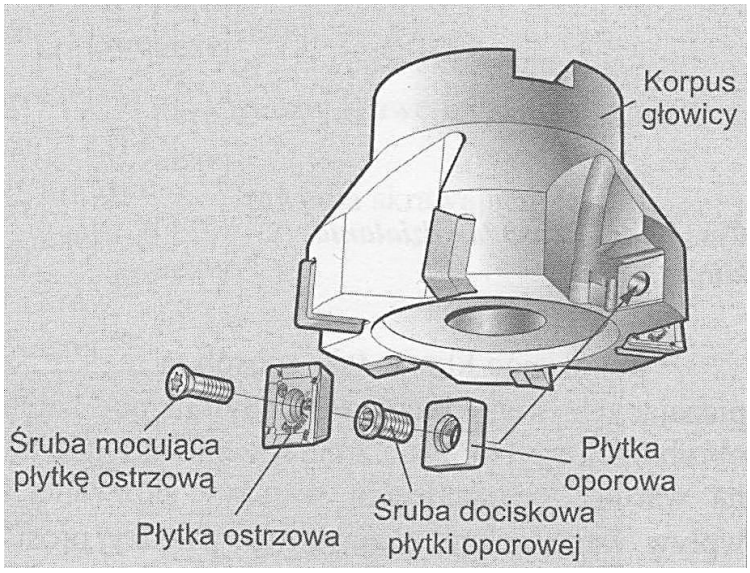


Rys. 14 Rodzaje frezów kątowych: a) krążkowe niesymetryczne,
b) krążkowe symetryczne, c) krążkowe jednostronne, d) trzpieniowe wewnętrzne,
e) trzpieniowe zewnętrzne

Frezy kątowe krążkowe dwukątne niesymetryczne (rys. 14a) posiadają ostrza na obydwóch powierzchniach stożkowych z różniącymi się od siebie kątami przystawienia krawędzi skrawających. W celu określenia wymiarowego tych frezów podaje się wartości kąta naroża δ (jako kąta rozwarcia tworzących obu powierzchni stożkowych) oraz mniejszego kąta przystawienia κ.
We frezach kątowych krążkowych dwukątnych symetrycznych (rys. 14b) ostrza znajdują się na obu symetrycznych powierzchniach stożkowych.
Frezy kątowe krążkowe jednokątne (rys. 14c) mają ostrza na jednej powierzchni stożkowej oraz na powierzchni czołowej o większej średnicy. Są wykorzystywane do frezowania rowków o przekroju trójkątnym, oraz do obróbki skośnych powierzchni płaskich, np. w prowadnicach.
Frezy kątowe trzpieniowe wewnętrzne (rys. 14d) przeznaczone są do frezowania prowadnic w kształcie jaskółczego ogona, natomiast frezy kątowe trzpieniowe zewnętrzne (rys. 14e) do frezowania nieprzelotowych kanałków o przekroju trapezowym.

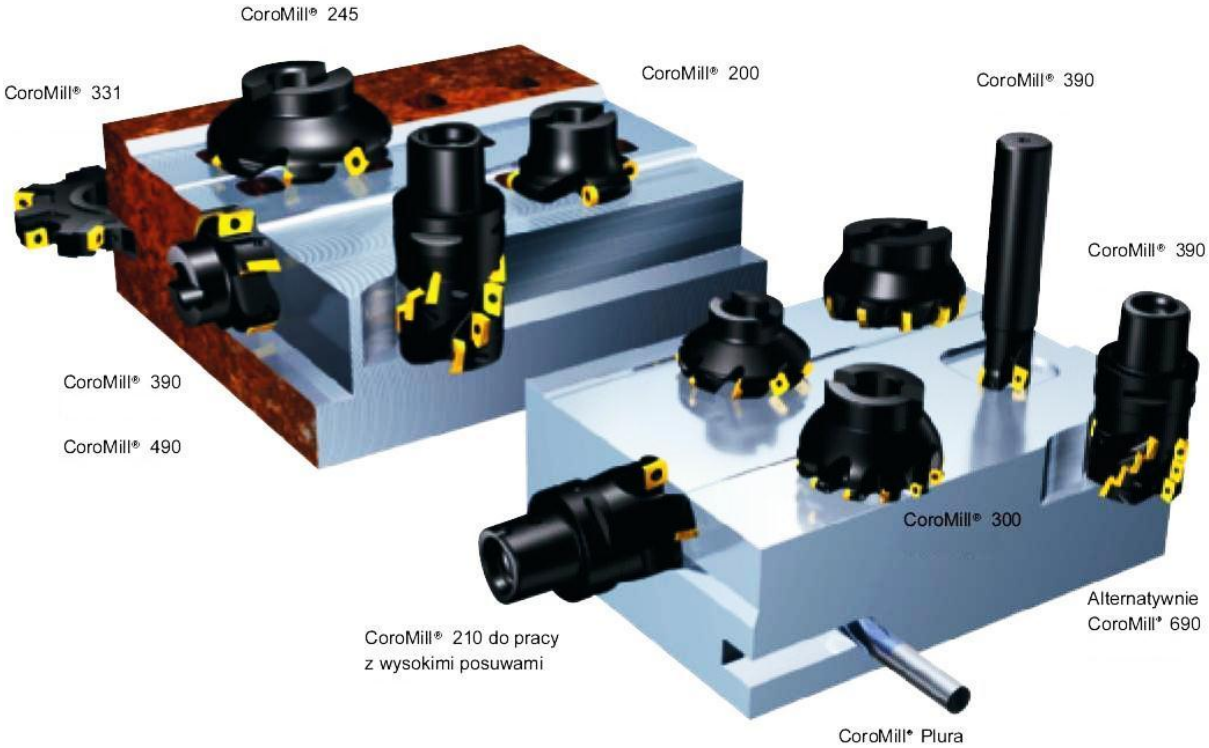
Kolejne frezy możemy zakwalifikować jako frezy różne. Są w tej grupie frezy krążkowe półokrągłe i ćwierćokrągłe, w których wielkością nominalną jest promień zarysu krawędzi skrawającej. Kolejno mamy frezy trzpieniowe do rowków teowych. Gdyż wielkością charakterystyczną dla tego typu rowków jest ich szerokość. Jest to zarazem wielkość nominalna dla frezów do rowków teowych. Dalej mamy frezy trzpieniowe do rowków na wpusty. Jak sama nazwa wskazuje służą do wykonywania rowków na wpusty przy wielokrotnym przejściu obróbkowym narzędzia. Dla takiego frezu wielkość nominalna to średnica części roboczej odpowiadająca średnicy frezowanego rowka. Kolejnymi frezami są frezy do rowków na wpusty czółenkowe. W tym przypadku wartością nominalną dla tych frezów będzie wysokość i szerokość wpustu czółenkowego.

Można powiedzieć, że wszystkie w/w w tym podrozdziale narzędzia frezarskie jesteśmy w stanie zastąpić narzędziami frezarskimi składanymi. Składane narzędzia frezarskie to frezy posiadające wymienne płytki wieloostrzowe. Mocowanie mechaniczne płytek z węglików spiekanych lub płytek ceramicznych w takich narzędziach przedstawione na rys. 15 zapewnia wysoką niezawodność tych narzędzi w stosunku do narzędzi z lutowanymi płytkami. W przypadku zużycia lub uszkodzenia krawędzi skrawającej narzędzia operator wymienia lub przestawia część roboczą płytki bez potrzeby ponownego ustawiania narzędzia na obrabiarce, gdyż część chwytowa może pozostać w zamocowaniu.



Rys. 15 Sposób mocowania płytki ostrzowej w głowicy frezarskiej

Na rys. 16 przedstawiono wszechstronny system frezowania obejmujący wysokowydajne rozwiązania narzędziowe od obróbki ciężko zgrubnej do wykańczającej.

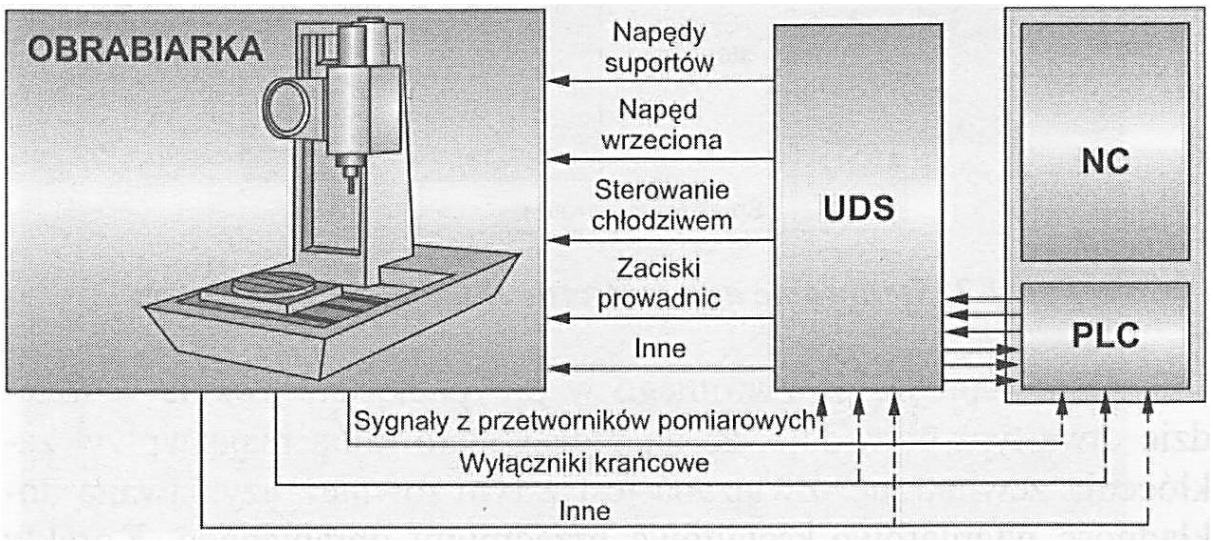


Rys. 16 Narzędzia CoroMill firmy Sandvik Coromant – od obróbki zgrubnej do wykończeniowej

Frezarki CNC

Obrabiarką sterowaną automatycznie w układzie otwartym lub zamkniętym z symbolicznym zapisem informacji, realizującą sterowanie pozycją zespołu sterowanego lub torem jego ruchu nazywamy obrabiarką sterowana numerycznie. Celem obrabiarki jest wykonywanie określonych zadań technologicznych. Konfiguracja obrabiarki sterowanej numerycznie przedstawiona na rys. 17 zapewnia wymianę informacji pomiędzy:

a) obrabiarką
b) układem dopasowująco – sterującym (UDS)
c) programowalnym sterownikiem logicznym (PLC – programmable Logic Control)
d) układem sterowania numerycznego (NC)



Rys. 17 Konfiguracja obrabiarki sterowanej numerycznie

Program sterujący będący matematycznym opisem ruchu wraz z informacjami technologicznymi, zapisany w formie symbolicznej jest odczytywany przez układ sterowania numerycznego NC. Komunikację pomiędzy układem NC a UDS zapewnia interfejs PLC. Natomiast układ dopasowująco – sterujący (UDS) służy bezpośrednio do sterowania elementami wykonawczymi obrabiarki.

Biorąc pod uwagę strukturę, sterowanie automatyczne możemy podzielić na sterowanie w układzie otwartym oraz zamkniętym. Sterowanie w układzie otwartym charakteryzuje się brakiem sprzężenia zwrotnego, co powoduje, że na proces sterowania mają wpływ zakłócenia wewnętrzne. Wpływają one na dokładność wymiarowo – kształtową przedmiotu obrabianego. Niestety w sterowaniu w układzie otwartym dopiero po wykonaniu i zmierzeniu przedmiotu obrabianego można dokonywać korekt nastaw. W odróżnieniu od tego sterowania, sterowanie w układzie zamkniętym posiada sprzężenie zwrotne sygnałów z czujników pomiarowych. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwa jest reakcja układu sterowania na zakłócenia powstające podczas obróbki.

Jeśli za kryterium podziału przyjmiemy wymagania stawiane w procesie technologicznym, możemy podzielić obrabiarki na umożliwiające sterowanie pozycją zespołu sterowanego (sterowanie punktowe) i na te umożliwiające sterowanie torem ruchu zespołu sterowanego. W tych ostatnich możemy wyróżnić obrabiarki umożliwiające sterowanie odcinkowe, kształtowe 2D oraz kształtowe 3D.

W ogólnym zarysie budowa obrabiarek CNC jest podobna do budowy obrabiarek konwencjonalnych. Zasadniczą różnicą jest komputerowe sterowanie zespołami odpowiedzialnymi za obróbkę, występujące w obrabiarkach CNC. W obrabiarkach tych wewnętrzny komputer jest odpowiedzialny za obliczanie, sterowanie i kontrolę wszystkich ruchów poszczególnych zespołów obrabiarki. Dla każdego kierunku ruchu istnieje osobny system pomiarowy wykrywający aktualne położenie zespołów i przekazujący je do komputera. W obrabiarkach konwencjonalnych występują dźwignie do nastawiania przełożeń, natomiast w obrabiarkach CNC mamy do czynienia z bezstopniową regulację prędkości obrotowej wrzeciona. Obrabiarki CNC nie posiadają kółek ręcznych do sterowania torem ruchu narzędzi, czasami posiadają jedno kółko, lecz ono umieszczone jest w pulpicie układu sterowania numerycznego i jego przełożenia są sterowane elektronicznie.
Zasadniczą różnicą są możliwości dokładnościowe obrabiarki CNC w stosunku do obrabiarki konwencjonalnej. Dokładność wymiarowa we frezarkach konwencjonalnych realizowana jest poprzez nastawy na odpowiednich skalach przy pomocy kółek ręcznych. W przypadku frezarek sterowanych numerycznie stosuje się systemy

pomiaru położenia, z których na bieżąco odczytywane jest położenie zespołu sterowanego. Taka informacja jest przekazywana jako sprzężenie zwrotne do układu sterowania i już w trakcie pracy pozwala na zapewnienie dokładności wymiarowej przedmiotu. Reasumując najważniejsze spośród wielu zalet obrabiarek CNC to:

- geometryczna powtarzalność wytwarzanych przedmiotów,
- zwiększona elastyczność produkcji,
- zwiększenie dokładności wymiarowo – kształtowej,
- zwiększenie wydajności dzięki skróceniu czasów obróbki.

Struktura sterowania numerycznego obrabiarek

Typowy układ strukturalny sterowania numerycznego to układ sterowania automatycznego zamkniętego, który składa się z określonej liczby osi sterowanych numerycznie, mogących działać jednocześnie. Program sterujący dekodowany w układzie CNC zostaje przesłany w postaci impulsów do interpolatora, który z kolei przekształca te impulsy na odpowiednie przyrosty współrzędnych w osiach X i Z. Czujniki przemieszczeń mierzą położenie suportów w danej chwili. Gdy zadane z interpolatora położenie różni się od aktualnego położenia odczytanego z układu pomiarowego to w danej osi silnik zaczyna się obracać i przesuwać za pośrednictwem przekładni śrubowej tocznej odpowiedni suport powodując przemieszczenie w kierunku zadanego położenia. Kiedy położenie zadane będzie równe położeniu rzeczywistemu posuw zatrzyma się.

Układy napędowe obrabiarek sterowanych numerycznie zwane serwonapędami bądź serwomechanizmami, pracują najczęściej, jako układy automatycznej regulacji. Typowym układem napędowym stosowanym w obrabiarkach CNC jest serwomechanizm o dwóch sprzężeniach zwrotnych: położeniowym i prędkościowym. Serwomechanizmy są układami nadążnymi wymagającymi do przemieszczenia niezerowej różnicy pomiędzy chwilowym położeniem zadanym i rzeczywistym. W wyniku tego suport bądź stół obrabiarki w czasie ruchu opóźnia się względem punktu określającego zadane położenie. Wielkość tego opóźnienia nosi nazwę uchybu nadążania. Podkreślić trzeba, że ten uchyb może znacząco wpływać na uzyskiwane dokładności wymiarowo – kształtowe. Istotne jest, aby nie przekraczał wartości dopuszczalnych oraz aby był jednakowy we wszystkich osiach. Poprzez zmianę w układzie sterowania współczynnika wzmocnienia prędkościowego można regulować wielkość uchybu nadążania. Zwiększenie tego współczynnika pozwala na uzyskanie małych wartości uchybu, co wpływa na zwiększenie dokładności nawet przy wysokich prędkościach posuwowych. Należy jednak pamiętać, że zbyt wysoka wartość współczynnika wzmocnienia prędkościowego może doprowadzić do powstawania drgań, a w efekcie do niestabilnej pracy napędu serwomechanizmowego.

Frezarki

Frezarkami nazywamy obrabiarki skrawające służące do obróbki płaszczyzn, rowków, powierzchni kształtowych itp. za pomocą freza. Frezarki charakteryzuje to, iż ruch posuwowy wykonuje przedmiot obrabiany, natomiast ruch główny jest wykonywany przez narzędzie zamocowane we wrzecionie.

Centra obróbkowe to obrabiarki zapewniające możliwość wykonania wielu zabiegów obróbkowych w jednym zamocowaniu przedmiotu. Jest to możliwe dzięki magazynowi narzędzi, z którego maszyna „wybiera” odpowiednie do zaprojektowanej operacji. Zaprogramowane centrum zmienia narzędzia, aż do skończenia zadań obróbkowych.

Rys. 18 Centrum obróbkowe firmy HAAS

Panel sterowania w obrabiarkach firmy HAAS

a. *b.*

Rys. 19. *a.* Widok panelu sterowniczego obrabiarek firmy HAAS, *b.* Klawiatura sterownicza

Tabela 1

Tryby pracy obrabiarki

Symbol	Funkcja	Opis
	EDIT	Wybór trybu edycji. Ten tryb wraz z rzędem klawiszy EDIT jest używany do edycji programów w pamięci układu sterowania.
	MEM	Wybór trybu pamięci. Tryb ten służy do uruchamiania programów, zaś rząd MEM zawiera klawisze, które sterują sposobem wykonywania programu.
	MDI DNC	Tryb MDI jest trybem "Manualnego Wprowadzania Danych" (*ang. MDI – Manual Data Input*), w którym program może być napisany, ale nie jest wprowadzany do pamięci. Tryb DNC "Bezpośrednie Sterowanie Numeryczne" (*ang. DNC - Direct Numeric Control*), umożliwia "dozowane" wprowadzanie dużych programów do układu sterowania w celu ich wykonania.
	HAND JOG	Wybór trybu pracy ręcznej tj. ręcznego impulsowania osią w zakresie 1 – 0,001 mm.
	ZERO RET	Tryb zerowania. Tryb ten służy do przesuwania osi do położenia zerowego maszyny.
	LIST PROG	Tryb ten wyświetla listę programów znajdujących się w układzie sterowania.

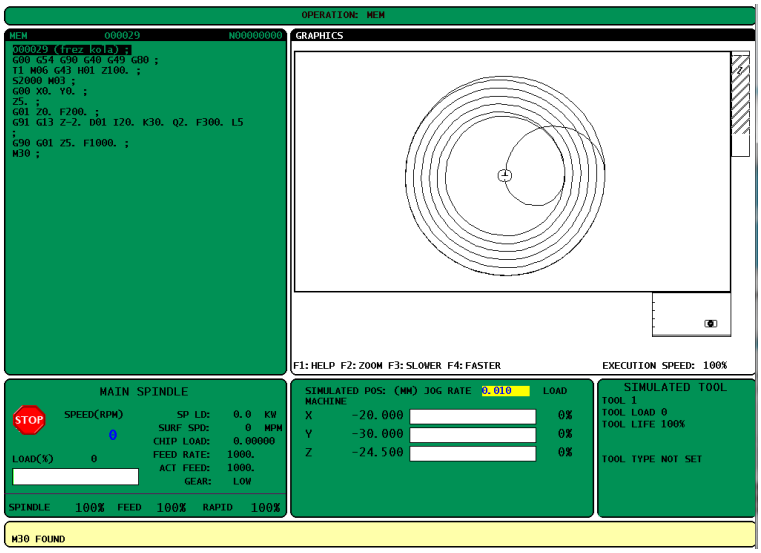
Klawisze przemieszczania osi oraz włączania i wyłączania wrzeciona dostępne są tylko w trybie pracy „Handle Jog”, rys. 20. Dodatkowo obrabiarka wyposażona jest w pokrętło elektroniczne, które umożliwia ręczne, precyzyjne przemieszczanie narzędzia w poszczególnych osiach obrabiarki, rys. 21. Podobnie jak w obrabiarkach konwencjonalnych ruchy w poszczególnych osiach odbywają się w zależności od obrotów pokrętła. Praca z pokrętłem elektronicznym możliwa jest tylko w trybie „Handle Jog”. Przykładowo tokarka TL1 firmy HAAS wyposażona jest ponadto w pokrętła służące do ręcznego przesuwu suportu w osi X i Z (tak jak w obrabiarce konwencjonalnej). Uruchomienie tego trybu pracy następuje poprzez dwukrotne wciśnięcie przycisku „Handle Jog”. W frezarce możliwe są przemieszczenia w osiach X,Y (ruchy stołu) oraz Z (pionowe ruchy wrzeciona). Wybór poszczególnej osi i kierunku przemieszczenia następuje poprzez kliknięcie klawisza z symbolem osi.

Rys.20. Klawisze przemieszczania osi X i Z w frezarce HAAS;
CHIP – uruchomienie podajnika wiórów, CHIP – uruchomienie podajnika wiórów

Rys.21. Praca z pokrętłem służącym do pracy ręcznej

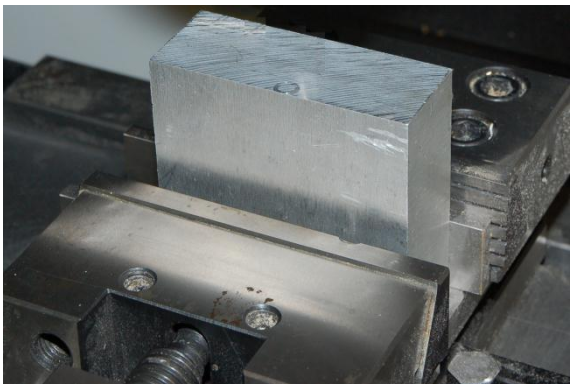
Uruchomienie programu „blok po bloku” umożliwia przycisk „Single Block” trybu MEM. Gdy blok pojedynczy jest włączony, tylko jeden blok programu zostaje wykonany dla każdego naciśnięcia przycisku "Cycle Start".

Uruchomienie graficznej symulacji następuje poprzez wprowadzenie programu do pamięci (tryb MEM) a następnie dwukrotnym wciśnięciu przycisku „Setting/Graf”. W tym trybie możliwe jest przeprowadzenie graficznej symulacji działania programu obróbczego, rys. 22. Linie przerywane reprezentują ruchy ustawcze narzędzia natomiast linie ciągłe ruchy robocze.

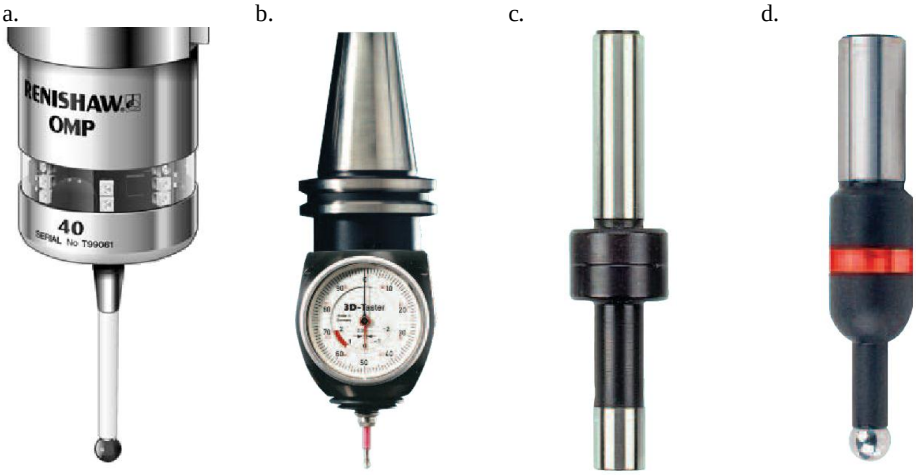


Rys. 22. Interface graficzny układu sterowania frezarki firmy HAAS z uruchomionym trybem symulacji graficznej

Przedmiot do obróbki powinien być odpowiednio i pewnie zamocowany na stole obrabiarki. Można to wykonać na szereg różnych sposobów – za pomocą imadeł, uchwytów, czy też śrub młoteczkowych lub zacisków, rys. 23. Należy zwrócić szczególną uwagę na równoległość poszczególnych osi oraz orientację przedmiotu tak, aby przyjęty układ współrzędnych przedmiotu pokrywał się z układem współrzędnych obrabiarki.
Po odpowiednim zamontowaniu przedmiotu należy zdefiniować w układzie sterowania początek układu współrzędnych, czyli tzw. bazę przedmiotową. Pomiaru bazy przedmiotowej można dokonać na kilka sposobów jak np.:
- poprzez zastosowanie przedmiotowej sondy pomiarowej, rys. 24a,
- poprzez pomiar narzędziem (frezem) w trybie impulsowania (na tzw. papierek),
- poprzez pomiar narzędziem na tzw. „wiór”,
- poprzez pomiar narzędziem z zastosowaniem szczelinomierza
- poprzez zastosowanie specjalnych urządzeń do pomiaru baz np. cyfrowych czujników zegarowych krawędzi lub różnego rodzaju tzw. palców wodzących krawędzi 2 i 3D ze wskaźnikami świetlnymi i dźwiękowymi, rys. 24.



Rys. 23. Przedmiot zamocowany w imadle frezarskim

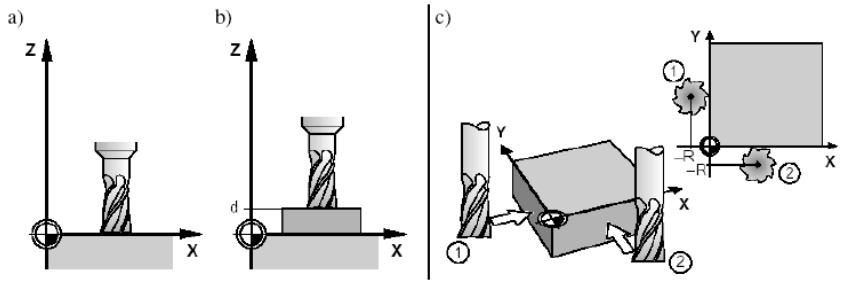


Rys. 24. Przyrządy do pomiaru baz przedmiotowych. a. sonda pomiarowa firmy Renishaw [7], b. 3-wimiarowy palec wodzący, c. palec wodzący krawędzi, d. palec wodzący krawędzi ze wskaźnikiem świetlnym [6]

Pomiar bazy przedmiotowej narzędziem (frezem)

Sposób realizacji pomiaru bazy przedmiotowej narzędziem schematycznie przedstawiono na rys.25. W celu dokonania pomiaru bazy przedmiotowej narzędziem należy w trybie ręcznym lub przy pomocy kółka elektronicznego przesunąć narzędzie do styku z przedmiotem kolejno do

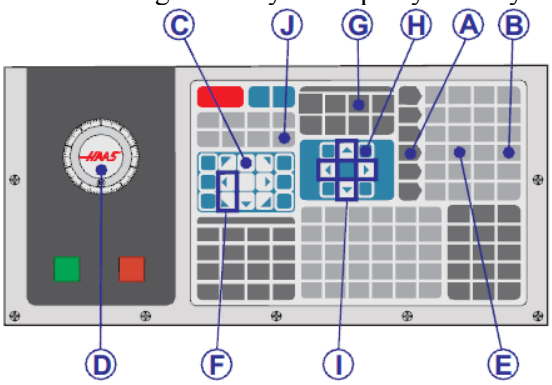
poszczególnych płaszczyzn przedmiotu, tak jak pokazano na rys. 25., a następnie ustalić pozycję narzędzia w poszczególnych osiach.

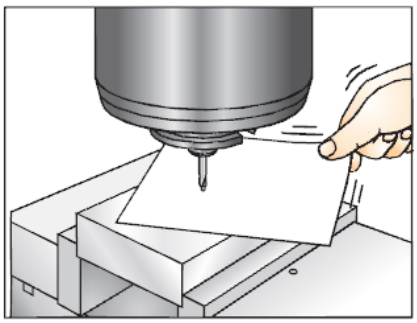


Rys. 25. Ustalenie początku układu współrzędnych: a) w osi Z bezpośrednio oraz poprzez płytki wzorcowe, b) w osi X oraz Y

Kolejność czynności przy ustalaniu bazy przedmiotowej na frezarce VF1 firmy HAAS – dla osi X,Y,Z (patrz rys.26):

1. Umieścić i zamocować materiał na stole frezarki np. w imadle.
2. W trybie MDI wybrać narzędzie z magazynu i zamocować je we wrzecionie.
3. Nacisnąć "Handle Jog" (A).
4. Nacisnąć .1/100. (B) (Podczas kręcenia kółkiem sterowniczym stół frezarki może przemieszczać sie z dużymi prędkościami).
5. Zbliżyć narzędzie do wybranej powierzchni części na około 10-20mm np. w kierunku osi X.
6. Wybrać oś X (C)
7. Impulsując regulatorem automatycznym (D) przesunąć oś X do położenia ok. 1-2 mm od powierzchnią części.
8. Nacisnąć .001/1. (E) w celu dokładniejszego pozycjonowania.
9. Impulsując regulatorem automatycznym (D) przesunąć oś do położenia ok. 0.5mm nad powierzchnią.
10. Włożyć arkusz papieru pomiędzy narzędzie a obrabiany przedmiot. Ostrożnie przesunąć narzędzie do części - powinno ono znaleźć się jak najbliżej i zarazem umożliwiać poruszenie arkuszem papieru.
11. Naciskać klawisz „Offset” (G) aż do uaktywnienia okienka korekcji roboczej zerowej.
12. Ustawić kursor (I) na kolumnie X wybranego numeru bazy przedmiotowej np. G56.
13. Nacisnąć klawisz "Part Zero Set" (J), aby wprowadzić wartość do kolumny osi X.
14. Dokonać korekty wymiaru uwzględniając promień ostrza narzędzia (lub jego długość w przypadku pomiaru w osi Z) i ewentualnie grubości papierka.
15. Analogicznie wykonać powyższe czynności dla ustalenia bazy w osiach Y i Z.





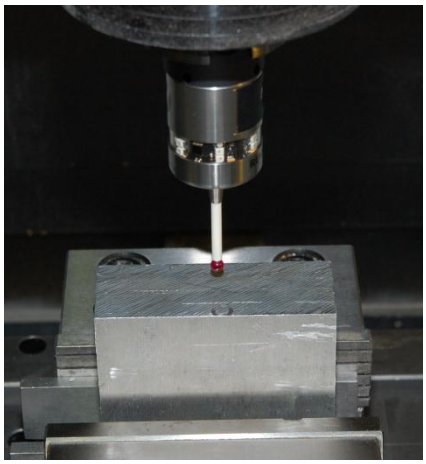
Rys. 26. Schemat ręcznego trybu impulsowania oraz kolejność wciskanych przycisków na klawiaturze przy ustawianiu bazy przedmiotowej w osi Z

Pomiar bazy przedmiotowej sondą przedmiotową

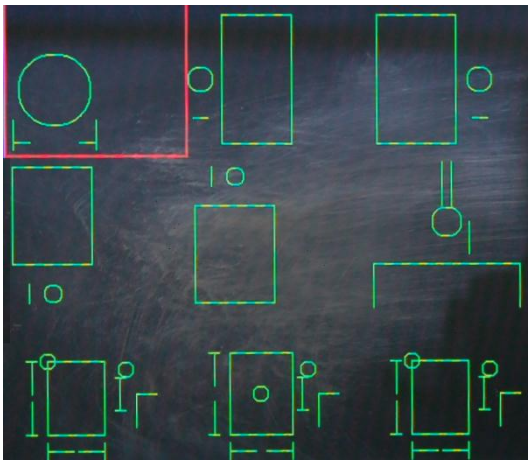
Ogólnie pomiar bazy przedmiotowej z zastosowaniem sondy pomiarowej polega na ustawieniu sondy nad wybraną powierzchnią a następnie wybraniu i uruchomieniu odpowiedniego programu realizującego dany pomiar, rys. 27. W pomięci centrum frezarskiego dostępnych jest szereg programów realizujących pomiary baz przedmiotowych. Parametryzacji programów dokonuje się za pomocą trybu tzw. wizualnych kodów szybkich, rys.27b.
Kolejność czynności przy ustalaniu bazy przedmiotowej na frezarce VF1 firmy HAAS z zastosowaniem sondy pomiarowej OMP40 firmy Renishaw:

1. Umieścić i zamocować materiał na stole frezarki np. w imadle.
2. W trybie MDI wybrać z magazynu sondę pomiarową i zamocować ją do wrzeciona.
3. Nacisnąć "Handle Jog".
4. Nacisnąć .1/100. (Uwaga! Podczas kręcenia kółkiem sterowaniczym stół frezarki może przemieszczać sie z dużymi prędkościami).
5. Zbliżyć sondę do wybranej powierzchni części na około 20mm.
6. Uruchomić tryb wizualnych kodów szybkich (3-krotne wciśnięcie przycisku „Prgm Convrs”).
7. Wybrać w trybie wizualnych kodów szybkich odpowiedni program parametryzujący pomiar sondą.
8. Postępować zgodnie z wytycznymi dotyczącymi dokładnego ustawienia sondy pomiarowej dla danego pomiaru.
9. Uruchomić program pomiarowy w trybie MDI za pomocą przycisku „Cycle Start”.
10. Analogicznie wykonać powyższe czynności dla ustalenia bazy w innych osiach.

a.



b.

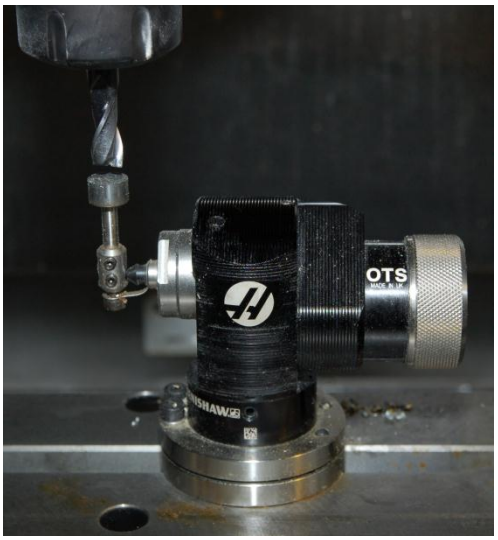


Rys. 27. a. Pomiar bazy przedmiotowej w osi Z za pomocą sondy pomiarowej
b. Przykład okna parametryzacji pomiaru sondą przedmiotową w trybie wizualnych kodów szybkich

Długość i średnicę narzędzi skrawających (frezów, głowic frezowych, wierteł, nawiertaków itp.) można określić przy pomocy zewnętrznego układu ustawiania narzędzi, rys. 28, lub bezpośrednio na obrabiarce. Należy pamiętać, że nie wszystkie narzędzia stosowane w procesie frezowania wymagają pomiaru długości i średnicy. Przykładowo dla wierteł określa się tylko wymiar długości.

Rys. 28. Kalimat A/C/E – urządzenie do pomiaru narzędzi skrawających

Pomiar długości i średnicy narzędzia na obrabiarce VF1 firmy HAAS z zastosowaniem narzędziowej sondy pomiarowej wykonuje się po założeniu narzędzia we wrzecionie obrabiarki z wykorzystaniem trybu wizualnych kodów szybkich. Przykład realizacji pomiaru narzędzia przedstawiono na Rys.29.



Rys. 29. Pomiar frezu za pomocą głowicy narzędziowej na obrabiarce VF1 firmy HAAS]

Kolejność czynności przy pomiarze narzędzi na frezarce VF1 firmy HAAS z zastosowaniem sondy narzędziowej:

1. W trybie MDI wybrać z magazynu narzędzie i zamocować ją do wrzeciona.
2. Nacisnąć "Handle Jog".
3. Nacisnąć .1/100. (Uwaga! Podczas kręcenia kółkiem sterowniczym stół frezarki może przemieszczać sie z dużą prędkością).
4. Zbliżyć narzędzie do sondy narzędziowej na około 20mm.
5. Uruchomić tryb wizualnych kodów szybkich (3-krotne wciśnięcie przycisku „Prgrm Convrs”).

6. Wybrać z trybu wizualnych kodów szybkich odpowiedni program parametryzujący pomiar sondą (np. pomiar długości, pomiar średnicy)
7. Postępować zgodnie z wytycznymi dla danego pomiaru co do dokładnego ustawienia sondy pomiarowej.
8. Uruchomić program pomiarowy za pomocą przycisku „Cycle Start”.
9. Analogicznie wykonać powyższe czynności dla pomiaru innych narzędzi frezarskich.

Przed wykonaniem obróbki należy dokonać pomiaru narzędzi, zamocować przedmiot na stole frezarskim i ustalić bazę przedmiotową, wybrać odpowiedni program obróbkowy z listy programów, przełączyć układ sterowania na tryb pracy krokowej lub ciągłej (przycisk „Single Block”), zamknąć osłony przestrzeni obróbkowej, a następnie wciskając klawisz „Cycle Start” uruchomić poszczególne bloki programu. W razie konieczności można zmienić, przy pomocy klawiszy przesterowań, prędkość posuwową i obrotową wrzeciona.