

**Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Mechanicznej**

Laboratorium

Programowanie Obrabiarek CNC II

Nr 3

**Programowanie obróbki 3+2
w układzie sterowania iTNC530**

Opracował:
Dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, 20 października 2022

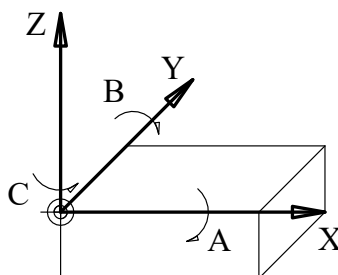
1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z programowaniem obróbki 3+2, cyklami i funkcjami transformacji układu współrzędnych (przesunięcie, obrót oraz pochylenie układu współrzędnych) oraz wybranymi cyklami obróbkowymi.

2. Wprowadzenie

2.1. Układ współrzędnych

Podstawowym układem współrzędnych, związanym z przedmiotem obrabianym w obrabiarkach CNC jest układ prostokątny kartezjański pokazany na rys 1. Kierunki i zwroty osi są uwarunkowane budową obrabiarki natomiast początek układu współrzędnych jest definiowany przez programistę. W tym układzie współrzędnych możemy wyróżnić osie liniowe X, Y, Z oraz osie obrotowe A, B, C.



Rys. 1. Podstawowy układ współrzędnych obrabiarki

2.2. Frezarka DMU60

Frezarka DMU60 jest obrabiarką 5-osiową (osie liniowe: X, Y, Z oraz obrotowe: skrzętna głowica – oś B oraz stół obrotowy z pionową osią obrotu – oś C). Podstawowe parametry obrabiarki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry frezarki DMU60

Parametr	Wartość
Przesuw osi X/Y/Z	630/560/560 [mm]
Maksymalna prędkość posuwu	30 m/min
Oznaczenia gniazda wrzeciona	HSK 63A
Liczba narzędzi w magazynie	24
Czas zmiany narzędzia	9 [s]
Maksymalna prędkość obrotowa wrzeciona	24 000 [1/min]
Moc wrzeciona	15 [kW]
Wymiary stołu	1000x600 [mm]
Średnica stołu obrotowego	600 mm
Maksymalna prędkość obrotowa stołu	30 [1/min]

3. Programowanie obróbki 3+2

3.1. Wprowadzenie

Programowanie obróbki 4 i 5-osiowej, w której wszystkie osi obrabiarki mogą pracować jednocześnie w interpolacji, jest zagadnieniem dość złożonym. Dlatego też najczęściej tego typu obróbkę, szczególnie dla przedmiotów z powierzchniami krzywoliniowymi, programuje się z wykorzystaniem systemów CAM.

W przypadku przedmiotów z powierzchniami płaskimi ale pochylonymi względem głównych płaszczyzn układu współrzędnych (X-Y, X-Z, Y-Z), jak na rys 2, obróbkę takich przedmiotów na obrabiarkach z układem sterowania iTNC530 można zaprogramować bezpośrednio w układzie sterowania. Ponieważ w zasadzie jest to obróbka 3-osiowa, ale na płaszczyznach pochylonych. Dlatego też taki rodzaj programowania nazywa się programowaniem 3+2 (3 osie liniowe – obróbka 3-osiowa, 2 osie obrotowe pochylanie płaszczyzy obróbki).

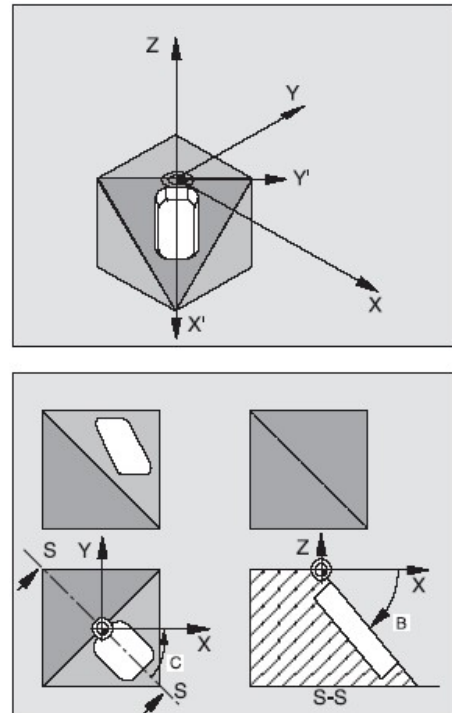
Osie obrotowe możemy podzielić na:

- geometryczne – są to wszystkie 3 osi obrotu A, B, C (rys. 1),
- osie fizyczne – te osie obrotu, które fizycznie występują w obrabiarence. Najczęściej są to osie A i C lub B i C.

Poprzez połączenie fizycznego obrotu np. C i B lub C i A można uzyskać obrót układu wokół wszystkich 3 osi geometrycznych (A, B i C).

Należy pamiętać, że obracanie poszczególnymi komponentami obrabiarki (stołem obrotowym lub głowicą wrzecionową) na przykład funkcjami ruchu L lub G0 itp. nie wpływa na położenie podstawowego układu współrzędnych (względem układu maszynowego). To znaczy w przypadku obrotu głowicy wrzecionowej punkt charakterystyczny narzędzia, widziany przez obrabiarkę, pozostaje w tym samym miejscu, mimo że fizycznie zmienił swoje położenie. W tym przypadku należałoby obliczyć nowe położenie punktu charakterystycznego narzędzia, w zależności od jego długości, położenia punktu obrotu głowicy i samego kąta obrotu oraz uwzględnić te dane w programie obróbkowym. Ponieważ jest to zagadnienie złożone często producenci układów sterowań wprowadzają do układów sterować dodatkowe funkcje ułatwiające programowanie obróbki 3+2, 4 i 5 osiowej. Są to najczęściej funkcje operujące na układzie współrzędnych: przesunięcie i pochylenie. W układzie sterowania iTNC530 dostępne są następujące cykle i funkcje operujące na układzie współrzędnych:

- przesunięcie układu współrzędnych (cykl 7),
- pochylenie płaszczyzny obróbki (cykl 19) – starsza funkcja,
- pochylenie płaszczyzny obróbki funkcją PLANE – nowsza, bardziej rozbudowana funkcja.



Rys. 2. Przykład obróbki 3+2

3.2. Przesunięcie punktu zerowego (cykl 7)

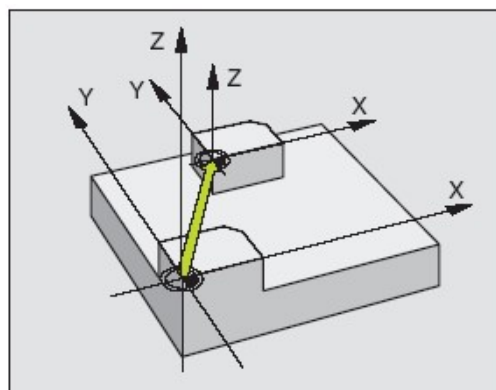
Przy pomocy tego cyklu można powtarzać przejścia obróbkowe w dowolnych miejscach przedmiotu. Po zdefiniowaniu cyklu wszystkie wprowadzane dane o współrzędnych odnoszą się do nowego punktu zerowego. Przesunięcie w każdej osi TNC wyświetla w dodatkowym oknie stanu obróbki. Możliwe jest również wprowadzenie przesunięcia osi obrotowej.

Wartości przesunięcia można wprowadzać bezwzględnie (względem punktu zerowego przedmiotu) lub przyrostowo (względem poprzedniego położenia punktu zerowego).

Usunięcie przesunięcia punktu zerowego wykonuje się wprowadzając nowe przesunięcie ze współrzędnymi $X=0$, $Y=0$ i $Z=0$ absolutnie.

Przykład przesunięcia układu współrzędnych:

```
13 CYCL DEF 7,0 PUNKT ZEROWY
14 CYCL DEF 7,1 X+60
16 CYCL DEF 7,3 Z+5
15 CYCL DEF 7,2 Y+40
```

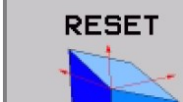


3.5. Pochylenie płaszczyzny obróbki (funkcja PLANE)

Funkcja PLANE (płaszczyzna) jest bardziej zaawansowaną funkcją pochylenia płaszczyzny obróbki niż cykl 19, przy pomocy której można na różne sposoby definiować nachylone płaszczyzny obróbki. Możliwe sposoby definicji nachylenia płaszczyzny obróbki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Możliwe definicje nachylenia płaszczyzny obróbki przedstawiono

Funkcja	Konieczne parametry	Softkey
SPATIAL	Trzy kąty przestrzenne SPA , SPB , SPC	
PROJECTED	Dwa kąty projekcyjne PROPR i PROMIN a także kąt rotacyjny ROT	
EULER	Trzy kąty Eulera precesja (EULPR), nutacja (EULNU) i rotacja (EULROT)	
VECTOR	Wektor normalnych dla definicji płaszczyzny i wektor bazowy dla definicji kierunku nachylonej osi X	

POINTS	Współrzędne trzech dowolnych punktów przewidzianej dla nachylenia płaszczyzny	
RELATIV	Pojedynczy, działający inkrementalnie kąt przestrzenny	
RESET	Usunięcie pochylenia płaszczyzny	

Definicja parametrów funkcji PLANE podzielona jest na dwie części:

- geometryczna definicja płaszczyzny, która różni się zależnie od sposobu definicji płaszczyzny (tabela 2),
- zachowanie pozycjonowania osi przy pochylaniu płaszczyzny – tak samo dla wszystkich definicji.

W tej instrukcji omówiona zostanie tylko funkcja SPATIAL (kąt przestrzenny), najczęściej stosowana, w której płaszczyzna obróbki definiowana jest przez trzy kąty obrotu poszczególnych płaszczyzn.

Kolejność uwzględniania obrotów poszczególnych płaszczyzn jest na stałe określona i następuje kolejno najpierw osi C, potem osi B a następnie osi A. Należy zawsze wprowadzać wszystkie trzy kąty przestrzenne **SPA**, **SPB** i **SPC**, nawet, jeśli wynoszą 0. Wartości kątów obrotów w tej funkcji są absolutne.

Niezależnie od sposobu definiowania pochylenia płaszczyzny obróbki, w funkcji PLANE określa się również: automatyczny obrót osi fizycznych i sposób tego obrotu, wybór alternatywnych możliwości nachylenia płaszczyzny, wybór rodzaju transformacji.

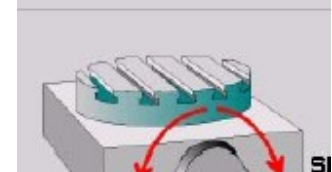
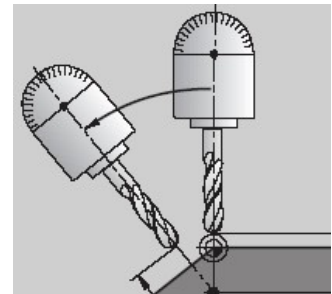
Pierwszy parametr określa automatyczny obrót/przesunięcie fizycznych osi i może zawierać:

MOVE – automatyczny obrót osi fizycznych i jednocześnie przesunięcie osi liniowych w taki sposób, jakby narzędzie obracało się względem określonego punktu (rysunek obok) jest to najbezpieczniejsze zachowanie. W tym przypadku należy określić odległość tego punktu od punktu charakterystycznego narzędzia w osi narzędzia (ODST - 1) oraz posuw (F) z jakim ma być wykonywany obrót.

TURN – następuje tylko obrót osi obrotowych bez przesuwu osi liniowych. W tym przypadku należy tylko określić posuw (F) z jakim ma być wykonywany obrót,

STAY – brak obrotu i przesunięcia osi fizycznych obracany jest tylko układ współrzędnych (osie fizyczne należy obrócić np. przy pomocy funkcji „L”).

Kolejny parametr określa wybór alternatywnych możliwości nachylenia **SEQ**. Parametr ten może pominąć (wciskając NO ENT), wówczas TNC sam wybierze rozwiązanie lub należy określić kierunek pochylania osi fizycznych zgodnie z rysunkiem obok (zależnie od możliwości danej obrabiarki). Zalecane jest określenie SEQ-.



Następny parametr określa rodzaju przekształcenia. Parametr można pominąć (wciskając NO ENT), wówczas TNC sam wybierze rozwiązanie.

Dla obrabiarek ze stołem obrotowym funkcja umożliwia określenie rodzaju przekształcenia:

- COORD ROT - określa, iż funkcja PLANE ma obracać układ współrzędnych na zdefiniowaną wartość kąta nachylenia. Stół obrotowy nie zostaje przemieszczony, kompensacja obrotu następuje obliczeniowo,
- TABLE ROT - określa, iż funkcja PLANE ma pozycjonować stół obrotowy na zdefiniowaną wartość kąta nachylenia. Kompensacja następuje poprzez obrót przedmiotu

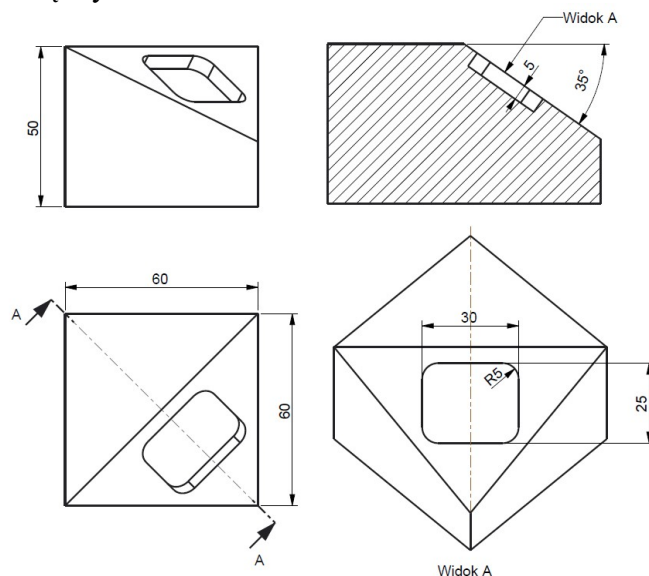
Wybór rodzaju przekształcenia działa tylko przy stołach obrotowych i tylko wówczas, kiedy tak wybrano definicję płaszczyzny, iż przekształcenie może zostać wykonane na pojedynczej osi.

3.6. Kasowanie pochylenia płaszczyzny obróbki

Zasadniczo można wykasować pochylenie płaszczyzny obróbki (przywrócić do podstawowego położenia) funkcją PLANE SPATIAL wprowadzając wszystkie kąty o wartości 0 jednak w tej sytuacji będzie występował obrót układu o wartości 0, co w niektórych sytuacjach może powodować problemy. Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie funkcji PLANE RESET, która usuwa pochylenie płaszczyzny oraz kasuje informację o pochyleniu. W tej funkcji również występują parametry takie jak MOVE, TURN, STAY.

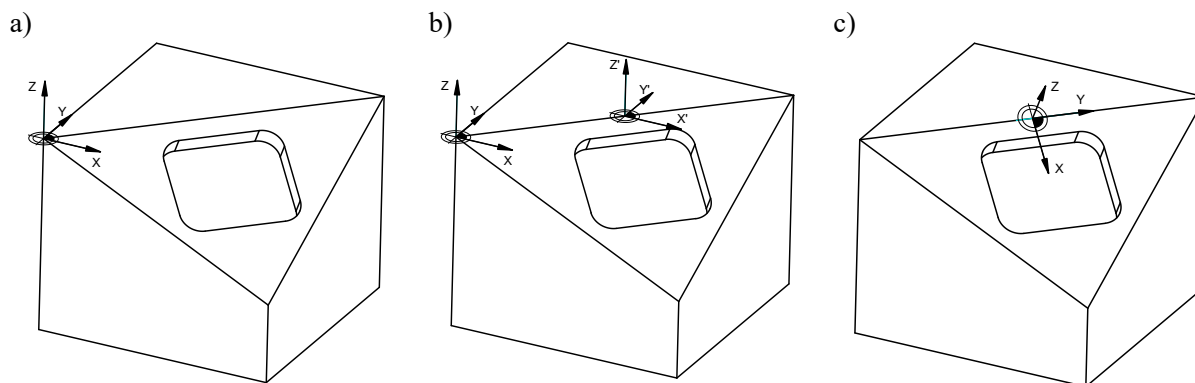
3.7. Kombinowane przemieszczenie i obrót układu współrzędnych

Przy kombinowaniu (łączeniu) cykli przeliczania współrzędnych należy zwrócić uwagę na to, że pochylenie płaszczyzny obróbki następuje zawsze wokół aktywnego układu współrzędnych. Można przeprowadzić przesunięcie układu współrzędnych przed aktywowaniem pochylenia płaszczyzny wówczas przesuwamy „stały układ współrzędnych przedmiotu”. Jeżeli przesuniemy układ współrzędnych po aktywowaniu pochylenia płaszczyzny to przesuniemy „nachylony układ współrzędnych”.



Rys. 3. Przykładowa część obrabiane w układzie 3+2

Na rysunku 3 przedstawiono przykładową część możliwą do obróbki w układzie 3+2. Załóżmy, że układ współrzędnych przyjęto tak jak na rys. 4a.



Rys. 4. Przemieszczenie i pochylenie układu współrzędnych: a) przyjęty układ współrzędnych, b) przesunięty układ współrzędnych, c) pochylony układ współrzędnych

Wygodnie jest przesunąć układ współrzędnych w osi X i Y do środka części przy pomocy cyklu 7 (rys. 4b):

```
CYCL DEF 7,0 PUNKT ZEROWY
CYCL DEF 7,1 X+30
CYCL DEF 7,2 Y+30
```

Przed pochyleniem układu współrzędnych funkcją PLANE z opcją MOVE bezpiecznie (aby uniknąć kolizji) jest ustawić narzędzie dokładnie nad początkiem przesuniętego układu współrzędnych na określonej wysokości w osi Z np. 50 mm.

```
L X+0 Y+0 Z+50 FMAX
```

Następnie można dokonać pochylenia płaszczyzny z jednoczesnym obrotem fizycznych osi. W tym przypadku układ współrzędnych musimy najpierw obrócić wokół osi Z (oś C) o wartość -45° , tak aby oś Y' leżała wzdłuż krawędzi pochylonej płaszczyzny przedmiotu a następnie należy obrócić wokół osi Y' (oś B) o kąt $+35^\circ$ (rys. 4c). Zachowana jest wymagana kolejność obrotu C-B-A. Alternatywnie można obrócić oś C o kąt $+45^\circ$ a następnie oś A o kąt $+35^\circ$. Również jest zachowana wymagana kolejność obrotu. W tym przypadku wzdłuż krawędzi pochylonej płaszczyzny będzie oś X.

```
PLANE SPATIAL SPA+0 SPB+45 SPC-45 MOVE ODST+50 F5000 SEQ-
```

Teraz można zaprogramować obróbkę tak jak dla przedmiotów 2.5D, np. z wykorzystaniem cykli obróbkowych.

Po zakończeniu obróbki należy powrócić pochylenie i przesunięcie układu do ustawień początkowych. Ale czynności te należy wykonać w odwrotnej kolejności.

Dla bezpieczeństwa należy ustawić narzędzie dokładnie nad początek układu współrzędnych:

```
L X+0 Y+0 Z+50 FMAX
```

Następnie można wykasować pochylenie płaszczyzny przy pomocy funkcji PLANE RESET”

```
PLANE RESET MOVE ODS+50 F5000
```

A na koniec należy wykasować przesunięcie układu współrzędnych:

```
CYCL DEF 7,0 PUNKT ZEROWY  
CYCL DEF 7,1 X+0  
CYCL DEF 7,2 Y+0
```

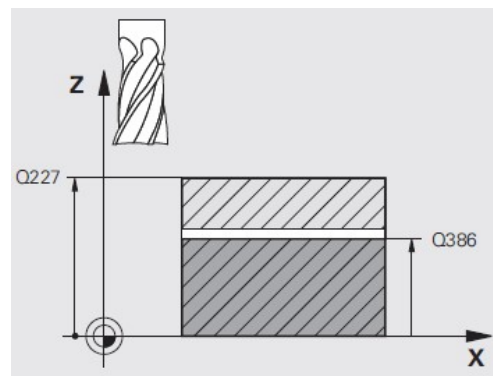
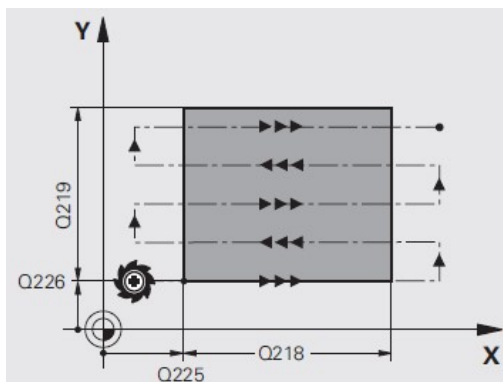
4. Cykle obróbkowe

W danym ćwiczeniu wykorzystywane będą następujące cykle obróbkowe:

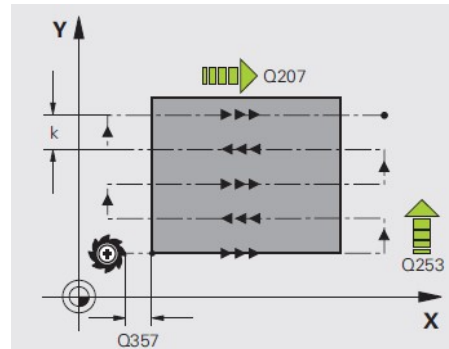
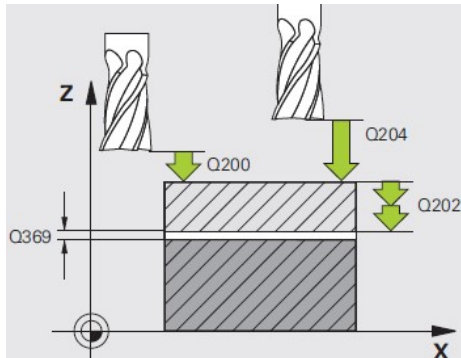
- planowanie powierzchni,
- frezowanie czopa prostokątnego,
- frezowanie otworu,
- wiercenie,
- sztywne gwintowanie.

4.1. Planowanie powierzchni 232

Przy pomocy tego cyklu można wykonać obróbkę płaszczyzny w kilku przejściach z zostawieniem nadatku na obróbkę wykańczającą. Parametrami tego cyklu są:



- Q389 – strategia obróbki: 0 – z wyjazdem narzędzia poza materiał (obróbka wykańczająca), 1 – z nawracaniem nad materiałem (zgrubna), 3 – obróbka jednokierunkowa,
- Q225 – współrzędna lewej krawędzi obrabianej powierzchni,
- Q226 – współrzędna dolnej krawędzi obrabianej powierzchni,
- Q227 – współrzędna górnej powierzchni obrabianej (absolutnie),
- Q386 – współrzędna dolnej powierzchni obrabianej (absolutnie),
- Q218 – długość dolnej krawędzi,
- Q219 – długość bocznej krawędzi,
- Q202 – maksymalna głębokość skrawania,
- Q369 – nadatek na obróbkę wykańczającą na dnie,

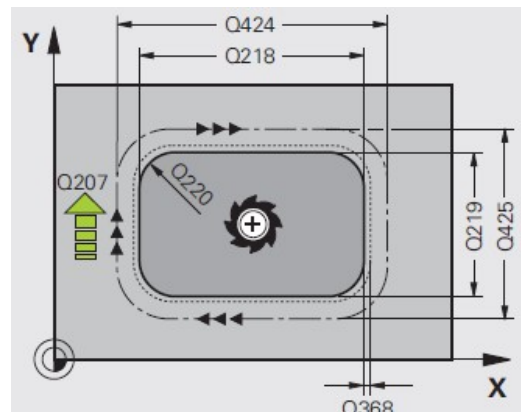


- Q370 – współczynnik k nakładania torów, $a_e = R \cdot Q370$,
 - **Q207** – posuw frezowania,
 - Q385 – posuw frezowania obróbki wykańczającej
 - Q253 – posuw ustawiania narzędzia na głębokość
 - Q200 – bezpieczna wysokość,
 - Q357 – odstęp bezpieczeństwa z boku,
 - Q204 – 2 bezpieczna wysokość. Po zakończeniu obróbki narzędzie przesuwane jest na tę wysokość, przyrostowo od współrzędnej powierzchni przedmiotu
- Parametry wytłuszczone są bardzo ważne pozostałe można pozostawić domyślne.
Dla tego cyklu nie ma znaczenia, gdzie przed wywołaniem cyklu znajduje się narzędzie.

4.2.Frezowanie czopa prostokątnego 256

Cyklem tym można wykonać obróbkę czopa prostokątnego. Jeśli wymiary półwyrobu są większe niż szerokość skrawania przeprowadzane jest kilka przejść. Parametrami tego cyklu są:

- **Q218** – długość czopa w osi X,
- **Q424** – długość półwyrobu w osi X,
- **Q219** – szerokość czopa w osi Y,
- **Q425** – szerokość półwyrobu w osi Y,
- **Q220** – promień naroży czopa,
- Q368 – naddatek na obróbkę wykańczającą z boku, gdy 0 tylko obróbka zgrubna,
- Q224 – kąt obrotu czopa,
- Q367 – położenie punktu charakterystycznego czopa,
- **Q207** – posuw frezowania,
- Q351 – rodzaj frezowania: +1 – współbieżnie, -1 – przeciwbieżnie,
- **Q351** – głębokość frezowania (przyrostowo),
- **Q202** – grubość warstwy skrawanej,
- **Q206** – posuw zagłębiania,
- Q200 – bezpieczna wysokość,
- **Q203** – współrzędna powierzchni górnej czopa,
- Q204 – 2 bezpieczna wysokość. Po zakończeniu obróbki narzędzie przesuwane jest na tę wysokość, przyrostowo od współrzędnej powierzchni przedmiotu
- Q370 – współczynnik nakładania się torów: $a_e = R \cdot Q370$.



Parametry wytluszczone są bardzo ważne pozostałe można pozostawić domyślne.

Cykl ten musi być wywołany, kiedy narzędzie jest ustawiane w dokładnie w pozycji określonego w parametrze Q367 punktu charakterystycznego czopu, .

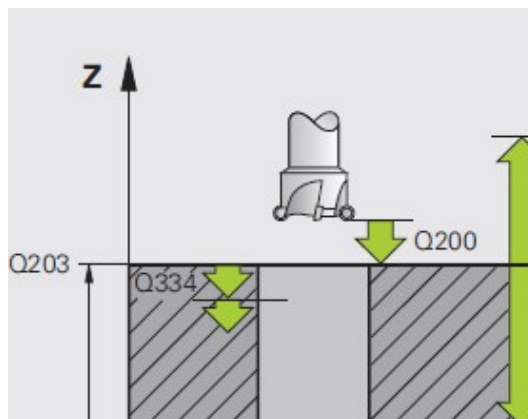
4.3.Frezowanie otworu 208

Cykl frezowania otworu przeznaczony jest do obróbki otworów o frezem, przy czym frez zagłębia się w materiał ciągle po linii helikalnej. Parametrami tego cyklu są:

- Q200 – bezpieczna wysokość. Narzędzie przesuwają z 2 płaszczyzny bezpieczeństwa (retrakowej) z posuwem szybkim do tej płaszczyzny a następnie frezuje otwór z posuwem roboczym. Domyślnie Q200=2,
- Q201 – głębokość otworu, przyrostowo ze znakiem „-”,
- Q206 – posuw frezowania [mm/min],
- Q334 – wartość zagłębiania na każde obrót linii helikalnej. Zwykle wartość wynosi od 0.2 do 0.5 mm,
- Q203 – współrzędna powierzchni początku otworu,
- Q204 – 2 bezpieczna wysokość. Po zakończeniu obróbki narzędzie przesuwane jest na tę wysokość, przyrostowo od współrzędnej powierzchni przedmiotu,
- Q335 – zadana średnica otworu,
- Q342 – średnica otworu wstępnie obrobiona. Gdy nieobrobiona Q336=0,
- Q351 – rodzaj frezowania: -1 – przeciwbieżnie, +1 – współbieżnie

Parametry wytluszczone są bardzo ważne pozostałe można pozostawić domyślne.

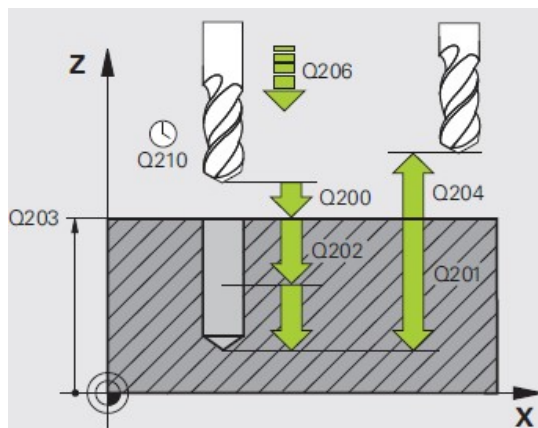
Cykl ten musi być wywołany, kiedy narzędzie jest ustawiane w osi frezowanego otworu.



4.4.Wiercenie 200

W sterowaniu iTNC530 występuje kilka cykli wiercenia jednak najprostszy i najwygodniejszy jest cykl 200. Cykl ten wierci otwór z usuwaniem wióra z otworu. Ma on następujące parametry:

- Q200 – bezpieczna wysokość. Narzędzie przesuwają się z 2 płaszczyzny bezpieczeństwa (retrakowej) z posuwem szybkim do tej płaszczyzny a następnie wierci z posuwem roboczym. Domyślnie Q200=2,
- Q201 – głębokość wiercenia (głębokość otworu),
- Q206 – posuw wiercenia [mm/min],
- Q202 – głębokość pojedynczego zagłębienia. Po czym następuje usuwanie wiórów, najczęściej Q202 jest równe średnicy wiertła,
- Q203 – współrzędna powierzchni początku otworu,



- Q204 – 2 bezpieczna wysokość. Po zakończeniu obróbki narzędzie przesuwane jest na tę wysokość, przyrostowo od współrzędnej powierzchni przedmiotu,
- Q211 – czas zatrzymania do dnie otworu w [s].

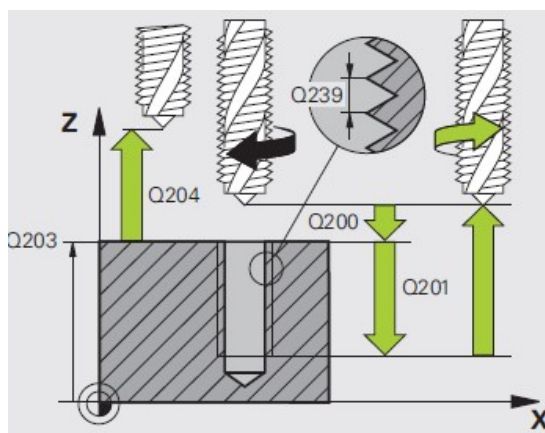
Parametry wytłuszczone są bardzo ważne pozostałe można pozostawić domyślne.

Cykl ten musi być wywołany, kiedy narzędzie jest ustawiane w osi wierconego otworu.

4.5.Sztywne gwintowanie 207

Przy pomocy tego cyklu można gwintować gwint gwintownikiem na sztywno zamocowanym we wrzecionie, nie jest wymagana oprawka kompensacyjna. Parametrami tego cyklu są:

- Q200 – bezpieczna wysokość. Narzędzie przesuwa się z 2 płaszczyzny bezpieczeństwa (retrakowej) z posuwem szybkim do tej płaszczyzny a następnie gwintuje,
- Q201 – głębokość gwintu,
- Q239 – skok gwintu ze znakiem: „+” – gwint prawoskrętny, „-” – gwint lewoskrętny,
- Q203 – współrzędna powierzchni początku otworu,
- Q204 – 2 bezpieczna wysokość. Po zakończeniu obróbki narzędzie przesuwane jest na tę wysokość, przyrostowo od współrzędnej powierzchni przedmiotu.



Parametry wytłuszczone są bardzo ważne pozostałe można pozostawić domyślne.

Cykl ten musi być wywołany, kiedy narzędzie jest ustawiane w osi wierconego otworu.

5. Wykonanie ćwiczenia

Ćwiczenie polega na opracowaniu programu obróbki części z wykorzystaniem elementów obróbki 3+2. Rysunek przedmiotu przekaże prowadzący ćwiczenia. W ramach ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

- przyjąć i wysować położenie podstawowego układu współrzędnych przedmiotu,
- dobrać narzędzia i parametry obróbki,
- zdefiniować narzędzia w tabeli narzędziowej,
- utworzyć nowy program,
- zdefiniować półfabrykat,
- wywołać narzędzie,
- wykonać operacje obróbkowe wstępne (planowanie płaszczyzny, obróbka gabarytu – czop prostokątny) bez obrotu i przesunięcia układu współrzędnych,
- wykonać operacje obróbkowe z pochyleniem płaszczyzn obróbki, z wykorzystaniem cykli przesunięcia układu współrzędnych i pochylenia układu współrzędnych funkcją PLANE
- usunąć pochylenie płaszczyzny obróbki.

5. Przygotowanie do ćwiczeń

Przed przystąpieniem do ćwiczenia niezbędna jest znajomość:

- doboru narzędzi i parametrów obróbki,
- budowa układu współrzędnych obrabiarek,
- podstaw programowania obrabiarek w układzie typu TNC,
- tematyki zawartej w tej instrukcji.

6. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- datę ćwiczenia nr grupy i podgrupy,
- nazwiska osób biorących udział w ćwiczeniu,
- rysunek przedmiot z zaznaczonym układem współrzędnych,
- wydruk programu z opisem wykonywanych czynności
- wnioski.

7. Literatura

Instrukcje do poprzednich ćwiczeń z programowania w układzie TNC, zwłaszcza „Podstawy programowania” oraz „Programowanie wykorzystanie cykli obróbkowych”