

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki
Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji

LABORATORIUM OBRABIAREK

INSTRUKCJA

**Temat: Obróbka kół zębatach walcowych na frezarce
obwiedniowej typ 5B 310P**

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest omówienie metod obróbki kół zębatach walcowych o zębach prostych i śrubowych, zapoznanie się z frezarką obwiedniową jej charakterystyką i możliwościami oraz analiza schematu kinematycznego napędów niezbędnych do nacięcia kół walcowych. A następnie dobór kół zmianowych przekładni i parametrów obróbki w celu nacięcia określonego koła zębatego.

2. Wiadomości ogólne

2.1. Klasyfikacja metod obróbki kół zębatach

Wyróżnia się trzy metody obróbki kół zębatach:

- metoda kształtowa,
- metoda kopiowa,
- metoda obwiedniowa.

Przy omawianiu metod obróbki kół zębatach należy mieć na uwadze:

- *sposób obróbki* – struganie, dłutowanie, frezowanie lub szlifowanie,
- *kształt narzędzi* – geometria ostrza,
- *cykl roboczy* – ciągły (obróbka wszystkich zębatach w kole przeprowadzana jednocześnie, stopniowo), przerywany (po obróbce jednego wrębu następuje podział i cykl obróbki powtarza się).

Z kinematycznego punktu widzenia obrabiarki pracujące z cyklem ciągłym mają prostszy układ kinematyczny, natomiast narzędzia skrawające mają bardziej złożoną budowę, są trudniejsze do ostrzenia i ustawienia.

Ponadto należy odróżnić obróbkę:

- *zgrubną* – usunięcie nadmiaru materiału z wrębu, obrabiarka sztywna o mniejszej dokładności, narzędzie o uproszczonym kształcie i mniejszej dokładności,
- *kształtującą* – nadanie ostatecznego kształtu zarysowi zęba narzędziem bardzo dokładnym i złożonym kształcie.

2.2. Obróbka walcowych kół zębatach

Obróbka kształtowa

– znajduje zastosowanie w przypadkach, gdy zarys wrębu pozostaje niezmienny na całej długości zęba (szerokości wieńca zębatego). Dlatego metodę tę stosuje się do obróbki kół walcowych z uzębieniem zewnętrznym lub wewnętrznym o zębach prostych lub śrubowych. Obróbka ta może być przeprowadzana frezowaniem, struganiem, przeciąganiem lub szlifowaniem.

Metoda ta jest stosowana przy obróbce:

- kół o mniejszej dokładności wykonania (wyjątek stanowi szlifowanie kształtowe),
- wstępnej (zgrubnej), wtedy metodą tą wykonuje się nie tylko koła zębatach walcowe, ale także koła stożkowe o zębach prostych.

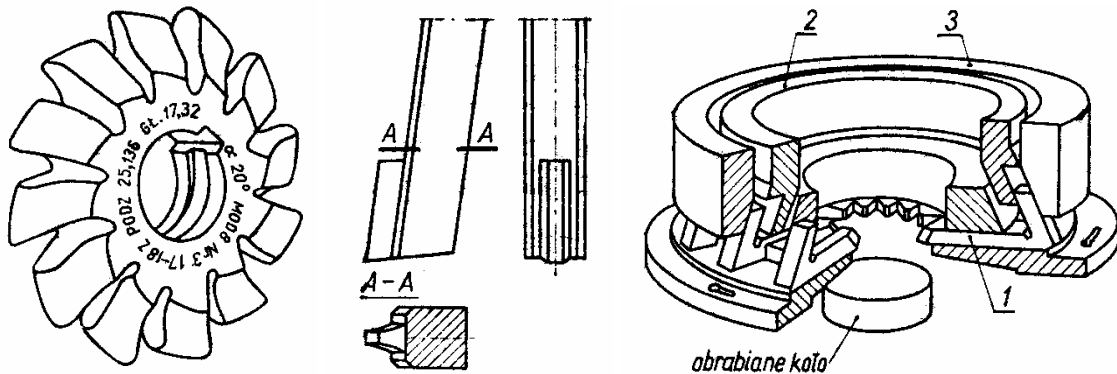
Mniejsza dokładność wykonania wynika z:

- trudności wykonania dokładnego zarysu narzędzia,
- trudności ustawienia narzędzia.

Do nacinania kół zębatach można stosować:

- frezy krążkowe modułowe,

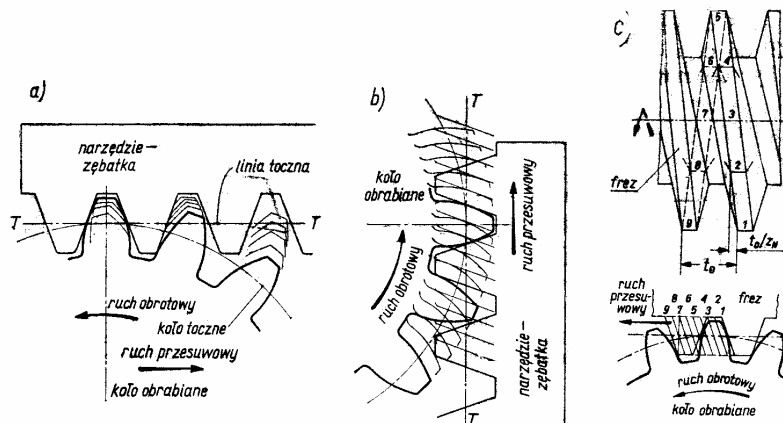
- frezy palcowe kształtowe (stosowane gdy frez krążkowy nie ma dostatecznego wybiegu, np. frezowanie zębów zygzakowych),
- noże dłutownicze,
- głowice dłutujące, pozwalają na jednoczesną obróbkę wszystkich zębów. Głowica posiada tyle noży ile jest zębów w obrabianym kole.



Rys.1. Przykładowe narzędzia do obróbki kształtowej: a) frez modułowy krążkowy, b) kształtowy nóż dłutowniczy, c) głowica narzędziowa do kształtowego dłutowania zębów: 1 – pojedynczy nóż głowicy, 2 – bęben wewnętrzny, 3 – bęben zewnętrzny

Obróbka obwiedniowa

- polega na obwodzeniu zarysu boku zęba przez kolejne położenia krawędzi skrawającej (ostrza) narzędzia. Mamy tu doczynienia z ruchem roboczym skrawającym narzędzia i ruchem tocznym (odtaczania), którego celem jest nadanie kształtu ewolwentowego zarysowi boku zęba obrabianego koła



Rys. 2. Kolejne położenia krawędzi skrawającej narzędzia-zębatki względem obrabianego koła (a – metoda Maaga, b – metoda Sundrlanda, c – frezowanie obwiedniowe)

Ruch toczny składa się z:

- ruchu obrotowego koła obrabianego,
- ruchu przesuwowego:
 - a) obrabianego koła – metoda **Maaga**,
 - b) suportu z narzędziem – metoda **Sunderlanda**.

W obydwu przypadkach narzędzie ma kształt zębatki. Często też wymienia się tutaj frezowanie obwiedniowe za pomocą ślimaka, który w przekroju ma kształt zbliżony do zębatki.

W tym ostatnim przypadku krawędzie skrawające (ostrza) są rozmieszczone wzdłuż linii śrubowej freza ślimakowego. Podczas obrotu każda następująca krawędź skrawająca zęba

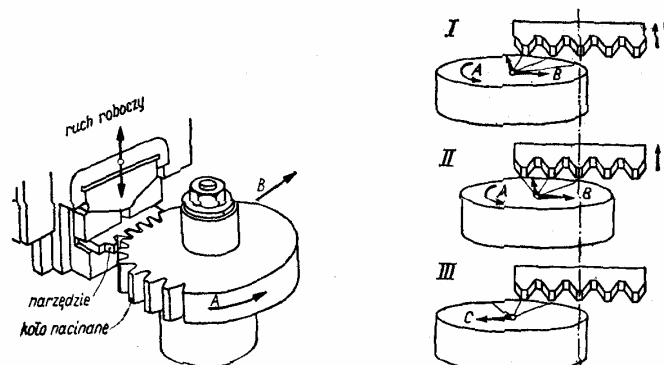
freza, wchodząc do pracy, jest przesunięta względem poprzedniej krawędzi skrawającej (tego samego zwoju) wzdłuż osi freza, co stwarza warunki ruchu przesuwowego narzędzia zębatkowego.

Poza wymienionymi już wcześniej metodami obróbki obwiedniowej jest jeszcze jedna nazywana – metodą **Fellowsa**, która polega na współpracy dwóch kół ze sobą. Jedno z kół jest przedmiotem obrabianym, a drugi jest narzędziem zwanym nożem Fellowsa lub dłutakiem. W tym przypadku mamy doczynienia z ruchem dłutującym narzędzia oraz jednoczesnym ruchem obrotowym narzędzia i przedmiotu.

Metoda Maaga

W metodzie tej można wyróżnić trzy charakterystyczne położenia koła podczas jednego cyklu obróbki:

- I** – rozpoczęcie nacinania zęba, zębatka wykonuje ruch dłutujący, a nacinane koło wykonuje „przetaczanie” po zębatce, jest to spowodowane jednoczesnym wykonywaniem dwóch ruchów przesunięcia w kierunku strzałki *B* oraz obrotu w kierunku *A*.
- II** – położenie odpowiada końcowemu stanowi. Koło przesunęło się dokładnie o 1 podziałkę i jednocześnie obróciło się o kąt odpowiadający tej podziałce – ząb został w części obrobiony.
- III** – narzędzie zatrzymuje się u góry (nad nacinaniem kołem), koło przesuwa się wstecz (bez obrotu) o 1 podziałkę w kierunku strzałki *C*, w ten sposób następuje podział.



Rys. 3. Obróbka zębów metodą Maaga, trzy podstawowe położenia koła podczas jednego cyklu obróbki

Metoda ta pozwala na obróbkę kół walcowych o uzębieniu prostym jak i śrubowym. Różnica przy nacinaniu tych drugich polega na tym, że narzędzie wykonuje ruch roboczy wzdłuż linii zęba. Czyli skręca się obrotnicę z prowadnicami suwaka narzędziowego o kąt pochylenia linii zęba β_0 , który to kąt oblicza się ze wzoru

$$\sin \beta_{ot} = \sin \beta_o \frac{\cos \alpha_n}{\cos \alpha_N}$$

gdzie:

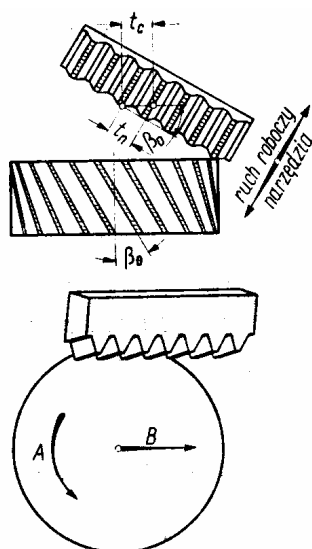
α_n – normalny kąt zarysu zęba koła,

α_N – kąt zarysu narzędzia,

β_0 – kąt pochylenia linii zęba na walcu podziałowym (normalny kąt pochylenia linii zęba),

β_{ot} – kąt pochylenia linii zęba na walcu obróbczo-tocznym.

Pozostałe ruchy odbywają się tak jak poprzednio.



Rys. 4. Schemat nacinania zębów śrubowych – metoda Maaga

Metoda Sunderlanda

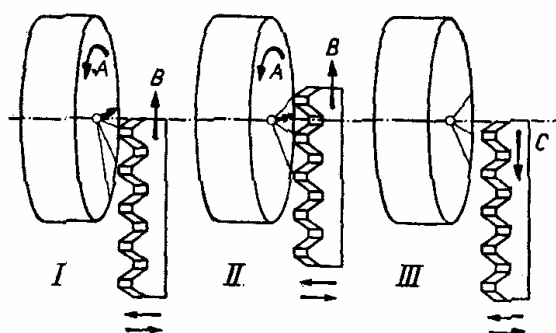
W metodzie tej narzędzie oprócz ruchu roboczego wykonuje ruch przesuwowy, natomiast nacinane koło – tylko ruch obrotowy. Widać, zatem że tu ruch toczny rozłożony jest na narzędzie i nacinane koło. Podobnie jak w metodzie Maaga można wyróżnić tutaj trzy podstawowe etapy:

I – rozpoczęcie nacinania zęba.

II – położenie odpowiada końcowemu stanowi, gdy koło obróciło się w kierunku strzałki *A* o kąt odpowiadający jednej podziałce, narzędzie zaś przesunęło się o wielkość jednej podziałki obróbczo-tocznej w kierunku strzałki *B*.

III – położenie przedstawia moment po dokonaniu podziału. Podział dokonuje się w ten sposób, że narzędzie odsuwa się w kierunku promieniowym od nacinanego koła, po czym odsuwa się ku dołowi (kierunek *C*) do początkowego położenia i dosuwa się do nacinanego koła, które w tym czasie było unieruchomione.

Odsunięcie narzędzia od koła nacinanego w trakcie przesuwu w kierunku *C* jest konieczne, aby narzędzie nie zawadziło o przedmiot obrabiany, ponieważ narzędzie cały czas wykonuje ruch roboczy.

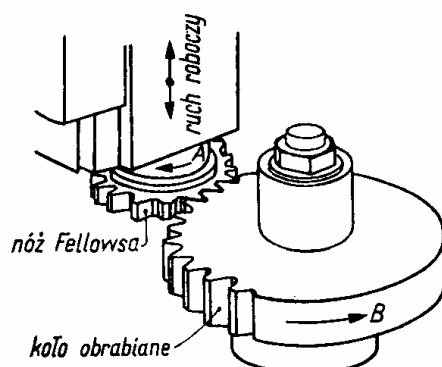


Rys. 5. Obróbka zębów metodą Sunderlanada

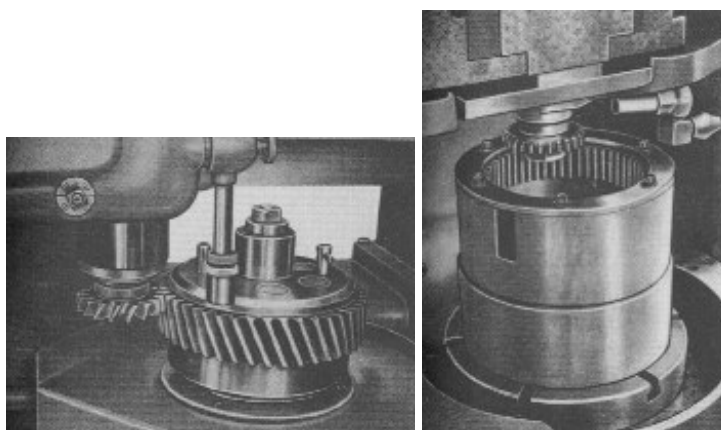
Również ta metoda pozwala na nacinanie kół zębatych o uzębieniu śrubowym. Sama zasada nacinania uzębienia jest ta sama, należy jedynie skrócić obrotnicę z prowadnicami sań narzędziowych.

Metoda Fellowsa

Zasadę nacinania uzębienia metod Fellowsa pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Obróbka zębów metodą Fellowsa



Rys. 7. Przykład dłutowania kół metodzie linii śrubowej i o uzębieniu wewnętrznym

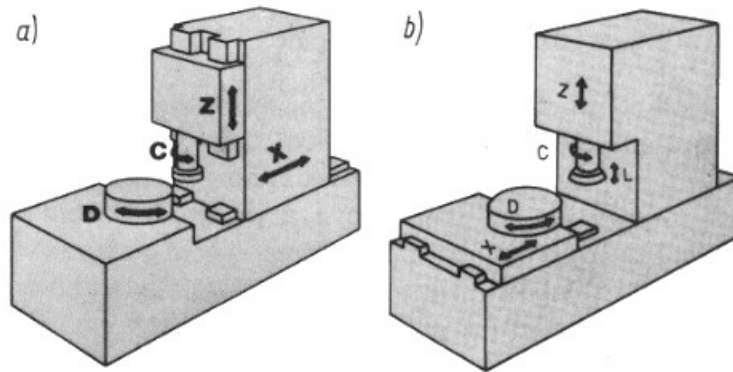
W metodzie tej występują następujące ruchy zasadnicze:

- ruch roboczy narzędzia posuwowo-zwrotny wzdłuż linii zęba,
- obrotowy ruch narzędzia,
- obrotowy ruch nacinanego koła.

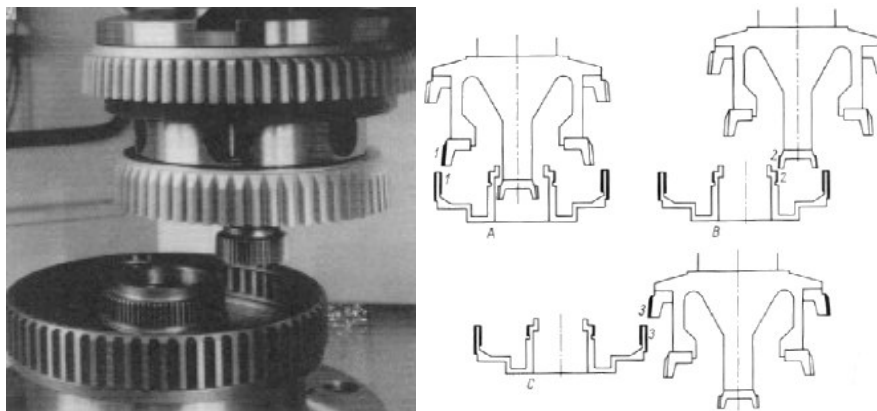
Obroty obrabianego koła oraz narzędzia odbywają się w taki sposób, jak gdyby współpracowały ze sobą dwa koła zębate w przekładni. Zarys zęba obrabianego koła jest obwiednią kolejnych położeń zarysu zęba noża Fellowsa.

Oprócz ww. ruchów występują w trakcie obróbki jeszcze dwa ruchu pomocnicze:

- a) Promieniowy ruch dosuwowy wstępny mający na celu zbliżenie narzędzia do koła, tak by wprowadzić narzędzie na odpowiednią głębokość w materiał obrabiany. Ruch ten występuje w początkowej fazie obróbki lub po obróbce zgrubnej, gdy należy dalej zagłębić narzędzie w celu obróbki wykańczającej.
- b) Ruch odsuwający narzędzie od przedmiotu lub przedmiot od narzędzia w trakcie ruchu powrotnego narzędzia. Ruch ten jest konieczny, gdyż pozwala uniknąć tarcia zębów narzędzia o zęby nacinanego koła (dłuższa żywotność narzędzia).



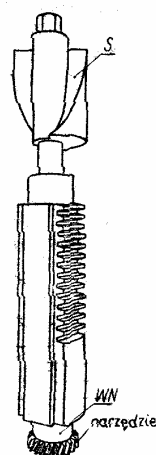
Rys. 8. Zasada dłutowania metodą Fellowsa (ruch dosuwający i odsuwający narzędzie wykonywany przez: a) wrzeciennik, b) stół obrabiarki



Rys. 9. Obróbka trzech wieńców koła w jednym zamocowaniu: a) widok ogólny, b) kolejność obróbki

Metoda ta również pozwala na nacinanie kół zębatych o uzębieniu śrubowym. Choć występują pewne trudności. Wrzeciono robocze pozostaje w tym samym położeniu jak przy nacinaniu zębów prostych, oś wrzeczona jest równoległa do osi nacinanego koła. Dlatego przy nacinaniu zębów śrubowych narzędzie musi wykonywać dodatkowy ruch obrotowy. Ruch ten nadawany jest narzędziu przez zastosowanie śrubowej prowadnicy (krzywki), po której suwa się suwak s o śrubowej powierzchni sań. Ponadto narzędzie musi mieć również zęby śrubowe (do nacinania zębów w kole o lewej linii zębów w narzędziu linia zębów jest prawa i odwrotnie).

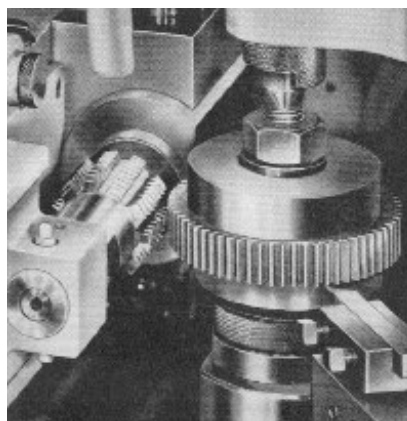
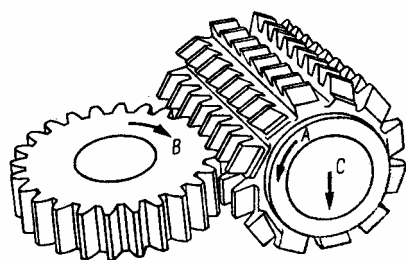
Oczywiście kąt pochylenia prowadnic krzywki nie jest dowolny, lecz zależny od kąta pochylenia β_0 zębów nacinanego koła oraz od średnicy podziałowej narzędzia.



Rys. 10. Wrzeciono narzędziowe z krzywką śrubową – dłutownica Fellowsa

Frezowanie obwiedniowe

Frezowanie obwiedniowe walcowych kół zębatych polega na zasadzie współpracy ślimaka z kołem ślimakowym, z tym że w przypadku frezowania zamiast ślimaka mamy frez ślimakowy, a zamiast koła ślimakowego mamy obrabiane koło walcowe.



Rys. 11. Frezowanie zębów prostych

Po jednym obrocie freza koło obrabiane obraca się o kąt odpowiadający jednemu skokowi zwoju zębów freza ślimakowego. Gdy frez jest jednokrotny to koło obrabiane obróci się o kąt odpowiadający jednej podziałce, gdy frez jest k – krotny – o kąt odpowiadający k podziałkom.

Ponadto w celu obrobienia zębów na całej ich długości przesuwają się:

- suport narzędziowy równoległe do osi obrabianego koła (frezarka uniwersalna o osi poziomej),
- stół wraz z kołem obrabianym wzdłuż osi tego koła (frezarka uniwersalna o osi pionowej),
- suport narzędziowy wzdłuż linii zęba (frezarka obwiedniowa specjalna bezdyferencjałowa).

Stąd też rozróżnia się dwa rozwiązania kinematyczne frezarek obwiedniowych:

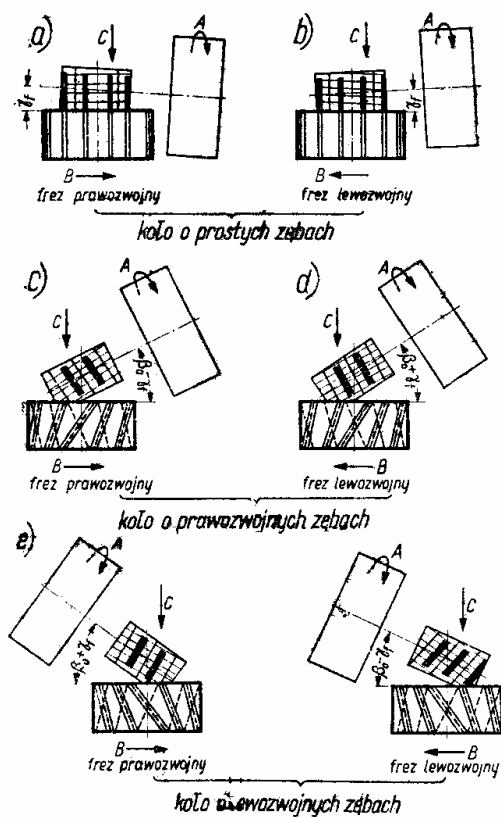
- frezarki uniwersalne (z dyferencjałem, z mechanizmem różnicowym),
- frezarki specjalne (bezdyferencjałowa).

Należy tutaj wspomnieć, że na:

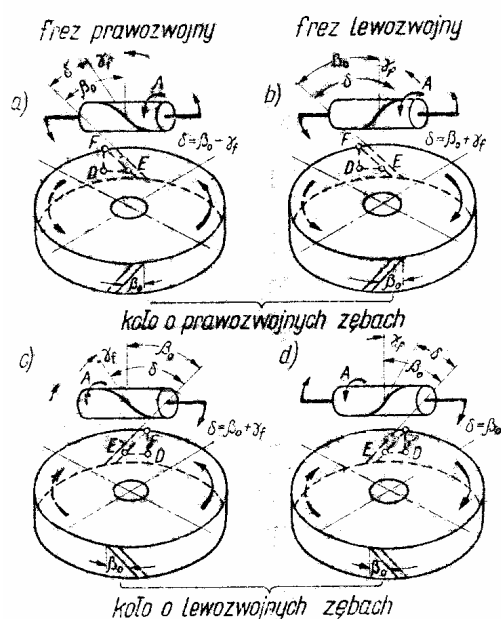
- frezarce obwiedniowej uniwersalnej można obrabiać koła zębate walcowe o zębach prostych i śrubowych, ślimaki walcowe i globoidalne oraz ślimacznicę (metoda styczna i promieniowa),
- frezarce obwiedniowej bezdyferencjałowej można obrabiać koła zębate walcowe o zębach prostych i śrubowych i ślimacznicę (tylko metoda promieniowa).

Frezowanie obwiedniowe walcowych kół o uzębieniu śrubowym.

Podczas frezowania zębów śrubowych musimy przede wszystkim ustawić odpowiednio frez względem obrabianego przedmiotu. Wrzeciennik narzędziowy z zamocowanym frezem musi być tak przekręcony, aby linia śrubowa zębów freza stanowiła przedłużenie linii zębów obrabianego przedmiotu koła.



Rys. 12. Schematyczne ustawienie freza względem nacinanego koła



Rys. 13. Obliczanie kąta ustawienia freza względem koła obrabianego oraz kierunki obrotów przedmiotu (główny i dodatkowy)

Gdy kierunek linii śrubowej zębów freza jest zgodny z kierunkiem pochylenia linii zębów koła obrabianego (prawe albo lewe), wówczas kąt między osią i czołem koła obrabianego obliczamy z zależności (rys. 10 a i d):

$$\delta = \beta_o - \gamma_f$$

Gdy kierunki są przeciwne, wówczas kąt ustawienia osi freza względem koła obrabianego obliczamy z zależności (rys. 10 b i c):

$$\delta = \beta_o + \gamma_f$$

najczęściej przyjmuje się zgodne kierunki linii śrubowych zwojów freza i zębów koła obrabianego. Przeciwne kierunki linii śrubowych, można przyjmować, gdy $\beta \leq 20^\circ$, w tym przypadku przyjmuje się jeszcze zmniejszone posuwy.

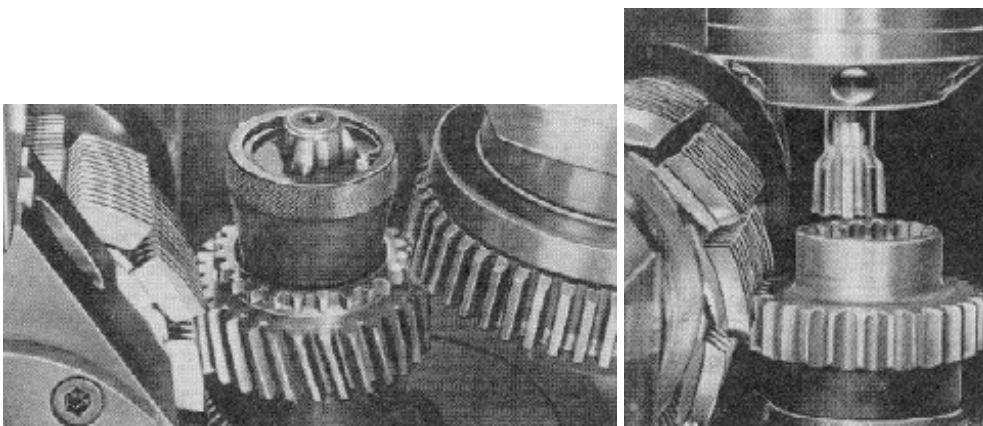
Śrubowa linia zębów powstaje, gdy podczas z/k obrotów obrabiane koło wykona:

I – (rys. 10 a i d) jeden pełny obrót i część obrotu odpowiadającą łukowi \widehat{DE} , w tym przypadku kierunek ruchu głównego (strzałka pełna) jest zgodny z kierunkiem ruchu dodatkowego (strzałka przerywana),

II – (rys. 10 b i c) jeden obrót zmniejszony o część obrotu odpowiadającą łukowi \widehat{DE} , w tym przypadku kierunki ruchu głównego i dodatkowego są przeciwne.

Szczególne przypadki frezowania obwiedniowego:

- frezowanie z dobiegiem promieniowym,
- frezowanie przeciwbieżne i współbieżne,
- frezowanie z zastosowaniem skokowego przesuwu freza,
- frezowanie diagonalne,
- frezowanie uzębienia beczułkowego,
- frezowanie specjalnych zębów kół sprzęgłowych.



Rys. 14. Jednoczesna obróbka dwóch różnych uzębień na obrabiarce specjalizowanej firmy Pfauter

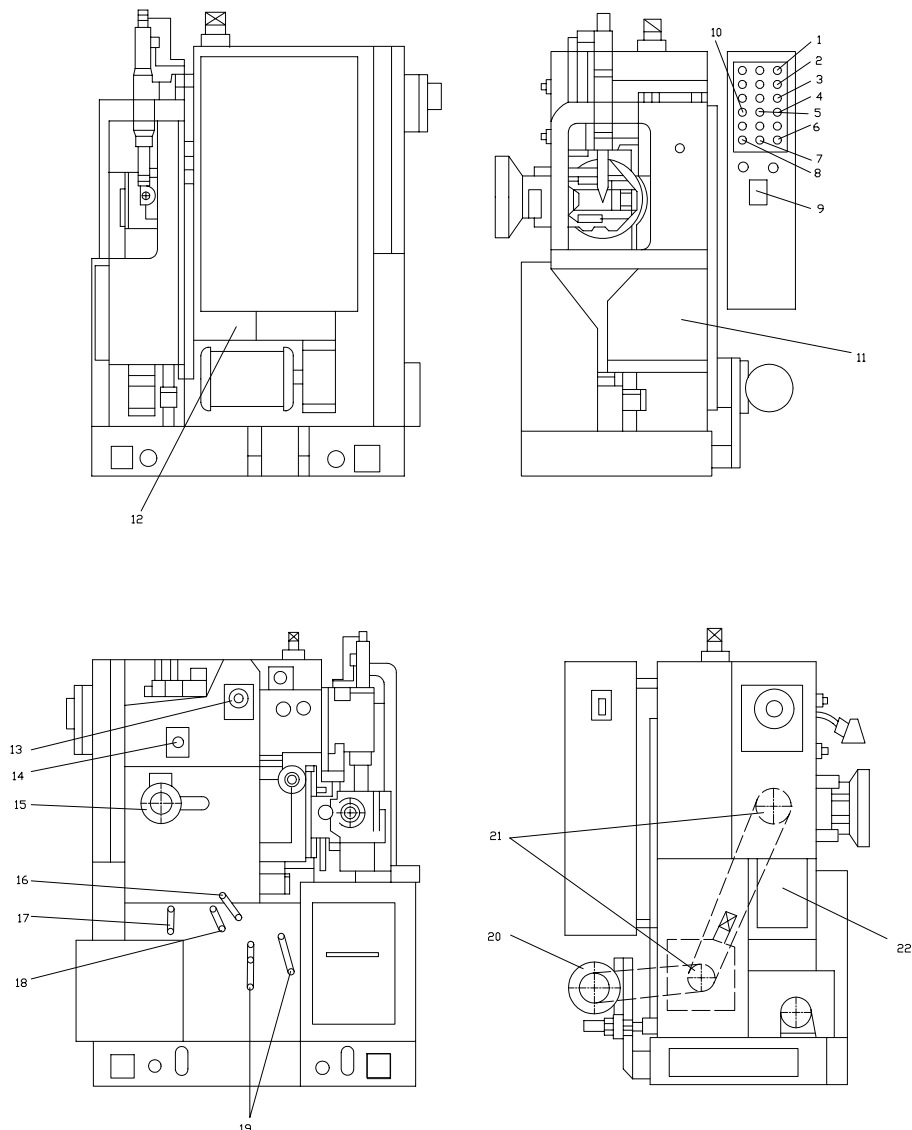
3. Opis i charakterystyka frezarki obwiedniowej typ 5B310P

Półautomat przeznaczony jest do nacinania kół zębatych walcowych o zębach prostych i skośnych o średnicy do 125 mm i module do 2,5 mm w warunkach produkcji małoseryjnej, seryjnej i masowej (rys 15).

OPIS:

- 1- Przycisk „Posuw osiowy przyspieszony”,
- 2- Przełącznik doprowadzania i odprowadzania imaka frezarskiego,
- 3- Przełącznik „Koła ślimakowe – Koła o zębach prostych i skośnych”,
- 4- Przełącznik „Ustawianie – Cykl – Cykl dwuprzejściowy”,
- 5- Załączenie chłodzenia,
- 6- Stop awaryjny,
- 7- Przycisk załączenia silnika hydraulicznego,
- 8- Przycisk „Rozruch cyklu”,
- 9- Przekaznik opóźnienia zakończenia posuwu promieniowego,
- 10- Przełącznik „Luzowanie i zaciskanie tulei konika”,

- 11- Gitara mechanizmu podziałowego (za drzwiczkami),
- 12- Gitara mechanizmu różnicowego (za drzwiczkami),
- 13- Regulator prędkości posuwu promieniowego,
- 14- Przycisk „Rozruch krótkotrwały” – w przypadku zakleszczenia,
- 15- Regulator głębokości wcinania promieniowego,
- 16- Dźwignia „Posuw osiowy włączony – wyłączony”,
- 17- Dźwignia „Posuw styczny włączony – wyłączony”,
- 18- Dźwignia zmiany kierunku przesuwu stołu „współbieżnie – przeciwbieżnie”,
- 19- Dźwignie nastawiania określonej wartości posuwu osiowego,
- 20- Silnik główny,
- 21- Koła cięgnowe napędu głównego,
- 22- Gitara mechanizmu posuwów stycznych (za drzwiczkami).



Rys.15. Widok ogólny frezarki obwiedniowej

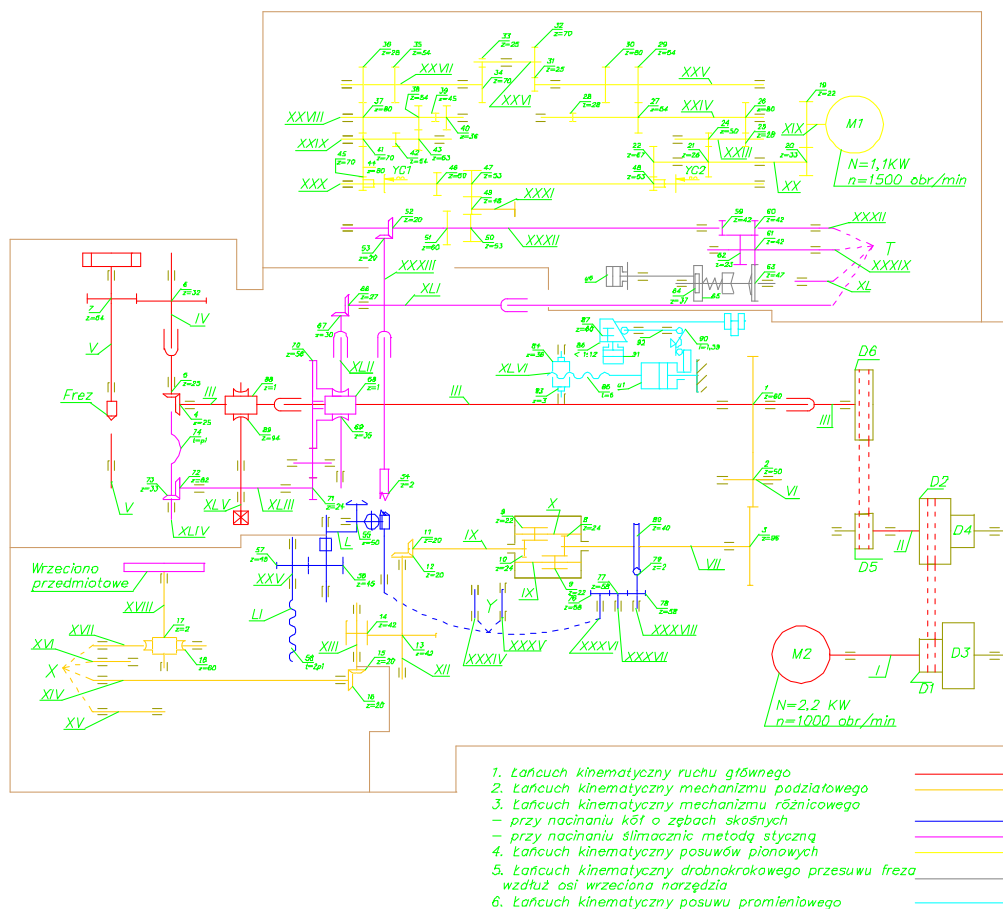
Właściwości konstrukcyjne półautomatu:

Półautomat jest wykonany w układzie pionowym z pionowo przemieszczającym się stołem. Taki układ zapewnia zmniejszone gabaryty oraz wygodną strefę do eksploatacji półautomatu. Półautomat wyposażony jest w skrzynkę posuwów, co skraca czas przeregulowania i daje

możliwość wyboru optymalnego wariantu posuwów podczas obróbki partii wyrobów. W celu wykonania wcinania promieniowego wykorzystuje się pomocniczy cylinder hydrauliczny z zaworem dławiącym. Imak frezarski przesuwają się po poziomych prowadnicach. Przyspieszony dosuw imaka do otoczki nacinanego koła wykonuje się cylindrem hydraulicznym. Imak podczas obróbki jest zaciskany na prowadnicach łoża za pomocą cylindra hydraulicznego. Korpus imaka jest stale przyciśnięty do dolnej prowadnicy łoża rolką dociskaną sprężynami rolkowymi. Suport frezarski przesuwają się wzdłuż osi narzędzia po prowadnicach w kształcie V. Przy pracy bez przeciągacza (metoda obróbki przekątna i styczna) sanie suportowe zaciskane są na prowadnicach przy pomocy cylindrów hydraulicznych, których praca jest włączona do cyklu pracy półautomatu. Półautomat wyposażony jest w mechanizm drobnokrokowego przesuwu freza (shifting) wzdłuż osi narzędzia. Shifting odbywa się po każdym cyklu obróbki. Napęd ruchu głównego z dwustopniową przekładnią pasową klinową zapewnia częstotliwość obrotów freza. Silnik elektryczny napędu ruchu głównego umieszczony jest z tyłu obrabiarki.

4. Schemat kinematyczny frezarki obwodniowej typ 5B 310P

Na rysunku 16 przedstawiono schemat kinematyczny frezarki obwodniowej typ 5B310P. Nie wszystkie układy kinematyczne frezarki obwodniowej biorą udział w kształtowaniu ruchów freza i otoczki koła ślimakowego podczas nacinania uzębienia. W metodzie promieniowej biorą udział mechanizmy ruchu głównego, podziału, posuwu promieniowego. W metodzie stycznej: ruchu głównego, podziału, mechanizmu różnicowego, posuwu stycznego.



Rys. 16. Schemat kinematyczny frezarki obwodniowej

1. Łańcuch kinematyczny ruchu głównego łączy obroty silnika elektrycznego $M2$ napędu głównego ($N = 2,2$ KW, $n = 1000$ obr/min) z obrotami wrzeciona freza za pomocą dwustopniowej przekładni pasowej klinowej. Przekazanie ruchu odbywa się za pomocą kół cięgnowych D_1, D_2, D_5, D_6 , kół zębatych 4, 5, 6, 7. W celu otrzymania większej liczby obrotów freza, pierwszy stopień przekładni pasowej klinowej, może być nastawiany kołami cięgnowymi D_3 i D_4 . Dla obrabiarki wykonania podstawowego, przy nastawieniu pierwszego stopnia przekładni pasowej klinowej $D_1 = 93$ mm, $D_2 = 177$ mm, a także kombinacji nastawienia zmianowych kół cięgnowych drugiego stopnia D_5/D_6 , liczba obrotów freza jest w granicach 100–500 obr/min. Przełożenie łańcucha określone jest równaniem.

$$i_v = \frac{D_1}{D_2} \cdot \left(\frac{D_3}{D_4} \right) \cdot \frac{D_5}{D_6} \cdot n_E \cdot i_{st}$$

i_v – przełożenie łańcucha ruchu głównego,

n_E – prędkość obrotowa silnika napędowego w obr/min,

i_{st} – wartość przełożeń stałych obrabiarki $i_{st} = D_6$,

D_{1-6} – średnice zmianowych kół pasowych napędu.

2. Łańcuch kinematyczny mechanizmu podziałowego łączy obroty freza z obrotami wrzeciona przedmiotowego. Do tego łańcucha wchodzi: koło zębate suportu 7, 6, 5, 4, koła imaka 1, 2, 3, koła łoża 8, 9, 10, 11, 12, 13, koła stołu 14, 15, 16, zmianowe koła zębate gitary podziałowej X : a, b, c, d , podziałowa przekładnia ślimakowa 17, 18. Przełożenie łańcucha określa poniższe równanie.

$$\frac{z}{K_{fr}} \cdot \frac{z_7}{z_6} \cdot \frac{z_5}{z_4} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{z_{17}}{z_{18}} = 1 - \text{jeden obrót stołu}$$

stąd:

$$U_x = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{K_{fr}}{z} \cdot A$$

gdzie:

$$A = \frac{z_7}{z_6} \cdot \frac{z_5}{z_4} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_8}{z_9} \cdot \frac{z_9}{z_{10}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} \cdot \frac{z_{17}}{z_{18}} =$$

$$\frac{64}{32} \cdot \frac{25}{25} \cdot \frac{60}{50} \cdot \frac{50}{96} \cdot \frac{24}{22} \cdot \frac{22}{24} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{1}{30} = 0,041 = \frac{1}{24}$$

A – wartość stała obrabiarki,

K_{fr} – krotność freza ślimakowego,

z – liczba zębów koła ślimakowego,

U_x – przełożenie gitary mechanizmu podziału,

a, b, c, d – koła zmianowe gitary podziału.

3. Łańcuch kinematyczny mechanizmu różnicowego stosuje się przy nacinaniu:

- kół o zębach skośnych,
- kół ślimakowych metodą posuwu stycznego,
- kół o zębach prostych i skośnych metodą posuwu przekątnego.

Przy nacinaniu kół o zębach skośnych łańcuch mechanizmu różnicowego łączy przesuw pionowy wrzeciona przedmiotowego względem freza z dodatkowymi obrotami stołu. Połączenie tych ruchów odbywa się przez nastawienie gitary mechanizmu różnicowego Y . Łańcuch kinematyczny mechanizmu różnicowego składa się z śruby pociągowej 58, kół zębatych 57, 56, przekładni ślimakowej 55, 54, sprzęgła zębatego włączonego; zmianowych kół zębatych gitary Y – m, n, p, r , kół zębatych 76, 77, 78, przekładni ślimakowej 79, 80, korpusu mechanizmu różnicowego (jarzmo); kół zębatych 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, zmianowych kół gitary podziałowej X – a, b, c, d , ślimaka podziałowego 17 i koła podziałowego 18 sprzężonego z wrzecionem wyrobu.

Przy nacinaniu kół ślimakowych metodą posuwu stycznego, łańcuch mechanizmu różnicowego składa się z następujących elementów: śruba 74 (przeciągania suportu); koła zębate 73, 72, 71, 70, przekładnia ślimakowa 69, 68, koła zębate 67,66, zmianowe koła zębate gitary $T - k, e, o, f$, koła zębate 60, 61,59 (przy tym szerokowieńcowe koło zębate powinno być w zazębieniu jednocześnie z kołami 59 i 60, dźwignia posuw styczny – pozycja włączony); koła zębate 52, 53 (sprzęgło zębate ślimaka 54 wyprowadzone z zazębienia); zmianowe koła zębate gitary $Y - m, n, p, r$, koła zębate 76,77,78, przekładnia ślimakowa 79, 80, korpus mechanizmu różnicowego (jarzmo); koła zębate 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, zmianowe koła zębate gitary X, ślimak podziałowy 17, podziałowe koło ślimakowe 18, nasadzone na wrzeciono wyrobu. Przełożenie tego łańcucha określa równanie (4.1).

$$\frac{m \cdot \pi}{h_p} \cdot \frac{z_{73}}{z_{72}} \cdot \frac{z_{71}}{z_{70}} \cdot \frac{z_{69}}{z_{68}} \cdot \frac{z_{67}}{z_{66}} \cdot \frac{k}{e} \cdot \frac{o}{f} \cdot \frac{z_{60}}{z_{61}} \cdot \frac{z_{61}}{z_{59}} \cdot \frac{z_{52}}{z_{53}} \cdot \frac{m}{n} \cdot \frac{p}{r} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{77}}{z_{78}} \cdot \frac{z_{79}}{z_{80}} \cdot \frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{z_{17}}{z_{18}} = \frac{1}{z} - \text{dodatkový obrót stołu} \quad (4.1)$$

stąd:

$$U_Y = \frac{m}{n} \cdot \frac{p}{r} = \frac{C}{K_{fr} \cdot m \cdot \pi}$$

gdzie:

$$C = \frac{h_p}{2A} \cdot i_{st} = \frac{2}{2} \cdot \frac{1}{24} \cdot \frac{z_{73}}{z_{72}} \cdot \frac{z_{71}}{z_{70}} \cdot \frac{z_{69}}{z_{68}} \cdot \frac{z_{67}}{z_{66}} \cdot \frac{z_{60}}{z_{61}} \cdot \frac{z_{61}}{z_{59}} \cdot \frac{z_{52}}{z_{53}} \cdot \frac{z_{59}}{z_{61}} \cdot \frac{z_{52}}{z_{53}} \cdot \frac{z_{76}}{z_{77}} \cdot \frac{z_{77}}{z_{78}} \cdot \frac{z_{79}}{z_{80}} \cdot \frac{z_{10}}{z_{11}} \cdot \frac{z_{11}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{13}}{z_{14}} \cdot \frac{z_{15}}{z_{16}} \cdot \frac{z_{17}}{z_{18}}$$

z – liczba zębów koła ślimakowego,

h_p – skok śruby pociągowej,

i_{st} – wartość przełożeń stałych obrabiarki,

A – wartość stała z przełożenia mechanizmu podziału,

C – wartość stała,

m – moduł,

K_{fr} – krotność freza ślimakowego,

g, h, i, j – koła zmianowe mechanizmu różnicowego,

a, b, c, d – koła zmianowe mechanizmu podziału,

k, e, o, f – koła zmianowe mechanizmu posuwu stycznego.

Przy nacinaniu kół zębatych prostych i skośnych metodą posuwu przekątnego, łańcuch kinematyczny mechanizmu różnicowego łączy posuw pionowy wrzeciona przedmiotowego względem freza i posuwu suportu z frezem wzdłuż osi wrzeciona narzędzia z dodatkowymi obrotami stołu (wrzeciona przedmiotowego). Łańcuch mechanizmu różnicowego składa się z elementów kinematycznych, jakie są stosowane przy wykonywaniu kół o zębach skośnych i kół ślimakowych metodą posuwu stycznego.

4. Łańcuch kinematyczny posuwów pionowych łączy obroty silnika M ($N=1,1$ KW, $n=1500$ obr/min) z przesuwem:

- stołu przy przesuwie pionowym,
- suportu przy posuwie stycznym,
- suportu i stołu jednocześnie przy przesuwie przekątnym.

Napęd odbywa się za pomocą skrzynki posuwów, za której pośrednictwem jest możliwe: regulowanie 15 stopni posuwów roboczych; wykonanie przyspieszonego przesuwu stołu i suportu; zmiana kierunku przesuwu stołu i suportu. W skład łańcucha posuwów roboczych

stołu wchodzi następujące elementy kinematyczne: koła zębate 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, blok-koło zębate 29, 30, 31, 32, 33, 34, blok-koło zębate 35-36, 37, 38, 39, 40, 41, blok-koło zębate 42, 43, 44, 45, sprzęgło elektromagnetyczne YC1, koła zębate 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, przekładnia ślimakowa łoża 54,55, koła zębate 56,57, śruba pociągowa 58. Zmiana kierunku posuwów odbywa się za pomocą przesuwu bloku-koła zębatego 50-51. Łańcuch przyspieszonego przesuwu stołu składa się z koła zębatego 19, 20, 22, 48, sprzęgła elektromagnetycznego YC2, koła 46, 47, 49, 50, 51, 53, pary ślimakowej 54, 55, koła 56, 57, śruby pociągowej 58.

W skład łańcucha roboczych posuwów stycznych wchodzi wszystkie elementy kinematyczne skrzynki posuwów. Sprzęgło ślimaka 54 jest odłączone, a szerokowienicowe koło zębate 61 wprowadzone w zazębienie z kołami 59 i 60. Ruch od wału XXXII jest przekazywany kołami 59,61,60, zmianowymi kołami zębatymi gitary posuwów stycznych T, na koła stożkowe 66, 67, przekładnię ślimakową 68, 69, koła 70, 71, 72, 73, śrubę 74. Przełożenie tego łańcucha określa następujące równanie:

$$U_p = \frac{S_{\min}}{h_p \cdot i_{st}} = \frac{S_{\min}}{2} \quad (4.2)$$

U_p – przełożenie łańcucha kinematycznego posuwów pionowych,

i_{st} – wartość przełożeń stałych obrabiarki,

h_p – skok śruby pociągowej,

S_{\min} – wartość posuwu osiowego w mm/min.

5. Łańcuch kinematyczny drobnokrokowego przesuwu freza wzdłuż osi wrzeciona narzędzia łączy ruch postępowy tłoka cylindra hydraulicznego 6 z przesuwem sań suportu wzdłuż osi wrzeciona narzędzia. W celu uzyskania drobnokrokowego posuwu należy wprowadzić w zazębienie koło zębate 61 z kołem 59. Napęd ruchu odbywa się od cylindra hydraulicznego 6. W skład tego łańcucha kinematycznego wchodzi: listewka 65, koło 64, zębate jednokrotne sprzęgło koła 63, koła 63, 62, 61, 60, zmianowe koła zębate gitary T, koła zębate 66, 67, przekładnia ślimakowa 68, 69, koła 70, 71, 72, 73, śruba 74.

6. Łańcuch kinematyczny posuwu promieniowego ogranicza prędkość suwu promieniowego imaka frezarskiego, prędkością suwu postępowego tłoka cylindra 91. W skład łańcucha wchodzi dźwignie 90, popychacz 92, klin-listewka 86, połączone z trzonem cylindra 91, z klinem-listewką 86 zazębia się koło 87, które obraca bęben sterowania głębokością posuwu promieniowego. Równanie łańcucha kinematycznego posuwu promieniowego określa następujący wzór:

$$S_{pr} = n_{sh} \cdot i_{st} \cdot h_p$$

S_{pr} – posuw wgłębny w mm/min,

n_{sh} – prędkość obrotowa silnika hydraulicznego w obr/min,

i_{st} – wartość stałych przełożeń obrabiarki,

h_p – skok śruby pociągowej.

5. Przygotowanie frezarki obwiedniowej do nacinania kół zębatych

Przed przystąpieniem do obróbki kół zębatych prostych i skośnych należy wykonać następujące czynności na frezarce obwiedniowej:

Cykl I – Bez wcinania promieniowego z posuwem osiowym

1. Ustawić prędkość obrotową wrzeciona freza.
2. Ustawić wielkość posuwu osiowego.

3. Ustawić frez.
4. Ustawić kąt pochylenia suportu.
5. Ustawić i zamocować półwyrób.
6. Ustawić kierunek posuwu i zderzaki ograniczające posuw stołu.
7. Ustawić głębokość wcinania promieniowego $h = 0$.
8. Ustawić rozstaw kłków.
9. Nastawić gitarę mechanizmu podziałowego.
10. Nastawić gitarę mechanizmu różnicowego – koła o zębach skośnych (koła o zębach prostych – zakładany jest zamek mechaniczny na wał napędzany).
11. Nastawić gitarę "T" drobnokrokowego okresowego przesuwu narzędzia (gdy jest to konieczne).
12. Ustawić na pulpicie położenie przełączników zgodne z wybranymi warunkami obróbki.
13. Regulator prędkości posuwu promieniowego ustawić na największą wielkość.
14. Ustawić konieczną ilość cieczy chłodząco-smarującej.

Cykl II – wcinanie promieniowe z posuwem osiowym dla cyklu jednoprzęściowego, wszystkie czynności wykonuje się tak samo jak w **cyklu I** poza punktem 7:

1. Należy ustawić głębokość wcinania promieniowego h (punkt 7).
2. Ustawić prędkość posuwu promieniowego za pomocą regulatora (punkt 13).

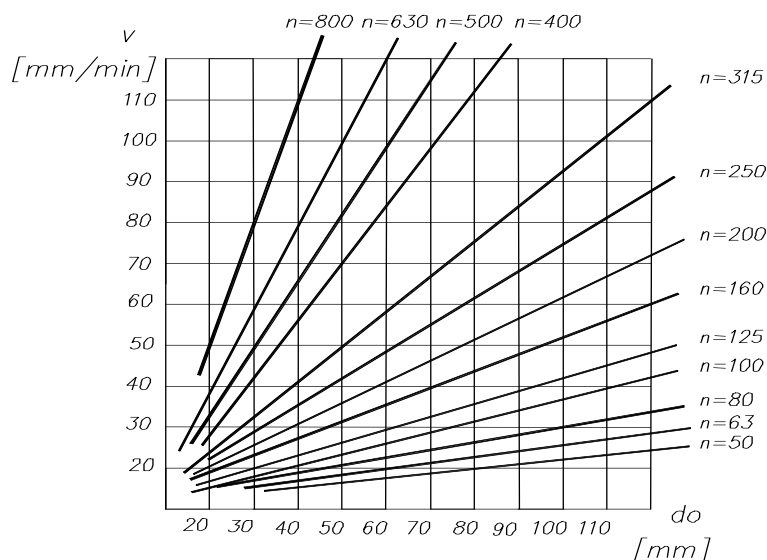
Cykl III – wcinanie promieniowe z posuwem osiowym dla cyklu dwuprzęściowego, wszystkie czynności wykonuje się tak samo jak w **cyklu II**:

1. Należy ustawić głębokość wcinania promieniowego dla przejścia pierwszego.
2. Ustawić przełącznik w położeniu „Cykl dwuprzęściowy”.

Gitara podziałowa X nastawiana jest przez zmianowe koła zębate. Luz boczny między zębami nie powinien przekraczać wartości 0,08–0,16 mm. Dla freza lewego do mechanizmu podziału dochodzi dodatkowe koło, które powoduje zmianę kierunku obrotu wrzeciona przedmiotowego

Tabl. 1. Nastawianie liczby obrotów freza ślimakowego

	$\frac{D_5}{D_6}$							
	$\frac{80}{200}$	$\frac{90}{180}$	$\frac{105}{165}$	$\frac{120}{150}$	$\frac{135}{135}$	$\frac{150}{120}$	$\frac{165}{105}$	$\frac{180}{90}$
$\frac{D_1}{D_2}$	<i>100</i>	<i>125</i>	<i>160</i>	<i>200</i>	<i>250</i>	<i>315</i>	<i>400</i>	<i>500</i>
$\frac{D_3}{D_4}$	<i>200</i>	<i>250</i>	<i>315</i>	<i>400</i>	<i>500</i>	<i>630</i>	<i>800</i>	<i>1000</i>
$\frac{D_1}{D_3}$	<i>100</i>	<i>125</i>	<i>160</i>	<i>200</i>	<i>250</i>	<i>315</i>	<i>400</i>	<i>500</i>



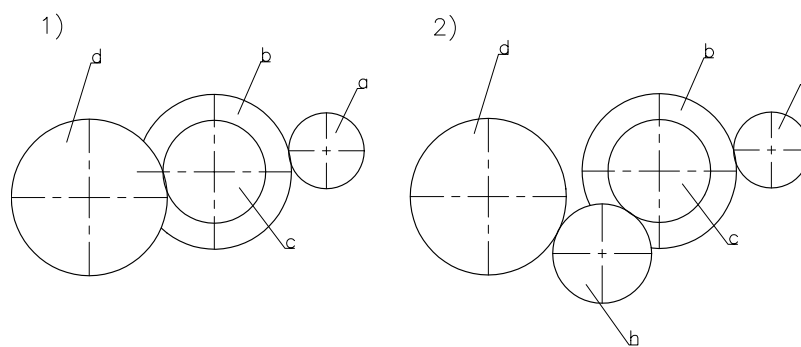
Rys. 17. Wykres doboru liczby obrotów wrzeciona freza

Tabl. 2. Wartość posuwów osiowych F_{min} mm/min

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
45,0	32,5	23,0	16,2	11,4	8,0	5,8	4,1	2,9	2,0	1,45	1,0	0,72	0,50	0,35

Do obróbki kół zębatach konieczne jest dobranie *kół zmianowych mechanizmu podziałowego*, który łączy obroty freza z obrotami wrzeciona wyrobu. Dobór kół zmianowych dla mechanizmu podziałowego wykonuje się zgodnie z tabelą 1.

Należy pamiętać, aby luz między zębami był w granicach 0,08 – 0,16 mm. Schemat nastawienia gitary przedstawia rys. 18.



Rys. 18. Schemat ustawienia przekładni gitarowej mechanizmu podziałowego

Ponadto muszą być spełnione następujące warunki zazębienia kół gitary

Dla schematu I	Dla schematu II
$a + b \geq c + 26$	$a + b \geq c + 26$
$94 \leq a + b \leq 122$	$94 \leq a + b \leq 122$
$a + b + c + d \geq 213$	$\frac{b + c}{2} + d \leq 180$
	$45 \leq d + h \leq 113 \dots 153$

Podział nastawia się zgodnie ze wzorem

$$U_x = \frac{24 \cdot K_{fr}}{z} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

K_{fr} – ilość zwojów freza,

z – liczba nacinanych zębów.

Dla $K_{fr} = 1$ ilość zębów kół zmianowych zaleca się dobierać z tab. 1.

Tabela 1. Nastawianie gitary mechanizmu podziałowego

Z	a	b	c	d	z	a	b	c	d	z	a	b	c	d
8	75	40	80	50	44	30	65	–	55	80	24	70	–	80
9	65	45	80	40	45	48	60	–	90	81	110	75	50	90
10	60	50	80	40	46	48	60	–	92	82	24	70	–	82
11	60	55	80	40	47	24	73	–	47	83	24	70	–	83
12	60	45	75	50	48	45	60	–	90	84	40	70	45	90
13	80	40	60	65	49	48	50	–	98	85	24	70	–	85
14	80	40	60	70	50	48	50	–	100	86	24	70	–	86
15	80	40	48	60	51	40	60	–	85	87	60	50	24	90
16	60	59	–	40	52	30	67	–	65	88	45	55	30	90
17	70	35	60	85	53	24	70	–	53	89	24	70	–	89
18	60	55	–	45	54	40	60	–	90	90	24	70	–	90
19	75	25	40	95	55	24	70	–	55	91	35	65	48	93
20	60	53	–	50	56	30	67	–	70	92	24	70	–	92
21	80	40	–	70	57	40	58	–	95	93	48	62	30	90
22	60	58	–	55	58	24	70	–	58	94	48	47	25	100
23	70	35	48	92	59	24	70	–	59	95	24	70	–	95
24	35	70	80	40	60	24	70	–	60	96	50	75	30	80
25	48	60	–	50	61	24	70	–	61	97	24	70	–	97
26	60	59	–	65	62	24	70	–	62	98	24	70	–	98
27	40	65	–	45	63	40	70	60	90	99	40	55	30	90
28	60	59	–	70	64	30	70	–	80	100	24	70	–	100
29	48	60	–	55	65	24	70	–	65	102	40	60	35	85
30	40	65	–	50	66	45	40	90	95	104	30	65	40	80
31	48	60	–	62	67	24	70	–	67	105	24	70	50	75
32	45	55	–	60	68	30	70	–	85	106	48	53	25	100
33	40	62	–	55	69	40	60	48	92	108	40	60	30	90
34	60	59	–	85	70	24	71	–	70	110	48	55	25	100
35	48	50	–	70	71	24	70	–	71	111	24	74	60	90
36	50	60	–	75	72	40	80	60	90	112	30	70	40	80
37	48	50	–	74	73	24	70	–	73	114	40	60	30	95
38	60	59	–	95	74	24	70	–	74	115	48	60	24	92
39	40	60	–	65	75	24	70	–	75	116	45	58	24	90
40	45	60	–	75	76	30	65	–	95	117	40	65	30	90
41	48	70	–	82	77	48	55	85	98	118	45	59	24	90
42	40	60	–	70	78	50	65	30	75	119	40	70	30	85
43	48	70	–	86	79	24	70	–	79	120	24	75	50	80

Ważne jest aby częstotliwość obrotów wrzeciona przedmiotowego nie przekroczyła 80 obr./min.

Częstotliwość obrotów wrzeciona przedmiotowego można obliczyć ze wzoru

$$n_{wyr} = \frac{n_{fr} \cdot K_{fr}}{z}$$

n_{fr} – częstotliwość obrotów freza,
 K_{fr} – ilość zwojów freza,
 z – liczba nacinanych zębów.

Drugą ważną przekładnią jest *przekładnia mechanizmu różnicowego (Y)*. Zadaniem tej przekładni jest:

- dla kół zębatych o zębach skośnych, łączenie przesuwu pionowego wyrobu względem freza z dodatkowym obrotem stołu (wrzeczona wyrobu).
- dla kół o zębach prostych i skośnych nacinanych metodą posuwu przekątnego, łączenie posuwu pionowego wyrobu względem freza i posuwu suportu z frezem wzdłuż osi wrzeczona narzędzia z dodatkowymi obrotami wrzeczona wyrobu.

Zależnie od rodzaju koła stosowane są odpowiednie wzory, które pozwalają na dobranie właściwego przełożenia.

I – koła o zębach prostych (ślimacznice – metoda promieniowa), na napędzany wał przekładni gitarowej zakłada się specjalny zamek.

II – koła zębate skośne, koła zmianowe przekładni dobierane są zgodnie z wzorami:

$$U_{y1} = \frac{\sin \beta}{K_{fr} \cdot m_n}; U_{y1} = \frac{m \cdot p}{n \cdot r}$$

III – koła zębate proste (a) i skośne (b) metodą posuwu przekątnego, koła zmianowe przekładni dobierane są zgodnie z wzorami:

$$a) \quad U_{y2} = \frac{\cos \omega \cdot U_t}{2K_{fr} \cdot m_n}; U_{y2} = \frac{m \cdot p}{n \cdot r}$$

gdzie: $U_t = \frac{2S_t}{2K_{fr} \cdot m_n}$

$$b) \quad U_y = U_{y1} \pm U_{y2} = \frac{\cos \beta}{K_{fr} \cdot m_n} \pm \frac{\cos \omega \cdot U_t}{2K_{fr} \cdot m_n}$$

Znak ”+” lub ”-” dobierany jest z tablic, które zamieszczona jest w DTR-ce.
gdzie:

β – kąt wzniosu linii śrubowej zęba obrabianego koła,

m_n – moduł nominalny koła nacinanego.

m, n, p, r – liczby zębów kół zmianowych przekładni mechanizmu różnicowego,

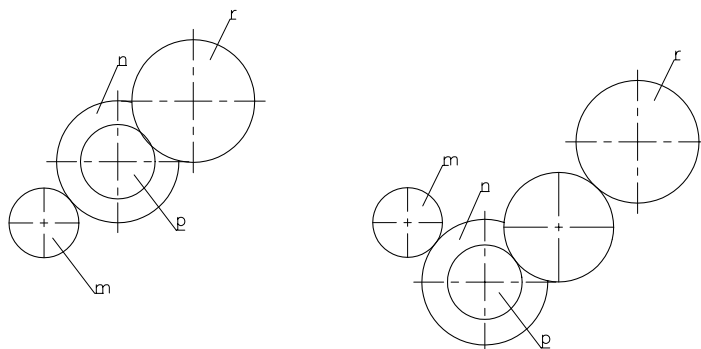
K_{fr} – krotność freza ślimakowego,

ω – kąt wzniosu linii śrubowej freza ślimakowego,

S_t – wartość posuwu stycznego mm/min.

Wzory te są stosowane dla wyposażenia standardowego.

Schemat nastawiania gitary:



Rys.19. Schemat nastawiania przekładni gitarowej mechanizmu różnicowego

Aby dobrać właściwie koła zmianowe przekładni mechanizmu różnicowego, należy spełnić następujące warunki:

$$m \leq 75$$

$$p + r \geq n + 26$$

$$90 \leq m + n \leq 166$$

$$m + n + p + r \geq 201$$

$$p \leq m + n - 22$$

Nastawienie posuwów osiowych odbywa się za pomocą skrzynki posuwów, przez ustawienie uchwytów w położeniu odpowiadającym wybranej wielkości posuwu zgodnie z tab. 2

Nr pozycji nastawienia	Posuw S_{\min} [mm/min]	Położenie dźwigni			
		←	T	←	T
1	45,0	↙	□	↘	□
2	32,5	←		↙	
3	23,0	↘		↘	
4	16,2	↙		←	
5	11,4	←		↘	
6	8,0	↘		↙	
7	5,8	↙	⊗	↘	□
8	4,1	←		↙	
9	2,9	↘		↘	
10	2,0	↙		←	
11	1,45	←		↘	
12	1,0	↘		↙	
13	0,72	↙	↘	⊗	
14	0,5	←	↙		
15	0,35	↘	↘		

Następnie należy ustawić dzwignię na koła zębatach prostych i skośnych oraz ustawić kierunek ruchu roboczego stołu. Tabela 2 podaje posuw osiowy w mm/min, aby przeliczyć go na posuw w mm/obr należy zastosować wzór:

$$S_{obr} = \frac{S_{min} \cdot z}{K_{fr} \cdot n_{fr}}$$

gdzie:

- S_{obr} – posuw obrotowy [mm/obr],
- S_{min} – posuw minutowy [mm/min],
- n_{fr} – obroty wrzeciona freza [obr/min].

Przy wyborze wielkości posuwu osiowego S_o należy uwzględnić krotność freza.

6. Zalecenia dotyczące referatu i sprawozdania.

W referacie należy uwzględnić:

1. Sposoby obróbki kół walcowych.
2. Przedstawić charakterystykę frezarki obwiedniowej i omówić schemat kinematyczny łańcuchów potrzebnych do wykonania kół walcowych.
3. Przedstawić sposób przygotowania frezarki obwiedniowej do obróbki koła walcowego (obliczenia wykonać dla koła podanego przez prowadzącego zajęcia).

Sprawozdanie ma zawierać:

1. Krótką charakterystykę metod obróbki kół walcowych.
2. Obliczenia nastaw frezarki i parametry obróbki dla wybranego koła.
3. Wnioski i uwagi.

LITERATURA

1. Ocheduszko K.: Koła zębata. Wykonanie i montaż. WN-T 1976.
2. Feld M.: Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn. WN-T 2000.
3. Feld M.: Technologia budowy maszyn. PWN 2000,
4. Feld M.: Technologia budowy maszyn. PWN 1995,
5. Wrotny L.: Obrabiarki skrawające do metali. WN-T 1974,
6. Paderewski K.: Vademecum obrabiarek skrawających. WN-T 1979,
7. Tymowski J.: Technologia budowy maszyn. WN-T 1972,
8. Dokumentacja techniczno – ruchowa frezarki obwiedniowej typ 5B310P.