Frezarki mogą być jednowrzecionowe lub wielowrzecionowe. Najczęściej stosowane są frezarki:

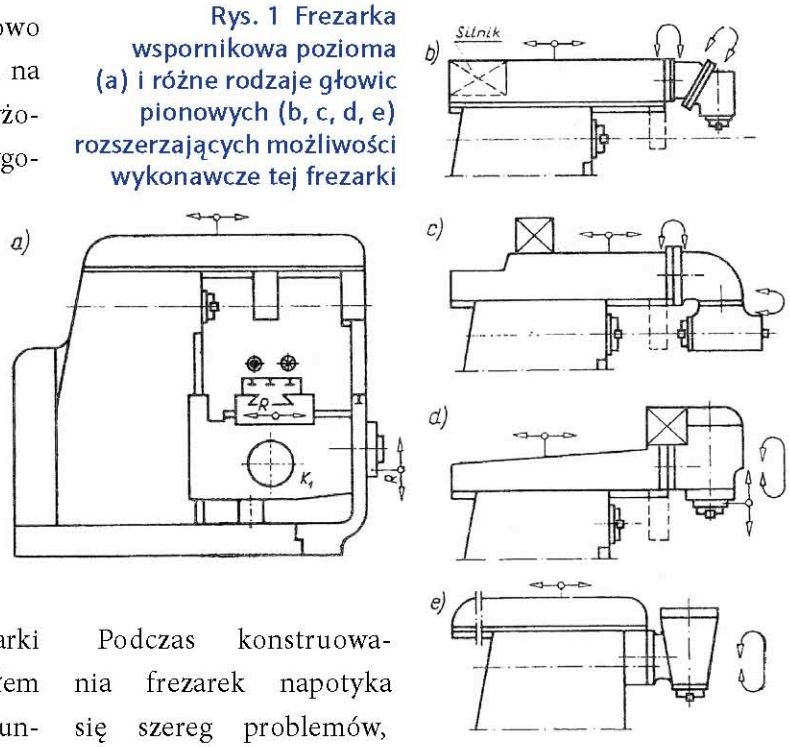
- pionowe
- poziome
- wspornikowe
- bezwspornikowe (łożowe)
- uniwersalne
- NC, CNC, centra frezarskie
- narzędziowe
- wzdłużne (bramowe)
- karuzelowe
- kopiarki
- do kół zębatych
- do gwintów
- i inne.

Specyficznymi rozwiązaniami frezarek są grawerki i piły tarczowe, przecinarki i pilnikarki.

Najbardziej rozpowszechniony w przemyśle typ frezarek stanowią frezarki wspornikowe. Ich cechą charakterystyczną jest przesuwny pionowo na prowadnicach stojaka wspornik – konsola, na którym zamontowany jest stół krzyżowy lub krzyżowo-skrętny. Ta konstrukcja jest uzasadniona wygodą obsługi oraz wszechstronnością zastosowań do frezowania przedmiotów małych i średniej wielkości, występujących w największej liczbie w przemyśle metalowym, obrabianych jednostkowo i seryjnie, o kształtach prostych i skomplikowanych. Występują frezarki wspornikowe poziome, z poziomą osią wrzeciona i pionowe, z pionową osią wrzeciona. Poza tym frezarki te dzieli się na szereg odmian. Są produkowane często jako konstrukcje zunifikowane. Frezarki wspornikowe ogólnego przeznaczenia ze stołem krzyżowym, napędzanym we wszystkich kierunkach, mechanicznie są przystosowane do pracy w cyklu automatycznym sterowanym zderzakowo lub programowo sekwencyjnie. Frezarki te w wykonaniu uniwersalnym zawierają dodatkowo sanie poprzeczne, zwane obrotnicą, dla wykonywania poziomego skrętu stołu i jego ruchu posuwowego pod określonym kątem do osi wrzeciona, co wraz z zamontowaniem podzielnicy uniwersalnej umożliwia obróbkę powierzchni śrubowych i frezowanie zębatek o zębach skośnych.

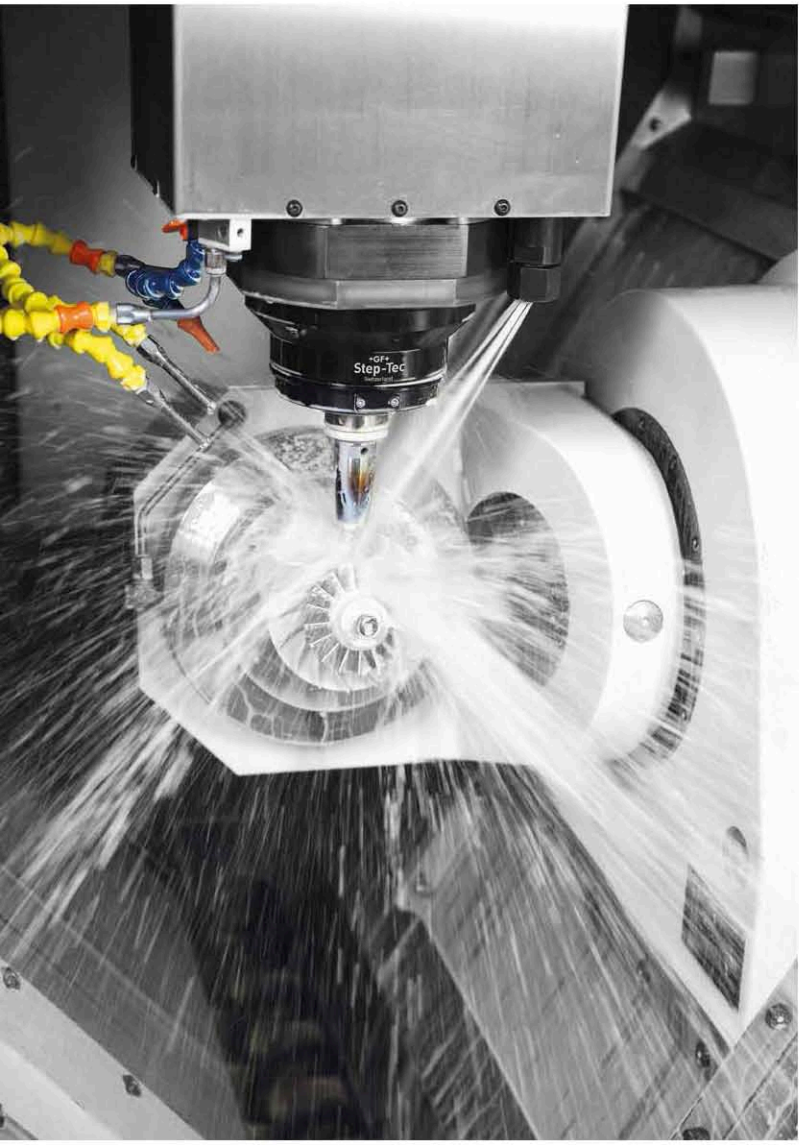
Frezarki pionowe różnią się od poziomych tylko rozwiązaniem pionowo ułożyskowanego wrzeciona w tulei wrzecionowej. Głowica, w której zamontowane jest tuleja wraz z wrzecionem często może wykonywać ruch podwójnie skrętny. Frezarki te przeznaczone są do frezowania powierzchni głowicami frezarskimi i frezami walcowo-czołowymi. Ponadto umożliwiają frezowanie różnego rodzaju rowków prostoliniowych, prostokątnych, trapezowych teowych, a także kołowych, po zastosowaniu stołu obrotowego.

Istnieją rozwiązania konstrukcyjne frezarek, które mają wrzeciono poziome jak i wrzeciono pionowe zamontowane w głowicy, na belce przesuwnej. Takie rozwiązanie pokazano na rysunku 1.



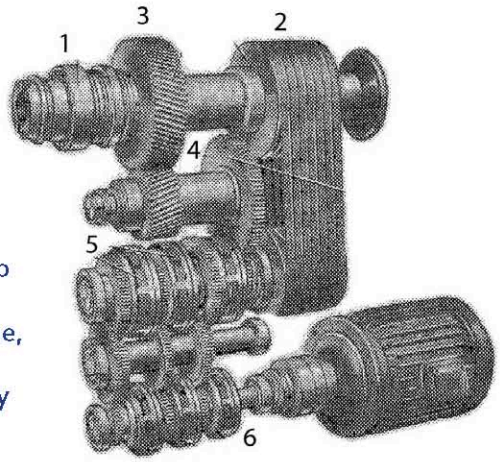
Rys. 1 Frezarka wspornikowa pozioma (a) i różne rodzaje głowic pionowych (b, c, d, e) rozszerzających możliwości wykonawcze tej frezarki

Podczas konstruowania frezarek napotyka się szereg problemów, z których niektóre są trudne do rozwiązania. Jednym z nich są drgania występujące podczas pracy frezarki. Do wykonywania detali w frezarkach używa się narzędzi wieloostrzowych – frezów i głowic frezowych, o różnej, niekiedy dużej liczbie ostrzy, np.



Fot. 1 Frezarka Mikron Mill X 400U ze stołem obrotowo-uchylnym (fot. GF Machining Solutions)

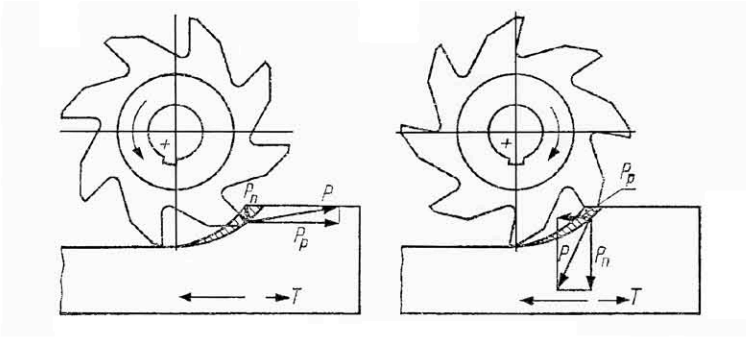
głowice frezowe drobnozębne. Zapewniają one dużą wydajność obróbki, co wynika z wielkości posuwu na ostrze głowicy frezarskiej. Frezowanie wieloostrzowymi narzędziami powoduje jednak zmienny przekrój wióra i zmienną siłę skrawania. To z kolei wymusza drgania skrętne wrzeciona, co razem z rezonansem z drganiami własnymi mechanizmu napędu powoduje silne drgania całej frezarki, utrudniające skrawanie i w skrajnych wypadkach może prowadzić do uszkodzenia frezarki. Stąd konstrukcja frezarki powinna mieć rozwiązania zabezpieczające przed powstawaniem rezonansu drgań skrętnych, a cała frezarka musi mieć sztywną budowę, tłumiącą drgania. Problem ten potęguje się przy stosowaniu narzędzi z węglików spiekanych, które wymuszają większe prędkości skrawania. Jednak frezarka ogólnego przeznaczenia musi uwzględniać w napędzie wrzeciona stosowanie narzędzi z węglików spiekanych, jak i narzędzi ze stali szybkotnącej, która z kolei wymaga niższych prędkości skrawania i stąd innej charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej. Problem ten jest trudny do rozwiązania dla konstruktora frezarki, gdyż musi on tak dobrać charakterystyki i zastosować pewne mechanizmy podatne, aby ten problem zlikwidować lub przynajmniej umniejszyć. Jest to jednak ciekawe zjawisko przy konstruowaniu frezarek. Najlepszy z punktu widzenia dynamiki jest mechanizm napędu wrzeciona frezarki podatny w zakresie dużych prędkości obrotowych, a sztywny w zakresie małych prędkości obrotowych. Dla dużych prędkości stosuje się wtedy przekładnię pasową klinową, a w zakresie małych prędkości – przekładnię zębatą, z pominięciem przekładni pasowej. Trzeba jednak bardzo wnikliwie analizować to rozwiązanie, aby osiągnąć najbardziej optymalny wariant. Zagadnienie to jest bardzo obszerne i zawiera wiele rozwiązań, które stosuje wielu producentów frezarek. Jedno z możliwych rozwiązań pokazano na rysunku 2.



Rys. 2 Mechanizm napędu frezarki, sztywny przy obrotach wolnych i podatny przy obrotach szybkich;
1 – łożysko NN30K,
2 – koło pasowe i koło zębate osadzone sztywno na wrzecionie,
3 – koło zębate jako koło zamachowe, przy napędzie wrzeciona przekładnią pasową,
4 – koło zębate łączone sprzęgłem z przekładnią zębatą,
5 – sprzęgła elektromagnetyczne do włączania i hamowania obrotów,
6 – sprzęgło elektromagnetyczne do włączania różnych prędkości obrotowych

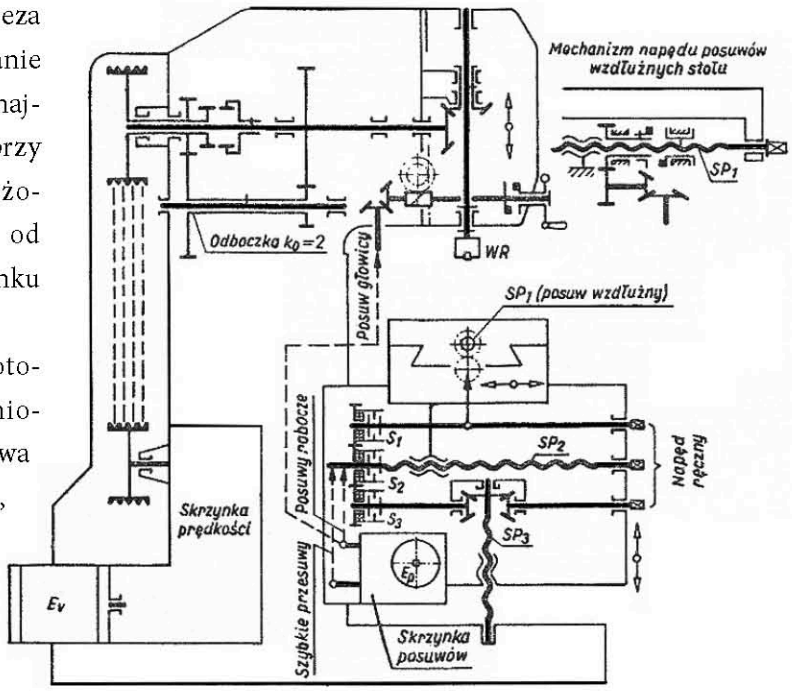
Ze względu na rozmieszczenie ostrzy freza występuje frezowanie walcowe i frezowanie czołowe. W walcowym frez skrawa ostrzami znajdującymi się na powierzchni walcowej, a przy frezowaniu czołowym frez skrawa zębami położonymi na powierzchni czołowej. W zależności od kierunku ruchu posuwowego względem kierunku obrotu freza frezowanie może być:

- przeciwbieżne, gdy kierunek ruchu obrotowego freza i ruchu posuwowego przedmiotu są przeciwbieżne. Wtedy siła posuwowa normalna skierowana jest pionowo w górę, a detal obrabiany ma tendencję do odrywania się od powierzchni stołu. Pojawiają się problemy z chłodzeniem, a wióry gromadzą się przed frezem. Ta technologia jest stosowana w przypadku frezowania wstępnego odlewu, gdzie obróbka rozpoczyna się na powierzchni już wcześniej obrobionej, co wydłuża okres trwałości narzędzia.



Rys. 3 Frezowanie przeciwbieżne (a) i frezowanie współbieżne (b); P –siła skrawania, Pp – siła posuwowa, Pn – siła normalna, T – siła tarcia

Fot. 2



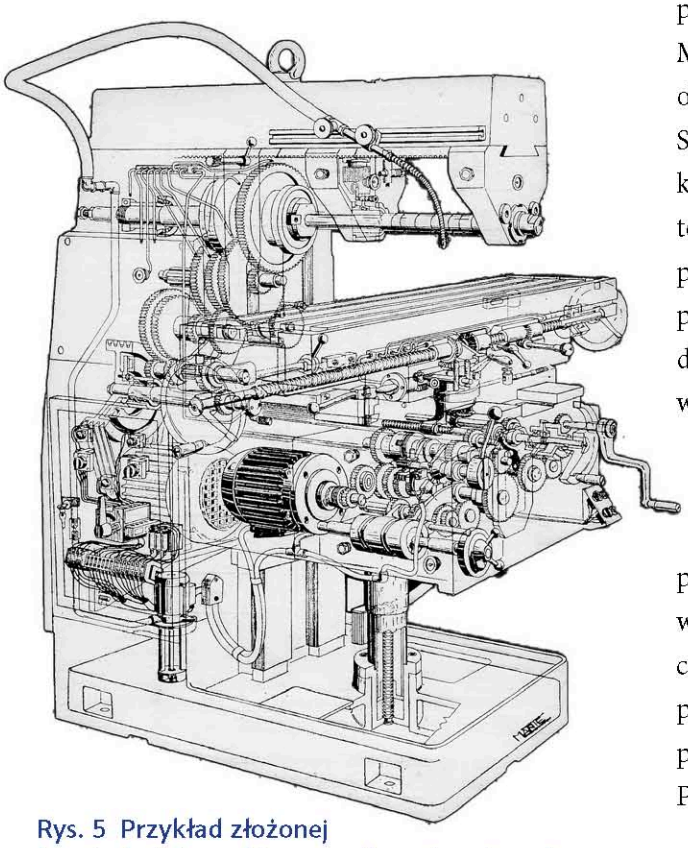
Rys. 4 Uproszczony schemat kinematyczny frezarki wspornikowej pionowej z przesuwną głowicą wrzecionową

- współbieżne, gdy kierunek ruchu posuwowego detalu obrabianego jest zgodny z kierunkiem ruchu obrotowego freza. Frezowanie to jest korzystniejsze od przeciwbieżnego, ponieważ grubość wióra jest największa na początku i najmniejsza pod koniec pracy, a wióry gromadzą się za frezem. Umożliwia to lepsze chłodzenia narzędzia. Siła posuwowa normalna skierowana jest w dół, a więc dociska obrabiany detal do stołu frezarki.

Na rysunku 4 pokazano uproszczony schemat kinematyczny frezarki wspornikowej pionowej. W schemacie dla frezarki poziomej różnica występuje w końcowej części łańcucha kinematycznego napędu wrzeciona. Występujące w łańcuchu kinematycznym posuwów trzy sprzęgła elektromagnetyczne (S_1, S_2, S_3) pozwalają na pracę frezarki w cyklu automatycznym, sterowanym „na drodze" – za pomocą zderzaków i łączników elektrycznych, lub też za pomocą programu. W układzie napędów posuwów nie ma nawrotnic, gdyż zmiana kierunków posuwu odbywa się poprzez przesterowania silnika elektrycznego (E_p) na przeciwny kierunek obrotów.

W niektórych frezarkach wspornikowych stosuje się mechanizm opuszczania wspornika wraz ze stołem przed jego powrotem do położenia wyjściowego i następnie podniesienie go przed rozpoczęciem następnego przejścia freza. Przystosowanie frezarek do frezowania przeciwbieżnego jak i współbieżnego osiąga się poprzez eliminację luzów w mechanizmie posuwów wzdłużnych stołu. Na rysunku 5 pokazano jak złożona może być konstrukcja prostej, zdawałoby się, frezarki.

W obecnie produkowanych frezarkach wspornikowych stosuje się wszystkie rodzaje sterowań, od sterowań ręcznych za pomocą dźwigni i pokręteł, przy prostych frezarkach dla rzemiosła, po sterowania NC i CNC. Dla tych ostatnich przypadków we frezarkach stosuje się inne napędy – inne silniki i opisane w poprzednich naszych artykułach serwomechanizmy i enkodery. Stosuje się też śruby toczne i toczne prowadnice. Sterowanie automatyczne z wyborem cykli, umożliwia wykorzystanie frezarek wspornikowych w produkcji seryjnej przy obsłudze wielostanowiskowej, tzn. jeden operator na kilka frezarek. Sterowanie to daje możliwość realizacji złożonych cykli ruchów stołu w układzie trzech współrzędnych prostokątnych, łącznie ze zmianą prędkości ruchów posuwowych, zmianą kierunków obrotu wrzeciona i wykonywaniem różnych czynności pomocniczych. Wyposażenie frezarki w urządzenie do frezowania kopiowego, najczęściej z napędami hydraulicznymi, umożliwia ten rodzaj frezowania. Frezowanie kopiowe w zasadzie najlepiej jest wykonywać na frezarkach pionowych, ponieważ na frezarkach poziomych prawie zawsze stosuje się mechanizm do kopiowania z pionową głowicą i z własnym napędem, mocowany do belki poprzecznej. Posuw kopiujący jest sterowany przez czujnik, którego palec wodzący dotyka wzornika zamocowanego na stole frezarki obok detalu obrabianego. Potrzebny jest jeszcze zespół hydrauliczny do napędów posuwów, ze zbiornikiem oleju, który ustawiony jest obok obrabiarki. Frezowanie kopiowe stosuje się już tylko w zasadzie w starszych rozwiązaniach frezarek lub prostszych konstrukcyjnie. W najnowszych konstrukcjach rozwiązuje ten problem wielokrotne wykonanie tego samego detalu dzięki programowaniu CNC.



Rys. 5 Przykład złożonej konstrukcji frezarki wspornikowej poziomej

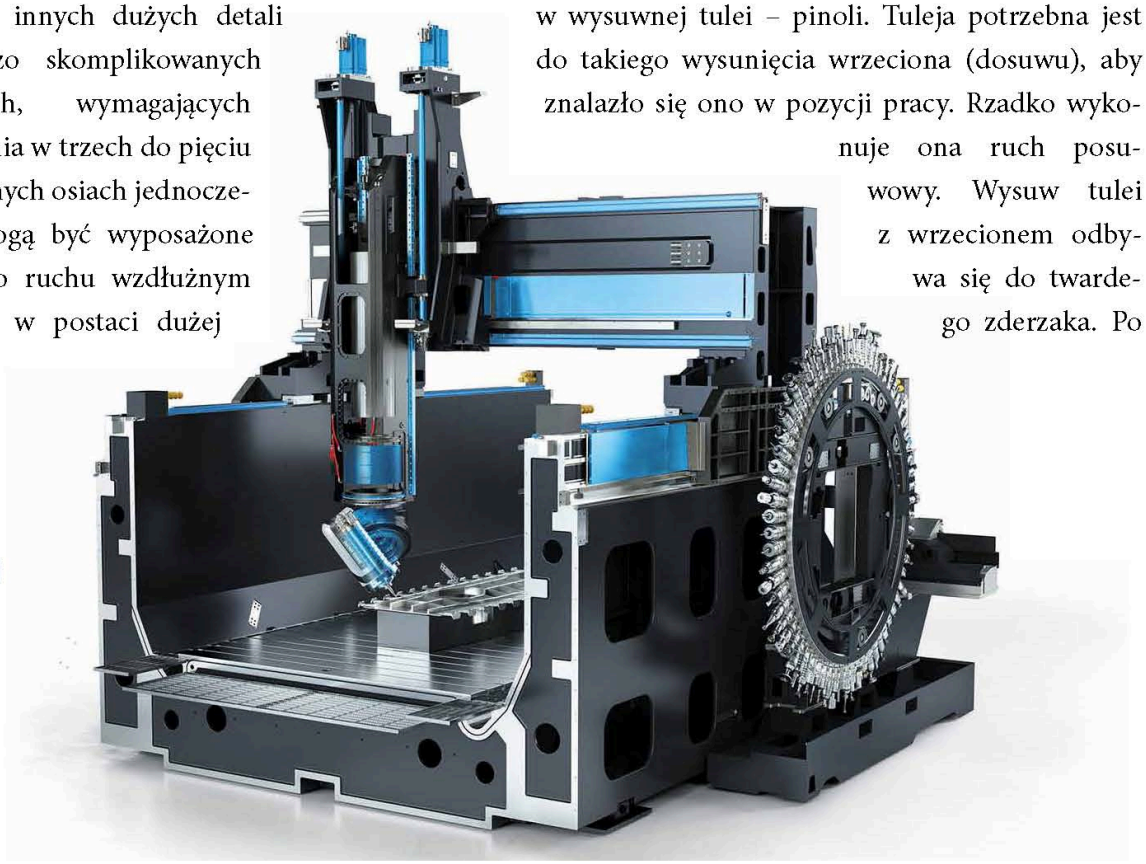
Frezarki bezwspornikowe, tzw. łożowe, mają podobne przeznaczenie jak frezarki wspornikowe. Mają jednak mocniejsza budowę, co umożliwia obróbkę większych i cięższych detali – do 2000 kg. Stół w tych frezarkach zamontowany jest na stałym korpusie – łożu. Z kolei wrzeciono frezarskie zamontowane jest we wrzecienniku, który wykonuje ruch pionowy przy pionowych frezarkach, a w frezarkach poziomych to stół wykonuje ruch poziomy. Najbardziej rozpowszechnione są frezarki bezwspornikowe ze stołem krzyżowym i stałym stojakiem.

Występują też frezarki łożowe wzdłużne bezstojakowe i stojakowe. W tych frezarkach stół przesuwa się bezpośrednio na łożu i ma przesuw tylko wzdłużny. Przesuw poprzeczny wykonuje tu narzędzie, poprzez wysuw tulei wrzecionowej (pinoli) z wrzeciennika na frezarkach poziomych lub przez poprzeczny lub wzdłużny przesuw wrzeciennika we frezarkach pionowych. Przy większych wymiarach stołów, powyżej

Fot. 3 Największa w Europie frezarka bramowa , z ruchomą belką poprzeczną (Waldrich Coburg), zamontowana w firmie H. Cegielski

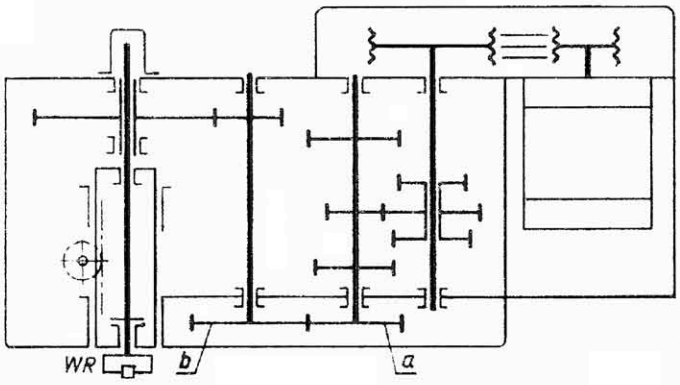
630 mm, frezarki wzdłużne wykonywane są jako frezarki bramowe, czyli dwustojakowe, połączone na górze belką poprzeczną, tworząc bramę. Frezarki bramowe są obrabiarkami o wysokiej klasie dokładności, używanymi w tych gałęziach przemysłu, gdzie obrabia się wielkogabarytowe i skomplikowane korpusy, często bardzo precyzyjne, jak np. produkcja form, dużych tłoczników do karoserii samochodowych, korpusów obrabiarek i innych dużych detali o bardzo skomplikowanych kształtach, wymagających obrabiania w trzech do pięciu sterowanych osiach jednocześnie. Mogą być wyposażone w stół o ruchu wzdłużnym lub stół w postaci dużej płyty stałej, a ruch dosuwowy i posuwowy wykonuje wtedy brama – portal. Frezarki mogą mieć stałą lub przesuwną belkę poprzeczną. Z wyposażeniem specjalnym oraz odpowiednim sterowaniem obrabiarka tworzy frezarskie centrum obróbcze z automatyczną wymianą narzędzi i głowic narzędziowych oraz automatycznym pomiarem przedmiotu itp. Zapewnia kompleksową obróbkę detali w zakresie prac frezarskich, wytaczarskich i wiertarskich. Umożliwia obrabianie bardzo wielu materiałów, m.in. żeliwa, stali stopowej i stopów metali lekkich.

Frezowanie występuje też w obrabiarkach zadaniowych i zespołowych. Są znormalizowane zespoły frezarskie, jednak z praktyki wiadomo, że wrzeciennik frezarski na ogół projektowany jest za każdym razem, gdy jest potrzebny, jako specjalny. Bierze się to stąd, że detale obrabiane w takich obrabiarkach mają skomplikowane kształty i do innych operacji technologicznych zamontowane zostały w przyrządzie w sposób, który utrudnia proste frezowanie. W związku tym potrzebne są specjalne rozwiązania konstrukcyjne. Zespół frezarski do obrabiarki zespołowej składa się najczęściej z wrzeciennika, w którym wrzeciono frezarskie zamontowane jest w wysuwnej tulei – pinoli. Tuleja potrzebna jest do takiego wysunięcia wrzeciona (dosuwu), aby znalazło się ono w pozycji pracy. Rzadko wykonuje ona ruch posuwowy. Wysuw tulei z wrzecionem odbywa się do twardego zderzaka. Po

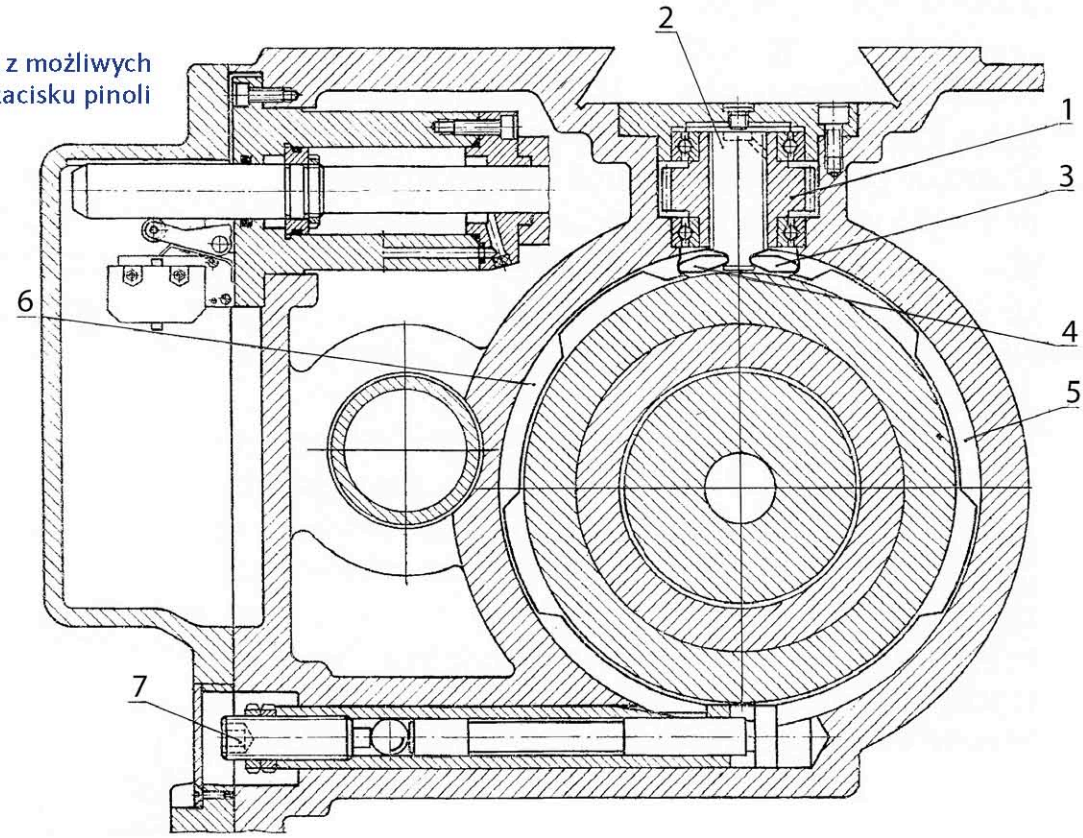


Fot. 4 Odsłonięta struktura konstrukcyjna frezarki bramowej DMU 340 Gantry z żeliwnym, jednoczęściowym łożem o wysokiej sztywności (fot. DMG Mori)

zatrzymaniu na twardym zderzaku następuje zacisk pinoli, który musi zapewnić mocne i stabilne trzymanie pinoli podczas frezowania i emitowanych w związku z tym silnych drgań. Niekiedy pinole potrzebne są do stałego wysuwu i ustalenia położenia freza w różnych położeniach dla kilku przejść freza. Stosuje się wtedy przesuwny, stopniowy twardy zderzak. Ruch posuwowy realizowany jest wtedy przez zespół posuwowy. W niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych frezarek zadaniowych lub specjalnych wrzecienniki frezarskie zamontowane są po obu bokach stołu wzdłużnego, który realizuje ruch posuwowy. Najczęściej ruch dosuwowy, posuw i zacisk pinoli realizowane są za pomocą hydrauliki. Zdarzają się rozwiązania elektromechaniczne z mechanizmami śrubowymi. Na rysunku 6 pokazano schemat kinematyczny znormalizowanego zespołu frezarskiego. Zacisk pinoli może być rozwiązany prosto lub poprzez bardziej skomplikowany mechanizm. Proste rozwiązania to dwie szczęki uruchamiane siłownikiem hydraulicznym Na rysunku 7 pokazano jedno z możliwych lecz bardziej skomplikowane rozwiązanie zacisku pinoli. W rozwiązaniu tym wysuw pinoli odbywa się ręcznie, ale może być wysuw za pomocą mechanizmu śrubowego, albo siłownika hydraulicznego. koło zębate 1 napędzane jest od ręcznej dźwigni. Koło zębate posiada gwintowany otwór z którego wysuwa się śruba 2 powodując rozsunięcie popychaczy 3 i 4 które powodują odkształcenia sprężystych segmentów 5 i 6 oraz zaciśnięcie tulei wrzecionowej w sześciu miejscach na obwodzie. Regulację siły zacisku dokonuje się śrubą 7. Zabezpieczeniem przed samoodkręcaniem są dwie kontrnakrętki.



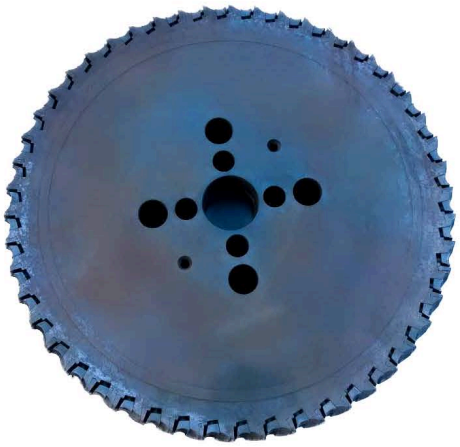
Rys. 6 Schemat kinematyczny zespołu wrzecionowego frezarskiego stosowanego w obrabiarkach zespołowych; a, b – koła zębate wymienne. Wrzeciono zamontowane jest w wysuwnej tulei wrzecionowej (pinoli)



Rys. 7 Jedno z możliwych rozwiązań zacisku pinoli

W jednym z wcześniejszych numerów naszego czasopisma pokazaliśmy bardziej skomplikowany mechanizm wysuwu i zacisku pinoli za pomocą pływającej śruby.

Na wyposażeniu frezarek jest wiele narzędzi frezarskich, od prostych, dobrze znanych frezów, używanych od wielu lat we wszystkich frezarkach, po skomplikowane narzędzia wykonywane na specjalne zlecenie przez dobre narzędziownie. Jeszcze w latach osiemdziesiątych frezy specjalne, np. do obróbki ślimacznic czy kół zębatych, ale i głowice frezarskie, były specjalnie konstruowane i wykonywane w narzędziowni fabryki użytkującej frezarki. Szwedzkie firmy produkujące narzędzia opracowały szereg narzędzi, ostrzy i wkładek do budowy rozmaitych narzędzi skrawających składanych oraz w specjalnych rozwiązaniach. W Polsce w Jeleniej Górze zaczęto też produkować na wzór szwedzki różne narzędzia, np. wieloostrzowe głowice frezarskie. Było to przełomowe nowe wykorzystanie i tak już wydajnych frezarek. Głowica frezarska 54-ostrzowa z Jeleniej Góry pokazana jest na fotografii 5.



Fot. 5 Wydajna głowica frezarska drobnozębna – 54 ostrza. Jeżeli każde ostrze ścina 0,2 mm materiału, to na jeden obrót tej głowicy zbierana warstwa materiału wynosi 10,8 mm.

Projektowanie i konstrukcja frezarek to zagadnienia bardzo obszerne. Podobnie jak wyposażenie frezarek, poszerzające ich możliwości produkcyjne.

Aleksander Łukomski