

POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING

9(5)/2017, 69-79

Czasopismo naukowo-techniczne – Scientific-Technical Journal

Tomasz SZYNKA, Tomasz PACZKOWSKI

FUNKCJE POSTPROCESORA W TECHNOLOGII PROGRAMOWANIA OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE

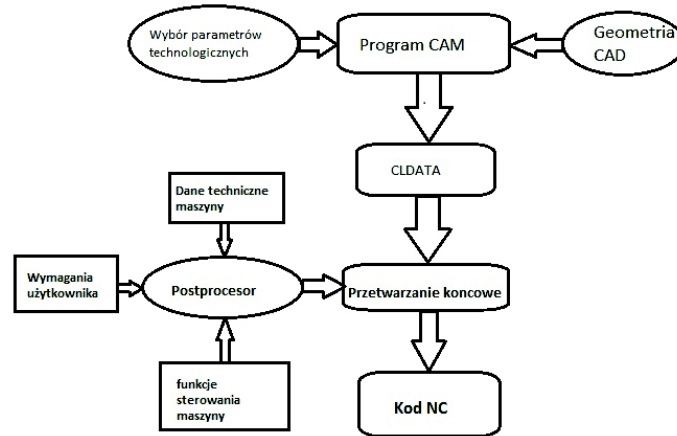
Streszczenie: Postęp w dziedzinie oprogramowania CAM (Computer Aided Manufacturing) i rosnące możliwości obrabiarek CNC (Computer Numeric Control) powodują, że wymagania w stosunku do postprocesorów są bardzo wysokie, jeśli chodzi o ich niezawodność, możliwości, spełnianie oczekiwań użytkownika. Praca poświęcona jest wybranym problemom przetwarzania końcowego (postprocesingu), wynikającym z praktycznych zastosowań; uzyskanych w trakcie wdrożeń postprocesorów na różnych typach obrabiarek. Wprowadzono terminologię stosowaną przy tworzeniu postprocesorów i omówiono zagadnienia interpolacji kołowej, programowania w układzie 3+2 osie. W publikacji omówiono problemy związane z pierwszym najazdem w obróbce 5-osiowej powierzchni krzywoliniowych.

Słowa kluczowe: postprocesor, CAD/CAM, program NC, programowanie CNC

1. WPROWADZENIE

Programy CAM tworzą kod źródłowy CL data (cutter Location) [3], w których zawarte są dane geometryczne obliczeń poszczególnych strategii. Nie jest to jednak jeszcze program, który można wykorzystać do sterowania maszyną CNC. Zbiór CLDATA musi być jeszcze skompilowany z użyciem postprocesora, który jest zbiorem instrukcji i dostarcza systemowi informacji dotyczących sposobu zapisu zrozumiałego przez układ sterujący maszyną. Postprocesor jest zbiorem otwartym, który jest zapisany jako niekodowany plik z opisem procedur i odpowiadających im funkcji maszynowych lub zamkniętych tworzonych w edytorach dostępnych tylko z poziomu danego oprogramowania CAM. Efektem pracy postprocesora jest kod sterujący NC (Numeric Control), który należy rozumieć jako zbiór w standardzie ISO 6983, DIN 66025 [3] zgodny z normami PN-73M-55256, PN-93/M-55251 oraz instrukcjami producentów oprogramowania sterującego maszyny CNC, np. Heidenhain, Mazak. Generowanie kodu NC przedstawiono na poniższym schemacie (rys. 1).

mgr inż. Tomasz SZYNKA, e-mail: bthform@poczta.onet.pl
dr hab. inż. Tomasz PACZKOWSKI, prof. nadzw. UTP, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: tomasz.paczkowski@utp.edu.pl



Rys. 1. Schemat generowania kodu NC
 Fig. 1. Schema of generating NC code

2. INTERPOLACJA KOŁOWA

Główne elementy robocze maszyny w przyjętym układzie X,Y,Z poruszają się w wyznaczonych kierunkach po liniach prostych, zatem przemieszczenia liniowe nie stanowią problemu. Wystarczy podać położenie punktu startowego P1(Xs; Ys; Zs) i punktu końcowego P2(Xk; Yk; Zk), a obrabiarka wykona ruch z P1 do P2 po najkrótszej drodze. Ten ruch nazywamy interpolacją liniową i oznaczamy G1 dla kodu ISO, np.:

G1 X34.123 Y-5.12.478 Z0
 L dla Hiedenhan.
 L X34.123 Y-5.12.478 Z0

W przypadku gdy chcemy wykonać ruch po okręgu, łuk lub część łuku, stosujemy interpolację kołową, czyli zamianę łuku na małe odcinki linii prostych, tak aby z określoną dokładnością wykonać zadany kształt.

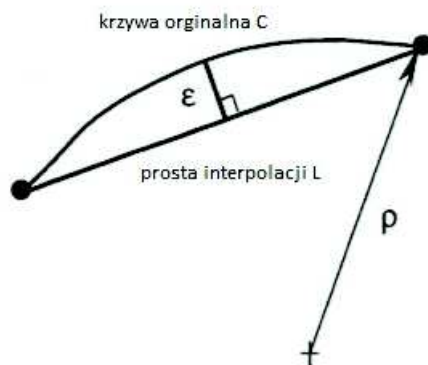
Dokładność interpolacji kołowej \mathcal{E} przedstawioną graficznie na rysunku 2 można określić wzorem [1]:

$$\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (\rho - \varepsilon)^2 = \rho^2 \quad (1)$$

gdzie: L – prosta interpolacji,
 ρ – promień interpolacji,
 ε – dokładność interpolacji.

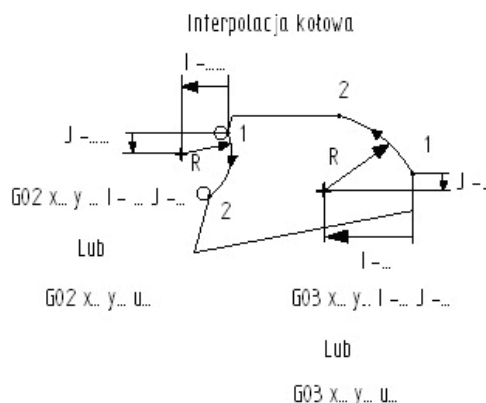
Po przekształceniu:

$$\varepsilon = \frac{L^2}{8\rho} \quad (2)$$



Rys. 2. Liniowa aproksymacja zadanej krzywej
Fig. 2. Linear approximation of the set curve

W postprocesorze umieszcza się funkcję programowania G02 lub G03, która uruchamia procedurę aproksymacji łuku przez system sterowania obrabiarki. Maszyna śledzi też dokładność wykonania ϵ automatycznie, a jej wartość zapisana jest w systemie przez producenta obrabiarki. Zapis interpolacji kołowej przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Zapis interpolacji kołowej
Fig. 3. Record of circular interpolation

Zapis interpolacji kołowej zgodny z kodem ISO:

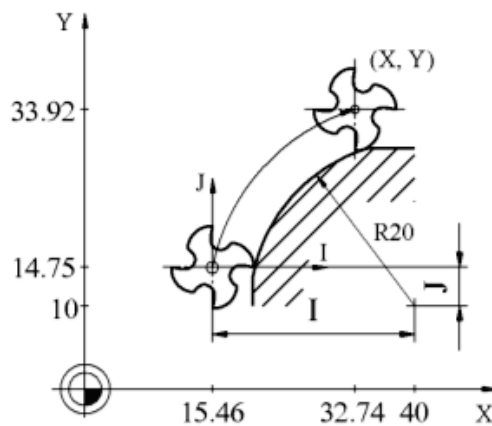
G02(lub G03) X... Y... Z... I... J... K...

- gdzie: G02 – ruch po okręgu zgodny z ruchem wskazówek zegara,
G03 – ruch po okręgu przeciwny do ruchu wskazówek zegara,
X, Y, Z – adresy współrzędnych końca łuku,
I; J; K – adresy współrzędnych środka łuku.

Podstawowym zadaniem, jakie trzeba ustalić podczas opracowania postprocesora jest wybór między zastosowaniem interpolacji kołowej; łuk wtedy opisany jest za pomocą funkcji G02, G03 a wyłączeniem tej funkcji i wtedy łuk

generowany jest w postaci odcinków, czyli interpolacji liniowej. W tym drugim przypadku system CAM aproksymuje łuk i przejmuje kontrolę nad dokładnością \mathcal{E} , która zależy od dokładności ustawionej w strategii ścieżki narzędzia. Ten zapis jest dłuższy, jednak nie generuje błędów i pozwala na wykonanie ruchu kołowego po spirali, a nie tylko na płaszczyznach równoległych do płaszczyzn XY, XZ, YZ układu współrzędnych.

Należy ustalić także sposób obliczania łuku przez system sterowania obrabiarki. Przykład interpolacji kołowej przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Przykład interpolacji kołowej [5]
Fig. 4. Example of circular interpolation [5]

Poniżej przedstawiono studium przypadku, aby poznać kilka sposobów zapisu kodu NC [5]:

- a) zapis, w którym współrzędne środka łuku zapisane są względem początku łuku:

```
.....
N234 G01 X15.46 Y14.75 F500
N235 G02 X32.74 Y33.92 I24.54 J-4.75
.....
```

- b) zapis, w którym współrzędne środka łuku zapisane są względem początku układu współrzędnych (bezwzględnie):

```
.....
N234 G01 X15.46 Y14.75 F500
N235 G02 X32.74 Y33.92 I40 J10
.....
```

- c) zapis, w którym podajemy promień łuku:

```
.....
N0110 G01 X15.46 Y14.75 F500
N0120 G02 X32.74 Y33.92 R20
.....
```

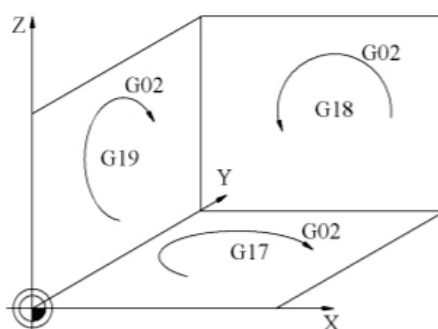
Łuk zapisuje się w trzech głównych płaszczyznach (rys. 5), XY, XZ, YZ. Prawidłowy zapis wymaga deklaracji płaszczyzny za pomocą jednej z trzech funkcji:

G17-płaszczyzna XY (I;J)

G18-płaszczyzna XZ (I;K)

G19-płaszczyzna YZ (J;K)

W postprocesorze dokonuje się wyboru funkcjonalności, w której płaszczyźnie będzie generował interpolację kołową, a w której łuk będzie aproksymowany liniowo. Najczęściej jest to płaszczyzna XY, a deklaracja następuje już na początku programu. Trzeba również pamiętać o tym, aby sprawdzić możliwości obrabiarki.



Rys. 5. Płaszczyzny interpolacji [5]

Fig. 5. Interpolation Plane [5]

Błędy w zapisie w programach generowanych z systemu CAM są uciążliwe, ponieważ zatrzymują wykonywanie programu, wydłużając czas obróbki. Sprawiają, że proces jest mało efektywny. Warto więc wiedzieć, co można zrobić, aby ich uniknąć.

Poprawny zapis według instrukcji programowania danej maszyny jest podstawą do prawidłowego działania obrabiarki. Istnieją pewne zasady, których trzeba przestrzegać. Zaczyna się od podania płaszczyzny obróbki, która musi być zadeklarowana przed wystąpieniem łuku, następnie linia programu z przywołaniem funkcji G02, G03, które są najczęściej modalne, ale funkcje te należy sprawdzić w ustawieniach maszyny lub bezpośrednio wykonać próby na obrabiarce. Należy zwrócić uwagę na zapis w którym łuk przechodzi w następny łuk [1]:

.....

N234 G01 X-15.0 Y0.0F500

N235 G02 X0.0 Y15.0 I0.0 J0.0

N235 X15 Y0.0 I0.0 J0.0

Funkcja G02/G03 modalna (obowiązuje do odwołania)

.....

N234 G01 X-15.0 Y0.0F500

N235 G02 X0.0 Y15.0 I0.0 J0.0

N235 G02X15 Y0.0 I0.0 J0.0

Funkcja G02/G03 nie jest modalna (obowiązuje w danym bloku)

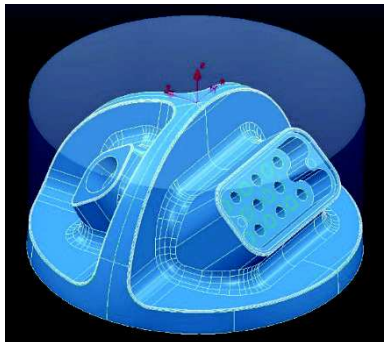
.....

W czasie wykonywania programu na obrabiarce może się zdarzyć nieoczekiwany błąd i maszyna zatrzyma się z komunikatem o niezgodności końca łuku. Bardzo często tak się dzieje, gdy w systemie sterowania maszyny dokładność osiągnięcia współrzędnych interpolacji kołowej ustawiana jest do 0,001 mm, a w programie obróbczym liczby są deklarowane także do 0,001 mm. Powodem tego jest zaokrąglenie, które generuje postprocesor, np. wartość liczby 23,5638 w programie zapisuje jako 23,564, czyli system odczytuje jako 23,5640, co skutkuje zatrzymanie obrabiarki.

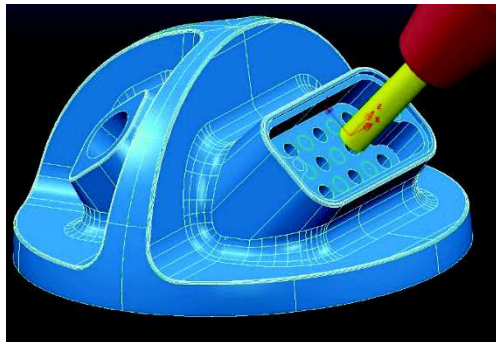
Najprostszym sposobem uniknięcia tego błędu jest generowanie liczb z dokładnością do czterech miejsc po przecinku. Sposób ten został sprawdzony w praktyce podczas prób.

3. PROGRAMOWANIE W UKŁADZIE INDEKSOWANYM

Programowanie więcej niż trzech osi wymaga wspomaganie procesu przez wyspecjalizowane programy CAM. Jednak istnieje metoda polegająca na indeksowaniu położenia detalu lub narzędzia. Polega ona na obrocie np. detalu wokół jednej lub dwóch osi i wykonanie operacji w już w trzyosiowym obróconym układzie współrzędnych, która pozwala programować również z pulpitu operatora obrabiarki. Charakterystyczną cechą tego typu obróbki jest występowanie w programie NC funkcji transformacji i obrotu chwilowego lokalnego; czasami tylko dla jednej obróbki, układu współrzędnych. Linia programu opisująca ruch narzędzia; poza początkiem, jest zapisana tak jak w programie trzy osiowym, tylko współzrędnymi położenia punktu X;Y;Z. Przedstawiono to na przykładzie (rys. 6, 7).



Rys. 6. Ustalenie przedmiotu względem głównego układu współrzędnych
Fig. 6. Determination of the object relative to the main coordinate system



Rys. 7. Ustalenie przedmiotu względem lokalnego układu współrzędnych
Fig. 7. Determination of the object relative to the local coordinate system

Na rysunku 6 przedstawiono ustawienie głównego układu współrzędnych (GUW), który ustawiany jest również na obrabiarce jako baza detalu i to w tym układzie będzie generowany program NC. Przyjęto koncepcję ustawiania jego w środku gabarytu przygotówki i na powierzchni górnej. Na rysunku 7 przed-

stawiono ustawienie lokalnego układu współrzędnych (LUW) potrzebnego do wykonania wybrania, którego płaszczyzna XY jest równoległa do dna wybrania i w Z osadzona na jego górze.

Istnieją dwa sposoby generowania ścieżek obróbczych w przypadku obróbki 3+2 osie, a wybór w postprocesorze jednego z nich związany jest z funkcjonalnościami, jakie chcemy mieć dostępne.

Zapis w systemie Heidenhain530 przedstawia się następująco [2]:

```

.....
36CYCL DEF 7.0 PUNKT ZEROWY      przesunięcie układu współrzędnych
                                   (LUW)

37 CYCL DEF 7.1 X0.0
38 CYCL DEF 7.2 Y-33.75
39 CYCL DEF 7.3 Z-24.75
40 Z-200 M91
41 PLANE SPATIAL SPA+45.0 SPB+0.0 SPC+0.0 TURN F8000 SEQ-TABLE ROT
                                   obrót układu współrzędnych (LUW)

42; ***Pierwszy ruch 3+2 ax ***
43 M129
                                   wyłączenie RTCP (Tool Rotary Center Point)

44 L X+1.212 Y-18.47 FMAX
45 L Z+10.0 FMAX
46 L Z+3.0 FMAX
47 L Z-1.0 FQ10
48 L X+1.222 Y-18.45 FQ11
49 CC X+1.045 Y-18.361
50 C X+1.133 Y-18.184 DR+
                                   interpolacja kołowa
51 L X+0.856 Y-18.025
52 L X+0.599 Y-17.835
53 CC X+0.0 Y-18.553
54 C X+0.0 Y-17.617 DR+
.....

```

Przykład pokazuje strategię obróbki z wykorzystaniem przesunięcia lokalnego układu współrzędnych za pomocą cyklu 7, następnie jego obrotu za pomocą specjalnej funkcji PLANE SPATIAL i wykonywania obróbki w trzech osiach XYZ. Zaletą takiego rozwiązania w postprocesorze jest możliwość zastosowania wszystkich funkcjonalności z obróbki trzyosiowych, tj. korekcji narzędzia, interpolacji kołowej, cykli maszynowych do wiercenia. Zapis ten jednak wymaga kontroli obrotu i przesunięcia LUW i odwoływania tych funkcji przez postprocesor w odpowiednim czasie, np. przed rozpoczęciem kolejnej operacji tak, aby przed następną obróbką powrócić do głównego układu współrzędnych GUV.

Funkcje obrotu można odwołać za pomocą:

```
230 PLANE RESET STAY
```

Przesunięcie układu uzyskujemy poprzez wywołanie Cyklu 7 z zerowymi wartościami:

```
36CYCL DEF 7.0 PUNKT ZEROWY      przesunięcie układu współrzędnych  
                                   powrót do GUV  
37 CYCL DEF 7.1 X0.0  
38 CYCL DEF 7.2 Y0.0  
39 CYCL DEF 7.3 Z0.0
```

Wybór tego sposobu zapisu daje duże możliwości, jednak ze względu na operacje przemieszczania i obrotu baz wymaga od postprocesora pełnej kontroli nad poszczególnymi operacjami.

Tego typu zapis przedstawia się następująco:

```
-----  
35 ; ***Pierwszy ruch 3+2ax ***  
36 M129  
37 L X-0.029 Y+0.0 FMAX  
38 L Z+17.0 FMAX  
39 L M128      włączenie RTCP (Tool Rotary Center Point)  
40 L M126      włączenie przemieszczania osi optymalnym torem  
41 L B30 C-56.843 F2000  
42 L X+9.378 Y-62.015 Z+17.0 F1200  
43 L Z-45.916  
44 L Z-48.916 F1000  
45 L X+9.324 Y-61.735 Z-49.19 F1100  
46 L X+9.213 Y-61.453 Z-49.472  
47 L X+9.041 Y-61.178 Z-49.753  
48 L X+8.808 Y-60.919 Z-50.024  
49 L X+8.518 Y-60.686 Z-50.275  
50 L X+8.178 Y-60.489 Z-50.496  
51 L X+7.8 Y-60.334 Z-50.681
```

Ten sposób polega na zapisie poszczególnych punktów przemieszczania w programie względem głównego układu współrzędnych. Pozbywamy się przemieszczania i obrotu bazy, wykorzystując w zamian funkcje M128 (RTCP), jednak zapis w programie trzech współrzędnych w jednej linii wyklucza możliwość stosowania interpolacji kołowej i korekcji narzędzia. Ograniczamy w ten sposób funkcjonalności kosztem prostszego zapisu programu i postprocesora. Wybór danej metody podyktowany jest technologią i przyzwyczajeniami użytkownika.

Ważnym elementem, jeśli chodzi o bezpieczeństwo, jest przemieszczenie wrzeciona obrabiarki w miejsce, w którym nie nastąpi kolizja podczas rotacji osi. Punkt musi być określony względem bazy maszynowej tak, aby ustawienie przez użytkownika jakiegokolwiek bazy detalu nie rzutowało na położenie jego położenia. Może to być jeden z narożników obrabiarki, a postprocesor generuje kod przemieszczenia narzędzia w to miejsce przed rotacją osi. Możemy zapisać:

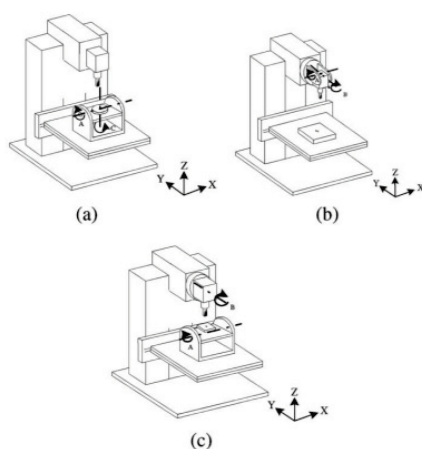
- dla Hiedenhana [2]:
10813 L Y+600.0 R0 FMAX M91
10814 L X-1.0 R0 FMAX M91
- dla Fanuc [1] Sinumerika [7]:

10047 G90 G53 Z0
10048 G90 G53 X200 Y100
M91, G53

to funkcja określająca w współrzędne względem punktu maszynowego danej obrabiarki

4. PROGRAMOWANIE W UKŁADZIE PIĘCIOOSIOWYM SYMULTANICZNYM

Cechą charakterystyczną dla tego procesu jest zapis linii programu, w której występuje pięć współrzędnych. Taki zapis powoduje ruch we wszystkich osiach programowalnych obrabiarki. Drugą cechą jest włączenie układu RTCP (Tool Rotary Center Point), który pozwala systemowi sterowania maszyny na generowanie dodatkowych ruchów w osiach X,Y,Z niezawartych w programie, podczas obrotu osi. Można powiedzieć, że narzędzie podąża za obrabianym detalem, tak jak byłoby do niego przyklejone. Postprocesor w przypadku obróbki 5 osi musi uwzględniać kinematykę obrabiarki sklasyfikowaną w trzech głównych typach (rys. 8). Każda z typu maszyn ma swoje wady i zalety.



Rys. 8. Typy maszyn pięcioosiowych a) stół-stół, b) głowica-głowica, c) stół-głowica [4]
Fig. 8. Types of 5-axis machines a) table-table, b) head-head, c) table-head [4]

Typ stół-stół (rys. 8a) jest używany najczęściej do mniejszych obrabiarek, gdzie waga detalu nie przekracza 2 ton, a objętość pola obróbki jest poniżej 1 m³. Maszyny te w postaci obudowanych centrów frezerskich, tokarskich lub tokarsko-frezerskich są najczęściej występującą grupą obrabiarek, oś narzędzia jest w tym przypadku zawsze pionowa, co pozwala wiercić pod różnymi kątami z bardzo dobrym skutkiem, a ruchy obrotowe wykonuje stół razem z zamonto-

wanym na nim detalem. To bardzo ekonomiczny typ ponieważ można do trzy osiowej obrabiarki dodać tylko mechanizmy obrotowe osi [4].

Typ stół-głowica (rys. 8b) – w tym przypadku elementy obrabiane są większe, a wychylanie tak dużej masy powoduje powstanie dużych momentów, ale stół obrotowy w osi C pozwala na wykonanie obrotowych elementów. Typ głowica-głowica (rys. 8c) stosowany jest do bardzo ciężkich elementów. Ze względu na powstawanie bardzo dużych momentów wynikających z obrotu dużej masy typ ten charakteryzuje się brakiem obrotowego stołu. Należy zauważyć, że podczas wiercenia na tego typu maszynach otworów, nachylonych względem dwóch osi układu współrzędnych, wychylenie głowicy powoduje ruch w trzech osiach X,Y,Z tego układu, liniowo wzdłuż osi otworu.

Bardzo ważnym elementem przy tworzeniu postprocesora jest pierwszy najazd podczas obróbki pięcioosiowej. Najazd ten musi uwzględniać kinematykę danej maszyny, ale również bezpieczeństwo obróbki. Przykładowy zapis ruchu narzędzia w 5 osiach:

58 ; ***Pierwszy ruch 5ax ***

59 M129

60 L X+0.0 Y+0.0 FMAX

61 L Z+50.0 FMAX

62 L M128

włączenie RTCP (Tool Rotary Center Point)

63 L M126

włączenie przemieszczania osi optymalnym torem

64 L B-4.896 C+59.159 FMAX

65 L X+6.622 Y+7.751 Z+4.235 F1000

66 L X+6.49 Y+7.532 Z+1.246 F2000

67 L X+6.445 Y+7.499 Z+0.927 F2340

W bloku 60 jest najazd na współrzędne środka detalu X0.0 Y0.0 i na wysokość bezpieczną Z+50 w bloku 61. Najazd ten powoduje, że po połączeniu RTCP i obrotu stołem maszyna nie osiągnie punktów krańcowych i się nie zatrzyma. Należy pamiętać, że gdy RTCP jest aktywne, obracające się osie powodują, że narzędzie podąża za punktem w tym przypadku bezpiecznym X0.0 Y0.0 Z+50. Po obrocie osi następuje zjazd na pierwszy punkt obróbki.

Innym sposobem jest pominięcie najazdu na środek detalu. Zapis wygląda następująco:

65 L M126

66 L M03

67 L M129

68 L B30.0 C106.466 FMAX

69 L M128

70 L X+4.439 Y-16.741 Z+10.00 F3000

71 L Z+5.000

72L Z+3.873 F2300

73 L X+5.148 Y-19.138 Z-0.458

W linii 68 następuje obrót osi, jednak bez włączonego RTCP, które włączamy w następnej linii. W bloku 70 programujemy najazd na punkt bezpieczny; obowiązkowo w trzech osiach ze względu na punkty krańcowe maszyny, następnie dojazd do pierwszego punktu obróbki.

5. PODSUMOWNIE

Analizując załączone przykłady, można zauważyć, że postprocesor powinien być dostosowany do każdej maszyny ze względu na jej kinematykę. Kolejnym ważnym zagadnieniem jest uwzględnienie funkcjonalności, takich jak interpolacja kołowa, korekcja toru narzędzia, wynikających ze stosowanej technologii w firmie i przyzwyczajień użytkownika.

Dla każdej maszyny należy zapisać punkty bezpieczne osi i zakres ich obrotu. Tak przygotowany postprocesor należy sprawdzić podczas jego wdrożenia na maszynie i po pomyślnie zakończonych próbach zostaje przekazany użytkownikowi.

LITERATURA

- [1] FANUC SERIA 31 MODEL A: Instrukcja użytkownika. Fanuc, 2009.
- [2] HEIDENHAIN: Instrukcja programowania iTNC 530/iTNC 620, 2016.
- [3] HEINRICH C., ERTELT E.: Generative Design-to-Fabrication Automation using Spatial Grammars and Heuristic Search. Technischen Universität, München, 2012.
- [4] JUNGA Y.H., LEEA D.W., KIMB J.S., MOKC H.S.: NC post-processor for 5-axis milling machine of table-rotating/tilting type. Journal of Materials Processing Technology 130-131, 2002, 641-646.
- [5] PTASZYŃSKI W.: Obróbka prostych kształtów. Politechnika Poznańska, Poznań, 2015.
- [6] RONG-SHINE L., YORAM K.: Real-Time Interpolators for Multi-Axis CNC Machine Tools. University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2125.
- [7] SINUMERIK 840D/810D/FM-NC: Instrukcja programowania. Siemens 10.2000.

POSTPROCESSOR FEATURES IN NUMERICAL MANUFACTURING PROGRAMMING TECHNOLOGIES

Summary: Computer Aided Manufacturing (CAM) day-to-day progress and CNC Numeric Control capabilities make postprocessor requirements extremely high in terms of reliability, capabilities, and user expectations. This article is dedicated to selected issues of postprocessing resulting from practical applications; Obtained in postprocessor implementations on various types of machine tools. The terminology used for creating postprocessors was introduced, and discussed circular interpolation, 3 + 2 programming. This article discusses the problems associated with the first 5-axis machining.

Key words: postprocessor, CAD / CAM, NC program, CNC programming