



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
Instytut Technologii Mechanicznej

Maszyny i urządzenia technologiczne

laboratorium

Nacinanie walcowych kół zębatach na frezarce obwiedniowej

Cykl I
Ćwiczenie 3

Opracował: dr inż. Krzysztof Netter

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową, sposobem nastawiania i zastosowaniem frezarki obwodniowej uniwersalnej oraz sposobem obliczania przełożenia, doboru kół zmianowych i nastawiania przekładni gitarowych: podziałowej, posuwowej i różnicowej.

2. Stanowisko badawcze

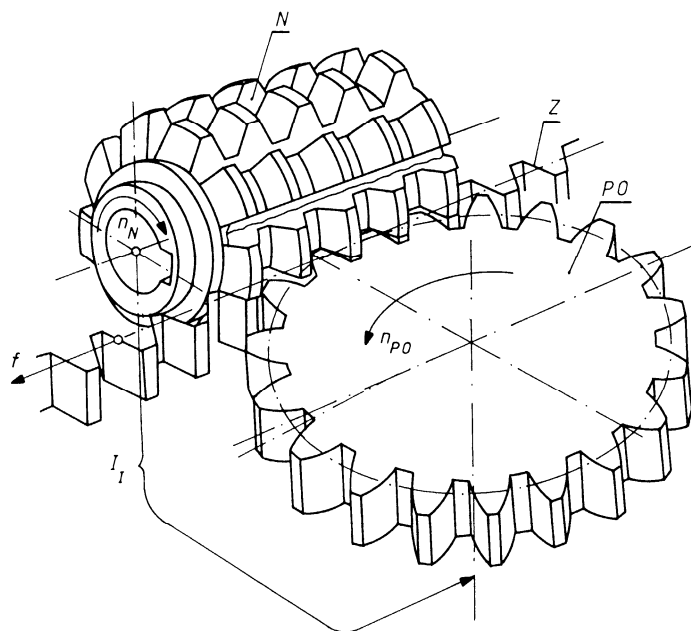
Ćwiczenie jest przeprowadzane na frezarce obwodniowej dyferencjałowej firmy MODUL ZFWZ 250x2,5, która ma klasyczny układ kształtowania z mechanizmem sumującym.

3. Wiadomości podstawowe

3.1. Ruch toczny

Narzędziem skrawającym stosowanym do obróbki uzębienia na frezarkach obwodniowych jest frez ślimakowy modułowy N (rys. 1), którego ostrza są rozmieszczone wzdłuż linii śrubowej zwoju frezu, a rowki wiórowe rozdzielające poszczególne ostrza frezu są do tej linii prostopadłe. Krawędzie skrawające ostrzy frezu ślimakowego wzdłuż rowków wiórowych mają zarys zębatek. Podczas ruchu obrotowego frezu zarys Z kolejnych zębatek kształtują zarys uzębienia tak, jakby przesuwali się ruchem prostoliniowym stycznie do walca tocznego obrabianego koła obracającego się dookoła własnej osi.

W wyniku sprzężenia ruchów obrotowych frezu ślimakowego oraz obrabianego koła powstaje ruch toczny zapewniający uzyskanie zarysu ewolwentowego.

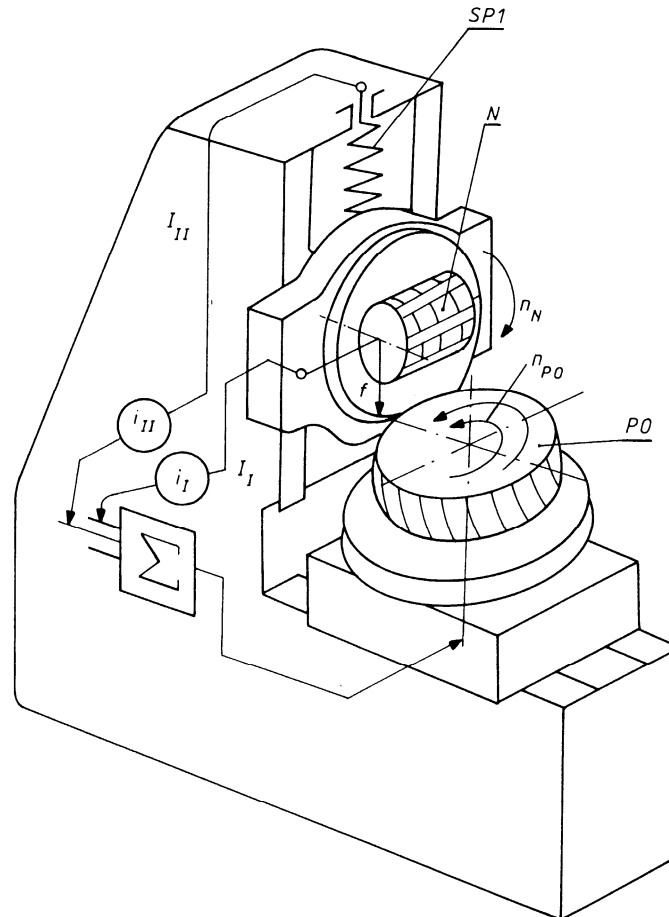


Rys. 1. Współpraca frezu ślimakowego N i zębatkowego zarysu Z ostrzy frezu z zarysem obrabianego koła PO i ich powiązanie przez łańcuch kinematyczny ruchu tocznego o przełożeniu I_1

3.2. Układ napędowy frezarki obwiedniowej

Układ napędowy frezarki obwiedniowej obejmuje m.in. napędy:

- ruchu głównego do nadania wrzecionu narzędziowemu wymaganej prędkości obrotowej n_N i po uwzględnieniu średnicy frezu prędkości skrawania V_C ,
- ruchu posuwowego wzdłużnego, wgłębnego i stycznego suportu narzędziowego,
- ruchu kształtowania linii śrubowej.



Rys. 2. Układ kształtowania frezarki obwiedniowej uniwersalnej obejmujący łańcuchy kinematyczne: ruchu tocznego I_I oraz kształtowania śrubowej linii zębów I_{II} , z mechanizmem sumującym Σ .

N – narzędzie, PO – przedmiot obrabiany, f – kierunek posuwu wzdłużnego narzędzia, SP1 – śruba pociągowa ruchu posuwowego wzdłużnego

3.3. Ustawienie frezarki obwiedniowej do obróbki

Przez ustawienie frezarki obwiedniowej do obróbki rozumie się te wszystkie czynności, które należy wykonać, aby obrabiarka wykonała żadaną pracę. Wchodzą tu czynności nastawcze mechanicznych połączeń w układach kinematycznych; ustawianie kół zmianowych gitar: podziałowej, mechanizmu różnicowego, posuwu; ustawienie głębokości skrawania; itd.

3.3.1. Nastawianie przekładni gitarowej ruchu podziałowego

Dobór kół zmianowych gitary ruchu podziałowego następuje wg tablic zawartych w dokumentacji obrabiarki. Dobór następuje wg liczby zębów z obrabianego koła. Przełożenie i jest zgodne z ogólną zależnością:

$$i = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$

Podczas zakładania kół zmianowych należy pamiętać, że koła podane w liczniku są kołami napędzającymi, a znajdujące się w mianowniku napędzanymi.

3.3.2. Nastawianie przekładni gitarowej napędu posuwowego

Posuwy wzdłużne, wgłębne i styczne w zależności od konstrukcji frezarki obwodniowej mogą być podawane w milimetrach na obrót koła obrabianego lub w milimetrach na minutę. W pierwszym przypadku napęd posuwu jest pobierany od wałka ślimaka podziałowego, natomiast w drugim przypadku napęd jest pobierany od silnika elektrycznego lub hydraulicznego.

We frezarce wykorzystanej podczas ćwiczenia wykorzystany jest pierwszy przypadek.

Wartości posuwów wzdłużnych, wgłębnych i stycznych są dobierane z odpowiednich tablic zawartych w dokumentacji obrabiarki.

W tablicy na rys. 3 podano zalecane posuwy wzdłużne w $mm/obrót\ koła\ obrabianego$.

Materiał obrabiany	Przeście	Moduł M_0 w mm	Ilość nacinanych zębów				
			15	25	50	80	120
Stal o $R_r = 75\text{ kG/mm}^2$	wykańczające	do 2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7
		ponad 2	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0
	zdzierające	2,5—3,5	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
		4—5	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
		5—6	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0
		6—8	0,9	1,2	1,3	1,4	1,6
		9—10	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
		10—12	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
12—16	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9		
Żeliwo o $H_B = 190$	wykańczające	do 2,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
		ponad 3	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4
	zdzierające	3—4	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
		4—5	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
		5—6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2
		6—8	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8
		9—10	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
		10—12	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
12—16	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1		

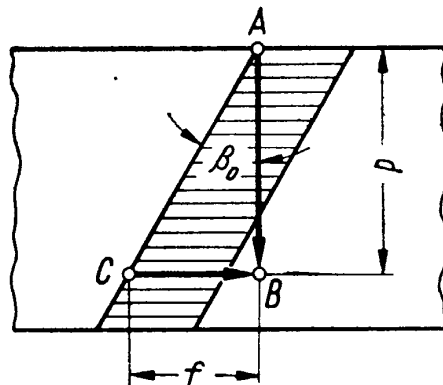
Rys. 3. Zalecane posuwy wzdłużne w $mm/obr\ koła\ obrabianego$

Posuw wgłębny i styczny odczytuje się z odpowiednich tabel lub określa się na podstawie posuwu wzdłużnego korzystając ze wzorów uproszczonych.

3.3.3. Nastawianie przekładni gitarowej mechanizmu różnicowego

Podczas obróbki walcowych kół zębatych o zębach śrubowych występują dodatkowe dwa problemy:

- kąt ustawienia osi frezu względem powierzchni czołowej obrabianego koła zależy od kąta pochylenia linii śrubowej zęba β , kąta wzniosu linii śrubowej zwoju frezu γ oraz kierunków linii śrubowych zęba koła obrabianego oraz zwoju frezu. Należy pamiętać, że linia zwoju frezu musi pokrywać się z linią zęba (wrębu) w obrabianym kole.
- ponieważ przesunięcie wrzeciennika narzędziowego następuje wzdłuż osi obrabianego koła, musi nastąpić dodatkowy obrót koła. W tym przypadku (rys. 4), gdy frez przesunie się o p to koło obrabiane musi się dodatkowo przekręcić o f .



Rys. 4. Dodatkowy ruch obrotowy koła obrabianego o zębach śrubowych

We frezarce obwodniowej używanej podczas zajęć przełożenie przekładni mechanizmu różnicowego oblicza się z zależności:

$$i_2 = \frac{5,72958 \cdot \sin \beta}{m \cdot k} = \frac{a_2}{b_2} \cdot \frac{c_2}{d_2},$$

gdzie: m – moduł, k – krotność frezu, β – kąt pochylenia linii zęba.

Na podstawie powyższej zależności otrzymuje się przełożenie przekładni mechanizmu różnicowego, które należy zamienić na odpowiednie liczby zębów kół zmianowych.

Zamiany można dokonać za pomocą jednej z metod:

1. Dobór przełożeń za pomocą rozłożenia ułamka zwyczajnego na czynniki proste (stosowana w przypadku przybliżonego doboru kół zmianowych, gdy wykorzystuje się przybliżone wartości liczb takich jak cal lub π).
2. Dobór przełożeń za pomocą specjalnych tablic (stosowana do przybliżonego doboru kół zmianowych, gdy przełożenie wyrażone jest ułamkiem dziesiętnym)
3. Dobór przełożeń szczególnie dokładny (do zastosowania tej metody potrzebne są pomocnicze tablice liczbowe zawierające zamianę ułamków dziesiętnych na ułamki zwyczajne)

3.3.4. Nastawianie prędkości ruchu głównego

Frezarka obwiedniowa stosowana na zajęciach ma cztery prędkości obrotowe narzędzia. Napęd jest przenoszony od silnika elektrycznego dwubiegowego przez przekładnię pasową o dwóch średnicach skutecznych. Pozwala to na uzyskanie następujących prędkości obrotowych frezu ślimakowego modułowego: 100, 140, 200 i 280 obr/min.

Prędkość obrotowa zależy od prędkości skrawania. Natomiast prędkość skrawania zależy od:

- własności materiału narzędzia,
- geometrii narzędzia,
- materiału przedmiotu obrabianego.

Dla frezów ze stali szybko tnącej SW18 prędkość skrawania wynosi: ~30 m/min – dla stali, ~35 m/min – dla żeliwa.

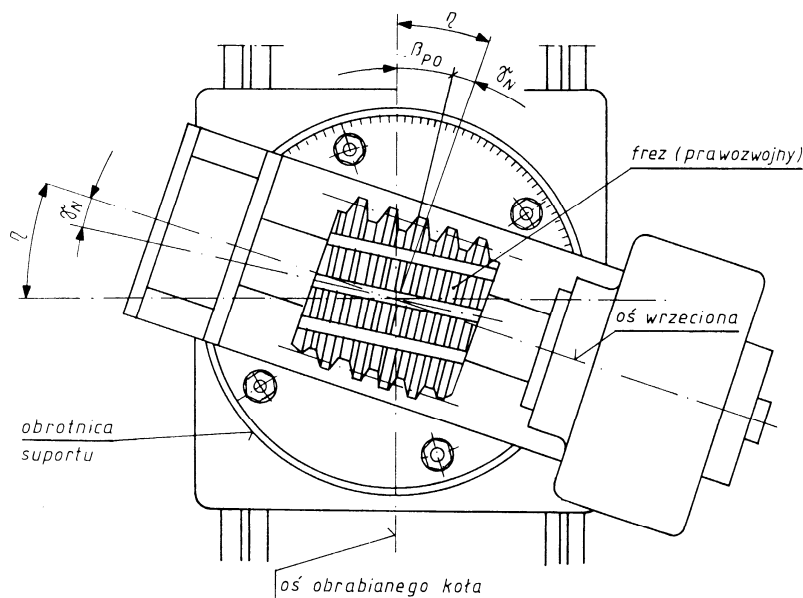
Nowoczesne frezy ślimakowe ze stali o dużej zawartości molibdenu, kobaltu i dużej liczbie krawędzi tnących (12÷15) pozwalają na stosowanie prędkości skrawania 70÷90 m/min, co wydatnie zwiększa wydajność skrawania.

Przy obróbce zgrubnej prędkość skrawania są mniejsze o około 30% niż przy obróbce wykańczającej.

3.3.5. Nastawianie kąta skreślenia obrotnicy suportu narzędziowego

Suport narzędziowy frezarki obwiedniowej wyposażony jest w obrotnicę z osadzonym na niej wrzecionem, w którym mocuje się trzpień z frezem (rys. 5). Obrotnica suportu narzędziowego służy do nastawiania kąta skreślenia osi frezu w stosunku do przedmiotu obrabianego tak, aby linia zwoju narzędzia była styczna do linii zębów obrabianego koła.

W zależności od kierunku linii zębów oraz od kierunku zwoju frezu ślimakowego kąt skreślenia osi frezu jest różny (rys. 6).



Rys. 5. Suport narzędziowy frezarki obwiedniowej z obrotnicą

Koło \ Frez	Frez prawozwojny	Frez lewozwojny
Koło o zębach prostych		
Koło o zębach śrubowych prawozwojnych		
Koło o zębach śrubowych lewozwojnych		

Rys. 6. Zestawienie możliwych wariantów kąta η skręcenia osi wrzeciona z frezem, w zależności od kierunku i kąta γ_{PN} wzniosu zwoju frezu ślimakowego oraz od kierunku i kąta β_{PO} pochylenia linii śrubowej nacinanego uzębienia

3.3.6. Ustawianie głębokości skrawania

Podczas obróbki obwodniowej dla niewielkich modułów głębokość skrawania jest równa wysokości zęba.

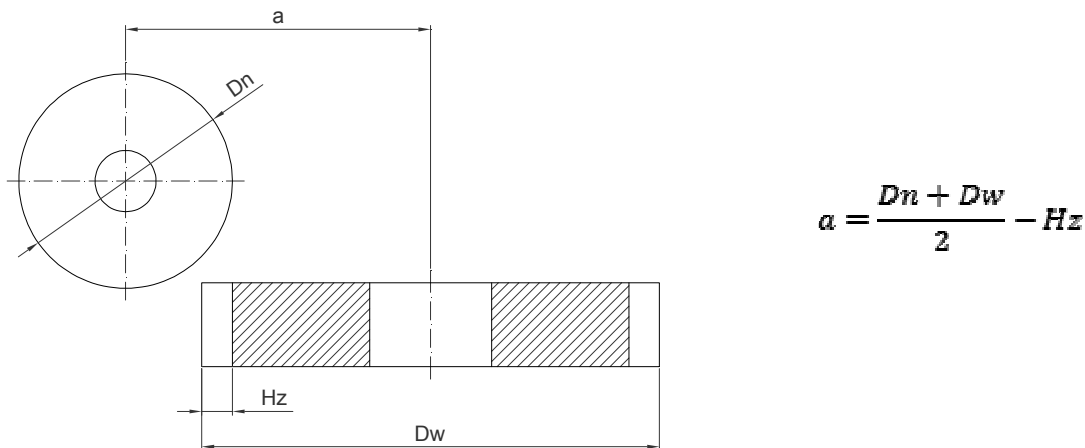
Głębokość skrawania najczęściej ustawia się następującymi sposobami:

- ustawienie odległości osi narzędzia skrawającego i przedmiotu obrabianego (otoczki) według schematu przedstawionego na rys. 7,
- dosunięcie narzędzia do styku z otoczką.

Przy ustawieniu głębokości skrawania metodą „na styk” postępujemy w następujący sposób:

1. Ustawiamy suport narzędziowy na takiej wysokości tak, aby środek frezu znalazł się poniżej górnej powierzchni czołowej obrabianego koła.
2. Uruchamiamy napęd głównej frezarki obwodniowej i dosuwamy powoli frez do koła obrabianego, aż do styku się koła z frezem. Oznaką styku jest pojawienie się na wieńcu koła lekkich rys (draśnięć) wykonanych przez narzędzie. Głębokość rys oceniamy orientacyjnie, jednak nie powinna ona przekraczać $0,1 \div 0,2$ mm.
3. Następnie na skali śruby pociągowej posuwu wglębego ustawiamy zero, odsuwamy frez od przedmiotu obrabianego, suport narzędziowy podnosimy do góry (przy frezowaniu przeciwbieżnym), po czym frez dosuwamy ponownie już na odpowiedni wymiar głębokości nacinania uwzględniający wysokość wcięcia się freza w koło. Ponieważ trudno jest zmierzyć rzeczywistą głębokość wcięcia należy ją oszacować (ocenić orientacyjnie) i ustawić głębokość nacinania mniejszą od rzeczywistej wysokości zęba.
4. Po próbnym nacięciu na dostatecznej szerokości koła takiej, aby był wykształcony pełen zarys zęba, należy zmierzyć grubość zęba mikrometrem talerzykowym przez n zębów, a następnie zbliżyć osie frezu i koła obrabianego o potrzebną wielkość.

Wielkość dosunięcia, dla uzębienia o nominalnym kącie zarysu $\alpha=20^\circ$, obliczamy z następującej zależności: przesunięcie promieniowe koła o 1 mm zmienia grubość zęba o 0,73 mm.



Rys. 7. Ustawienie odległości osi narzędzia skrawającego i przedmiotu obrabianego

3.4. Błędy ustawienia obrabiarki

Gdy podział obwodu koła jest źle ustawiony (błędny dobór kół zmianowych gitary ruchu podziałowego), to objawia się to po kilku obrotach przedmiotu w postaci szeregu nieregularnych cięć – powstaje „efekt obfrezowywania koła”.

Przy błędnym ustawieniu kąta skrętu suportu zarys zęba wychodzi skażony.

4. Przebieg ćwiczenia

Zadanie polega na wykonaniu na frezarce obwodniowej koła walcowego o zębach śrubowych lub prostych.

Zadania w ramach ćwiczenia są następujące:

1. Dla otrzymanych danych koła obrabianego: modułu m , liczby zębów z , kąta pochylenia linii zęba β obliczyć wymiary średnicowe koła zębatego oraz wysokość zęba.
2. Z tablic zawartych w dokumentacji frezarki obwodniowej używanej podczas ćwiczenia należy dobrać koła zmianowe gitary ruchu podziałowego a , b , c i d oraz koła przełącznikowe e i f według liczby zębów koła obrabianego.
3. Z tablic zawartych w dokumentacji frezarki obwodniowej używanej podczas ćwiczenia należy dobrać koła zmianowe gitary ruchu posuwowego a_1 , b_1 , c_1 i d_1 odpowiednie dla ustalonego posuwu wzdłużnego.
4. Powyższe dane wpisać do karty informacyjnej.
5. Zamontować koła zmianowe do odpowiednich przekładni gitarowych.
6. Dobrać prędkość skrawania i obliczyć prędkość obrotową narzędzia.
7. Dobrać narzędzie skrawające.
8. Zamocować na stole podziałowym przedmiot obrabiany.
9. Ustawić głębokość skrawania (głębokość skrawania jest równa wysokości zęba)
10. Przeprowadzić obróbkę uzębienia.
11. Na wykonanym kole zębatym sprawdzić poprawność wykonanie uzębienia.

5. Sprawozdanie

Sprawozdanie winno zawierać:

- temat ćwiczenia oraz datę wykonania ćwiczenia, oznaczenie grupy,
- nazwiska osób wykonujących ćwiczenie,
- cel ćwiczenia,
- warunki wykonania ćwiczenia (zadane dane),
- niezbędne obliczenia,
- rysunek frezarki obwiedniowej,
- rysunek przedstawiający wzajemne usytuowanie koła nacinanego i narzędzia,
- opis wykonywanych czynności,
- wnioski

UWAGA! Sprawozdanie należy przygotować bez użycia komputera.

6. Przygotowanie do ćwiczeń

Przed przystąpieniem do ćwiczenia wymagana jest znajomość wiadomości podstawowych z walcowych kół zębatach: klasyfikacja walcowych kół zębatach, zastosowanie, zalety i wady przekładni zębatach, podstawowe wymiary uzębienia i kół o zębatach prostych i śrubowych, współpraca uzębienia, zarys boków zęba.

Wymagana jest także znajomość metod obróbki kształtujących uzębienie walcowych kół zębatach ze szczególnym uwzględnieniem obróbki skrawaniem.

7. Literatura

1. Instrukcja obsługi frezarki obwiedniowej.

KARTA INFORMACYJNA

Narzędzie: frez ślimakowy modułowy

NFMc 2,5/20° B $\gamma = 2^\circ 35'$ SW18

c – frez prawozwojny

B – frez półwykańczak (frez o zarysie szlifowanym zwykłej dokładności przeznaczony do obróbki kół zębatych klas 8÷9 oraz do kół zębatych przed dalszą obróbką szlifowaniem lub wiórkowaniem)

Koło zębate walcowe o zębach śrubowych (prawe)

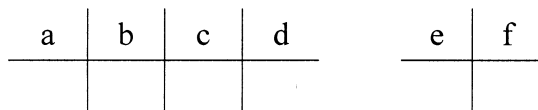
m =

z =

 $\beta =$ moduł czołowy: $m_t = \frac{m}{\cos \beta} =$ średnica podziałowa: $d = m_t \cdot z =$ średnica wierzchołkowa: $d_a = m \cdot \left(\frac{z}{\cos \beta} + 2 \right) =$ średnica dna wrębów: $d_f = m \cdot \left(\frac{z}{\cos \beta} - 2,5 \right) =$ wysokość zęba: $h_z = 2,25 \cdot m =$ Dobór kół zmianowych

– gitara ruchu podziałowego

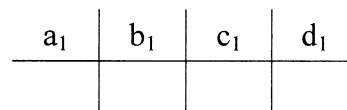
z =



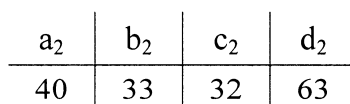
↑
bez zderzaka
(ponieważ śrubowe)

– gitara ruchu posuwowego

f = 3 mm/obr koła obrabianego



– gitara mechanizmu różnicowego



V =

n =

