

Piotr Skawiński

Komputerowo wspomagane wytwarzanie

Warszawa 2010



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



fundusze unijne dla rozwoju
rozwoju i innowacji

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Politechnika Warszawska
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Studia Podyplomowe dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84, tel (22) 849 43 07, (22) 234 83 48
ipbmvr.simr.pw.edu.pl/spin/, e-mail: sto@simr.pw.edu.pl

Opiniodawca: prof. nzw dr hab. inż. Jerzy SOBOLEWSKI

Projekt okładki: Norbert SKUMIAŁ, Stefan TOMASZEK

Projekt układu graficznego tekstu: Grzegorz LINKIEWICZ

Skład tekstu: Janusz BONAROWSKI, Piotr SKAWIŃSKI

Publikacja bezpłatna, przeznaczona dla słuchaczy Studiów Podyplomowych
Komputerowe Wspomaganie Projektowania z Podstawami Wzornictwa
Przemysłowego.

Copyright © 2010 Politechnika Warszawska

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany
ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych,
kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw
autorskich.

ISBN 83-89703-52-1

Druk i oprawa: Drukarnia Expol P. Rybiński, J. Dąbek Spółka Jawna,
87-800 Włocławek, ul. Brzeska 4

Spis treści

1. Informacje ogólne	9
1.1 Zakres przedmiotu	10
1.2 Akronimy	11
1.3 Krótki rys historyczny	12
2. Systemy komputerowego wspomagania w inżynierii produkcji	15
2.1 Systemy CAM	16
2.2 Przegląd rynku systemów CAM	17
2.3 Systemy CAE	18
2.4 Zintegrowane systemy CAD/CAM/CAE	19
2.5 Komputerowo zintegrowane wytwarzanie (CIM)	20
2.6 Systemy PDM	20
3. Obrabiarki sterowane numerycznie	23
3.1 Obrabiarki CNC	24
3.2 Budowa obrabiarek sterowanych numerycznie	25
3.3 Układy współrzędnych. Przestrzeń robocza	31
3.4 Rodzaje pracy maszyny	36
3.5 Interpolacje	37
4. Wprowadzenie do programowania	39
4.1 Programowanie	40
4.2 Program operacji technologicznej	40
4.3 Korekcja narzędzi	41
4.4 Programowanie absolutne i przyrostowe	42
4.5 Programowanie konturowe i parametryczne	43
4.6 Programowanie ręczne i komputerowe	47
5. Programowanie tokarek	49
5.1 Wprowadzenie do tokarek CNC	50
5.2 Układy osi tokarek i centrów tokarskich	51

5.3 Przestrzeń robocza.....	53
5.4 Punkt referencyjny.....	55
5.5 Korekcja narzędzi.....	57
5.6 Noże imakowe i oprawkowe	63
5.7 Dobór noży tokarskich	64
5.8 Dobór parametrów skrawania.....	65
5.9 Wprowadzenie do programowania tokarek CNC.....	67
5.10 Ustalenie punktu zerowego PO	68
5.11 Programowanie we współrzędnych absolutnych.....	72
5.12 Programowanie we współrzędnych przyrostowych	73
5.13 Interpolacja.....	74
5.14 Programowanie przemieszczeń	75
5.14.1 Programowanie przemieszczeń po prostej.....	75
5.14.2 Programowanie przemieszczeń po łuku	76
5.15 Toczenie wzdłużne i cykle toczenia wzdłużnego	77
5.16 Toczenie poprzeczne i cykle toczenia poprzecznego	78
5.17 Wiercenie otworów i cykle wiercenia otworów	78
5.18 Cykl toczenia gwintów na powierzchni walcowej	79
5.19 Cykl toczenia gwintów na powierzchni stożkowej	80
5.20 Cykl toczenia gwintów ze zmiennym skokiem	81
5.21 Programowanie konturowe.....	81
5.22 Programowanie parametryczne	82
5.23 Stała prędkość skrawania.....	82

6. Frezarki i centra frezarskie 85

6.1. Wprowadzenie	86
6.2. Układ osi frezarki CNC	89
6.3. Punkty charakterystyczne frezarek i centrów frezarskich CNC.....	90
6.4. Przestrzeń robocza frezarki CNC	92
6.5. Frezy i oprawki frezarskie	92
6.6. Wielkości korekcyjne narzędzi frezarskich.....	94
6.7 Dobór narzędzi frezarskich.....	96
6.8 Dobór parametrów skrawania przy frezowaniu.....	96
6.9 Obróbka HSM	97

7. Programowanie frezarek i centrów frezarskich CNC..... 101

7.1 Ustalanie punktu zerowego PO	102
7.2 Programowanie we współrzędnych absolutnych.....	103

7.3 Programowanie we współrzędnych przyrostowych	104
7.4 Programowanie przemieszczeń we współrzędnych biegunowych	104
7.5 Interpolacja liniowa, kołowa i funkcją wyższego rzędu.....	106
7.6 Dojazd i odjazd narzędzi od konturu.....	107
7.7 Kompensacja promienia narzędzia frezarskiego	109
7.8 Programowanie cykli i podprogramów	110
7.8.1 Cykle wiertarskie.....	111
7.8.2 Cykle frezarskie - frezowanie kieszeni.....	113
7.9 Rozfrezowywanie otworów	115
7.10 Programowanie konturowe.....	116
7.11 Programowanie parametryczne	116

8. Inne metody programowania obrabiarek CNC..... 119

8.1 Warsztatowo Orientowane Programowanie (WOP).....	120
8.2 STEP-NC.....	120

Literatura..... 123

Wstęp

Niniejsze materiały zostały opracowane w ramach realizacji projektu pn. „STUDIA PODYPLOMOWE DLA NAUCZYCIELI PRZEDMIOTÓW ZAWODOWYCH – mechatronika pojazdów i maszyn, komputerowo wspomagane projektowanie i wytwarzanie, bezpieczeństwo człowieka w środowisku pracy i ergonomia” współfinansowanego ze środków UNII EUROPEJSKIEJ w ramach PROGRAMU OPERACYJNEGO – KAPITAŁ LUDZKI. Materiały przeznaczone są dla słuchaczy tych studiów kierunku „Komputerowo wspomagane projektowanie i wytwarzanie” prowadzonych na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Niniejsze opracowanie przygotowano dla przedmiotu pt. „Komputerowo wspomagane wytwarzanie” opisanym w sylabusie opracowanym dla tego przedmiotu.

Rozdział 1 poświęcono informacjom o charakterze ogólnym omawiając czym zajmuje się komputerowo wspomagane wytwarzanie, jakie akronimy powiązane są z tą tematyką oraz przedstawiono krótki rys historyczny obrabiarek sterowanych numerycznie jak i programowania.

W rozdziale 2 omówiono skrótowo systemy komputerowego wspomaganie wytwarzania, dokonano przeglądu rynku systemów CAM oraz zintegrowanych systemów CAD/CAM i CAD/CAM/CAE.

Rozdział 3 zawiera podstawowe wiadomości o budowie obrabiarek sterowanych numerycznie, ich przestrzeniach roboczych i układach współrzędnych.

Programowanie obrabiarek, nie odnosząc się do konkretnej maszyny, omówiono w rozdziale 4. Są to informacje o programowaniu ręcznym i komputerowym, konturowym i parametrycznym. W rozdziale tym opisano ponadto rodzaje pracy maszyny oraz stosowane w programowaniu interpolacje.

Rozdział 5 dotyczy programowania tokarek i centrów tokarskich CNC. W rozdziale omówiono kartezjańskie układy odniesienia w przestrzeni roboczej maszyny oraz istotę punktu referencyjnego. Oprócz doboru noży i omówienia wartości korekcyjnych, zwrócono uwagę na dobór technologicznych parametrów skrawania. Rozdział 5 zajmuje się programowaniem przemieszczeń po prostej i po łuku a także cyklami toczenia

wzdłużnego i poprzecznego, w tym również sposobem toczenia gwintów.

Rozdział 6 poświęcono frezarkom i podstawom programowania frezarek. W szczególności omówiono układy osi odniesienia, punkty charakterystyczne przestrzeni roboczej, dobór frezów, oprawek, wartości korekcyjnych i parametrów skrawania. W końcowej części rozdziału omówiono obróbkę z wysokimi prędkościami skrawania HSM (High Speed Machining).

W rozdziale 7 omówiono programowanie frezarek i centrów frezarskich sterowanych numerycznie. Rozdział 7 zawiera wiadomości dotyczące ustawienia punktu zerowego programu, programowania we współrzędnych przyrostowych i absolutnych aż po programowanie konturowe i parametryczne.

Rozdział 8 zawiera informacje uzupełniające z programowania obrabiarerek sterowanych numerycznie. Omówiono programowanie zorientowane warsztatowo i programowanie oparte o standard AP238 a mianowicie STEP-NC.

1

Informacje ogólne

W tym rozdziale:

- zakres przedmiotu
- akronimy
- krótki rys historyczny

1.1. Zakres przedmiotu

Komputerowo wspomagane wytwarzanie (ang. Computer Aided Manufacturing) – najogólniej można zdefiniować jako techniki wspomagające tworzenie programów dla obrabiarek sterowanych numerycznie. W zakres CAM wchodzi także sterowanie urządzeniami i procesami wytwarzania oraz montażu. CAM obejmuje obszar obrabiarek sterowanych numerycznie, robotów, urządzeń transportowych i współrzędnościowych maszyn pomiarowych.

Bardzo szeroki, obejmowany komputerowo wspomaganiem wytwarzaniem obszar technik i maszyn powoduje, przy przyjętym planie studiów podyplomowych, konieczność zawężenia programu wykładów do niezbędnej wiedzy w tym przedmiocie. Przedmiot obejmuje swoim zakresem przegląd systemów komputerowo wspomagane wytwarzania, podstawy programowania w tym programowanie ręczne konturowe i parametryczne, podstawy budowy obrabiarek CNC oraz również w niezbędnym zakresie programowanie automatyczne (toczenie i frezowanie) w środowisku systemu CAM.

1.2. Akronimy

CAA – Computer Aided Assembling – Komputerowe wspomaganie montażu

CAD – Computer Aided Automation – Komputerowe wspomaganie automatyzacji wytwarzania

CAE – Computer Aided Engineering – Komputerowe wspomaganie prac inżynierskich

CAM – Computer Aided Manufacturing – Komputerowe wspomaganie wytwarzania

CAP – Computer Aided Planning – Komputerowe wspomaganie planowania

CAPP – Computer Aided Process Planning – Komputerowe wspomaganie planowania procesów

CAPP&C – Computer Aided Process Planning and Control – Komputerowe wspomaganie planowania procesów i sterowanie procesami

CAQ – Computer Aided Quality – Komputerowe wspomaganie sterowania jakością

CE – Concurrent Engineering – Projektowanie współbieżne (równoległe)

CIM – Computer Integrated Manufacturing – Komputerowo zintegrowane wytwarzanie

CLData – Cutter Location Data – Dane o trajektorii ruchu narzędzia

CMM – Coordinate Measuring Machine – Współrzędnościowa maszyna pomiarowa

CNC – Computer Numerical Control – Komputerowe sterowanie numeryczne (maszyn technologicznych)

DNC – Direct Numerical Control – Bezpośrednie sterowanie numeryczne

NC – Numerical Control – sterowanie numeryczne

1.3. Krótki rys historyczny

Początek i rozwój sterowań numerycznych wiąże się z zaistnieniem w 1946 r. pierwszego komputera o nazwie ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator), którego twórcami byli John W. Mauchly i J. Presper Eckert. W historii techniki za pioniera programowania i obrabiarek sterowanych numerycznie uważa się Johna T. Parsona.

- Rok 1946 - w jednym z laboratoriów Wojsk Powietrznych USA John Parsons i Frank Stulen zaczynają korzystać z ówczesnych komputerów programowanych za pomocą kart perforowanych do obliczeń interpolacji krzywych opisujących kształt łopat śmigłowców. Współrzędne punktów planują użyć do sterowania ruchami narzędzi skrawających na klasycznych obrabiarkach.
- Rok 1949 – firma założona przez Parsona wygrywa kontrakt na opracowywanie nowej metody obróbki żeber (wręg) skrzydeł samolotów dla Armii USA. Na potrzeby powyższego kontraktu uniwersytet MIT (ang. Massachusetts Institute of Technology) opracowuje sterowanie przyszłej obrabiarki.
- Rok 1952 – MIT opracowuje serwomechanizm do sterowania obrabiarką oraz symboliczny język ich programowania nazwany APT (ang. Automatically Programmed Tool). W tym roku na MIT zostaje zaprezentowana pierwsza działająca obrabiarka (Cincinnati Hydrotel) sterowana w trzech osiach z interpolacją liniową. To tam powstaje nazwa: „sterowanie numeryczne” (ang. numerical control), w skrócie NC.
- Rok 1958 – APT II - kolejna generacja języka programowania; generowanie kodu na komputerze stacjonarnym IBM 704. APT III (1961r.).
- Rok 1957 – pierwsza frezarka sterowana numerycznie (NC)
- Rok 1972 – pierwsze sterowania oparte o technikę mikroprocesorową (CNC)

W latach 70-tych XX wielu zaczęło zabudowywać w sterownikach komputery, na których operator mógł już edytować programy, a nawet przeprowadzić symulację zaprogramowanych ruchów. Od tego czasu obrabiarki sterowane numerycznie można nazywać maszynami CNC

(ang. Computer Numerical Control). Obecnie sterowanie CNC stało się już bardzo popularne, szczególnie w przypadku obrabiarek skrawających. Są one popularne w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym oraz w narzędziowniach do produkcji m.in. form wtryskowych, rozdmuchowych, matryc, itd.

2

Systemy komputerowego wspomagania w inżynierii produkcji

W tym rozdziale:

- Systemy CAM
- przegląd rynku systemów CAM
- systemy CAE
- zintegrowane systemy CAD/CAM/CAE
- komputerowo zintegrowane wytwarzanie (CIM)
- systemy PDM

2.1. Systemy CAM

Według definicji skrótem CAM (ang.- Computer Aided Manufacturing - Komputerowe Wspomaganie Wytwarzanie) nazywamy programy i systemy komputerowe stosowane w przygotowaniu i sterowaniu produkcją. Jednak wśród dystrybutorów i użytkowników oprogramowania inżynierskiego w większości przypadków skrótem CAM określa się programy wspomagające sterowanie ruchami obrabiarek numerycznych. Skrót CAM jest używany w wielu nazwach handlowych programów, które służą do generowania ścieżki narzędzi dla tokarek, frezarek i wycinarek drutowych CNC. Systemy CAM występują jako samodzielne programy bądź stanowią moduły zintegrowanych programów CAD/CAM lub CAD/CAM/CAE. Celem systemu jest możliwość generowania programów obróbczych dla skomplikowanych kształtów przedmiotów obrabianych np. gniazd formujących form wtryskowych, matryc do kucia foremnikowego, tłoczników, itp. Nie byłoby to możliwe do zrealizowania na drodze ręcznego programowania obrabiarek CNC. Na geometrii z systemu CAD generowane są w systemie CAM ścieżki narzędzi dla maszyn CNC. Ten algorytm pokazano na rysunku 2.1.



Rysunek 2.1. Algorytm generowania ścieżek narzędzi dla obrabiarek CNC

Algorytm ten pokazujący w sposób schematyczny drogę od środowiska CAD poprzez CAM do obrabiarek CNC, domyślnie uwzględnia na drodze CAM-CNC istnienie postprocesorów, a więc programów przekształcających dyskretny zapis trajektorii ruchu narzędzia (pliki CLData – Cutter Location Data) środowiska CAM na kody ISO (kody G) sterujące obrabiarką.

2.2. Przegląd rynku systemów CAM

Tabela 2.1. Wybrane systemy CAM

Nazwa systemu CAM	Uwagi	Producent Strony internetowe
Alphacam	niezależny program, posiada własny moduł CAD	Planit www.planitsolutions.com
EdgeCAM	niezależny program, posiada własny moduł CAD	Pathtrace www.edgcam.com www.edgcam.pl
ESPRIT	niezależny program	DP Technology www.dptechnology.com www.espricam.pl
Mastercam	niezależny program, posiada własny moduł CAD	CNC Software www.mastercam.com www.mastercam.pl
NX CAM Express	pracuje w środowisku SolidEdge	UGS www.ugs.com
PowerMILL	rozbudowane środowisko CAM, pracujące z CAD firmy Delcam	Delcam www.delcam.com www.powermill.com
SolidCAM	integruje się z systemami CAD: SolidWorks, Inventor, Microstation	SolidCAM www.solidcam.com www.solidcam.pl
SURFCAM	niezależny program, dodawany jest SolidWorks Part Design Only	Surfware www.surfware.com

Systemy komercyjne CAM (klasy mid-range) dostępne w Polsce, sprzedawane są zwykle z polskim interfejsem użytkownika, rzadko natomiast polscy dystrybutorzy decydują się na pełne tłumaczenie dokumentacji

oraz pomocy kontekstowej na język polski. Dla przybliżenia tych systemów, w celach informacyjnych przedstawiono w tabeli 2.1. dla wybranych systemów CAM (mid-range) strony internetowe z dokładniejszymi informacjami.

Na polskim rynku rozprowadzane są także inne systemy CAM, jak np.: HiCAM, hyperMill, OneCNC, SmartCAM, SprutCAM, T-FLEX CAM, TopSolid'Cam, oraz polski system CAM pod nazwą „GTJ” z Instytutu Zaawansowanych Technologii Wytwarzania w Krakowie. Systemy CAM „high-end” (Tabela 2.2) posiadają większe możliwościami generowania skomplikowanych obróbek dla obrabiarek wieloosiowych, przede wszystkim frezarek 5-osiowych. Frezowanie na maszynie 5-osiowej pozwala uzyskać większą dokładność wykonania niż prowadzenie obróbki w kilku zamocowaniach na maszynach 3-osiowych z uwagi na obróbkę detalu z wielu stron.

Tabela 2.2. Wybrane systemy „high-eng”

Nazwa	Producent	Strony internetowe
CATIA	IBM / Dassault	www.3ds.com www.catia.ibm.com
NX (Unigraphics, Ideas)	Siemens (d.UGS)	www.ugs.com
Pro/ENGINEER	PTC	www.ptc.com www.proe.com

2.3. Systemy CAE

Skrót CAE powstał na podstawie angielskiej nazwy „Computer Aided Engineering” i oznacza „Komputerowo Wspomagane Konstruowanie”. Skrótem CAE określa się programy lub systemy komputerowe wykorzystywane przez konstruktorów do analiz i symulacji inżynierskich m.in. wytrzymałościowych i termicznych, kinematyki i dynamiki mechanizmów, przepływu płynów i wiele innych. Dla bardziej konkretnego podkreślenia, że dany system jest stosowany do projektowania maszyn i urządzeń, używany jest przez dystrybutorów i użytkowników skrót MCAE (ang. Mechanical CAE), oznaczający wprost aplikacje dla

inżynierów i techników mechaników. Do najbardziej znanych aplikacji typu MCAE należą programy do analiz wytrzymałościowych Metodą Elementów Skończonych (MES). W celach informacyjnych można wymienić kilka systemów komercyjnych: ANSYS, Nastran, Adina, Abaqus, Cosmos.

2.4. Zintegrowane systemy CAD/CAM/CAE

Skrótem „CAD/CAM/CAE” oznacza się zintegrowane systemy komputerowe zbudowane z wielu modułów CAD, CAM i CAE. Jest to dostępna komercyjnie grupa najbardziej zaawansowanych systemów do projektowania i wytwarzania. Z tego powodu grupę tych systemów nazywa się angielskim określeniem „high-end” („z najwyższej półki”), oznaczającym produkty najbardziej profesjonalne, ale i najdroższe. Systemy te zapewniają jedno środowisko komputerowe do kompleksowego projektowania mechanizmów, ich badania i wytwarzania. Dzięki temu, że wszystkie moduły pracują w ramach jednego systemu, nie ma konieczności przenoszenia geometrii przestrzennej z jednego programu do drugiego, co wiąże się z ryzykiem uszkodzenia geometrii, a zawsze powoduje utratę parametryczności.

Charakterystyka: Systemy CAD/CAM/CAE powstały na potrzeby dużych biur konstrukcyjnych przemysłu lotniczego oraz motoryzacyjnego i tam są dalej głównie wykorzystywane. Systemy te są dużo bardziej rozbudowane i wyposażone w specjalistyczne funkcje niż tzw. systemy średnie (ang. „mid-range”), wymienione w rozdziale 1.1. Cena jednej pełnej licencji komercyjnej systemu CAD/CAM/CAE jest wielokrotnie wyższa niż systemów „mid-range” i z tego względu ich rozpowszechnienie jest znacznie mniejsze. Rzadko także polscy dystrybutorzy decydują się na tłumaczenie interfejsu użytkownika na język polski. Poznawanie i nauka systemu CAD/CAM/CAE jest łatwiejsza niż poznawanie oddzielnych programów CAD, CAM i CAE, bo systemy te wyposażone są we wspólny interfejs użytkownika. Najczęściej jednak użytkownik korzysta tylko z kilku modułów i dlatego korzysta z licencji tylko na potrzebne moduły.

Rynek CAD/CAM/CAE: Do zintegrowanych systemów CAD/CAM/CAE obecnie, można zaliczyć 4 systemy komputerowe (3 producentów), których spis wraz ze stronami internetowymi zaprezentowano

w tablicy 2.2. W przypadku średnich systemów CAD i CAM, widać tendencję do ich integrowania i tworzenia zintegrowanych środowisk inżynierskich, na wzór opisywanych w tym rozdziale systemów CAD/CAM/CAE.

2.5. Komputerowo zintegrowane wytwarzanie (CIM)

Większe zakłady produkcyjne starają się usprawnić swoją produkcję poprzez podnoszenie jakości i wydajności. W tym celu opracowywane są zasady zbierania informacji z różnych działów, które pomagają w planowaniu i sterowaniu produkcją. Jeśli wykorzystywane są w przedsiębiorstwie systemy komputerowe CAX, opracowano koncepcję „Komputerowo Zintegrowanego Wytwarzania” (ang. Computer Integrated Manufacturing) określanej skrótem “CIM”. Nie jest to jeden system komputerowy, lecz koncepcja zarządzania informacjami o produkcji, obejmująca wszystkie tego aspekty. W skład CIM poza systemami CAD, CAE, CAM wchodzi także systemy:

- CAPP (ang. Computer Aided Process Planning) - komputerowe wspomaganie planowanie procesów (technologicznych),
- CAQ (ang. Computer Aided Quality Control) - komputerowe wspomaganie sterowania jakością

Dzięki integracji systemów CAX w CIM, możliwe jest szybsze i bardziej elastyczne reagowania na potrzeby rynku poprzez łatwiejsze wprowadzanie zmian w procesie produkcji i lepsze wykorzystanie infrastruktury technicznej przedsiębiorstwa (m.in. obrabiarek CNC).

2.6. Systemy PDM

Skrót PDM (ang. Project Data Management) nieraz określany też jako Product Data Management i oznacza zarządzanie danymi o projekcie/produkcje. Systemy PDM są aplikacjami komputerowymi stosowanymi w biurach konstrukcyjnych do zarządzania informacjami o rozwoju produktu. Źródłem danych są m.in. pliki z systemów CAD, które magazynowane są we wspólnej bazie danych, gdzie przechowywane są

także wszelkie informacji o występujących wersjach i konfiguracjach. Systemy PDM archiwizując pliki CAD zbierają najczęściej informacje o nazwie lub numerze części, opisie części, nazwie zamawiającego, numerze lub nazwie stosowanej u zamawiającego, jednostce miary, cenie produktu, schemat lub dokumentację płaską, informacje materiałowe i inne.

System PDM wspierają także pracę grupową w systemach CAD, poprzez organizowanie użytkowników w grupy projektowe i nadawanie im odpowiednich uprawnień w różnych stadiach rozwoju produktu. Dzięki stosowaniu narzędzi PDM możliwe jest zmniejszenie ryzyka wystąpienia błędów w projekcie, szczególnie podczas pracy zespołowej. Dzieje się tak, bo system ewidencjonuje wszystkie wnoszone przez projektantów zmiany i poprawki. Systemy PDM mogą pracować jako osobne aplikacje lub jako moduły systemów CAD. Zwykle producenci systemów MCAD opracowują własne aplikacje PDM do swych systemów, choć mogą one pobierać pliki z różnych systemów CAD. Przykładem systemów PDM mogą być: PDMWorks z systemu SolidWorks, Windchill PDMLink firmy PTC, ENOVIA SmarTeam firmy Dassault lub TeamCenter firmy UGS. Ostatnio aplikacje PDM rozwijane są bardzo dynamicznie w duże, rozbudowane systemy, stając się systemami PLM.

3

Obrabiarki sterowane numerycznie

W tym rozdziale:

- obrabiarki CNC
- budowa obrabiarek sterowanych numerycznie
- układy współrzędnych, przestrzeń robocza
- rodzaje pracy maszyny
- interpolacje

3.1. Obrabiarki CNC

Obrabiarka sterowana numerycznie jest to maszyna technologiczna (maszyna robocza przeznaczona do kształtowania obrabianych powierzchni) realizująca proces obróbki wg wprowadzonego do układu sterowania programu. Cyfrowy układ sterowania nie będący komputerem oznacza obrabiarkę sterowaną numerycznie (NC - Numerical Control), zaś komputerowy układ sterowania (m.inn. możliwość zapamiętania wielu programów, edycja, grafika, symulacja obróbki, kontrola czynna wymiarów obrabianych) określa obrabiarkę sterowaną komputerem (CNC- Computer Numerical Control). Wg normy PN-ISO 2806:1996 sterowanie numeryczne NC to sterowanie automatyczne procesu technologicznego wykonywanego przez urządzenie, które do działania stosuje dane liczbowe wprowadzane w czasie pracy urządzenia, zaś komputerowe sterowanie numeryczne CNC to realizacja NC z zastosowaniem komputera do sterowania funkcji maszyny. Rozwój sterowań numerycznych ma swój początek właśnie od układów NC.

Tokarka – maszyna technologiczna przeznaczona do obróbki skrawaniem przedmiotów najczęściej o powierzchni brył obrotowych (wałki, stożki, kule, gwinty wewnętrzne i zewnętrzne). Narzędziami obróbczymi są najczęściej noże tokarskie, wiertła, rozwiertaki lub narzędzia do gwintów. Obróbka na tokarce nazywa się toczeniem. Toczenie wykonuje się poprzez wprawienie obrabianego przedmiotu w ruch obrotowy (ruch główny), a następnie skrawanie jego powierzchni narzędziem obróbczym. Obrabiany przedmiot ustala się i mocuje się w uchwycie bądź między kłami.

Wyposażenie elektroniczne, rozbudowa funkcji oraz sterowanie numeryczne przekształciły konwencjonalną tokarkę w obrabiarkę CNC, zwaną niekiedy z racji możliwości realizacji innych operacji technologicznych jak np. frezowanie, wiercenie poprzeczne i niewspółosiowe, centrum tokarskim będącym elementem struktur zintegrowanego wytwarzania CIM

Frezarka CNC – jest to maszyna technologiczna przeznaczona do obróbki skrawaniem, zwykle z pionowym wrzecionem, jednowrzecionowa, z komputerowym sterowaniem ruchami roboczymi narzędzi i stołów: frezów, nawiertaków, wiertel, gwintowników i innych. Głównym ruchem powodującym skrawanie jest ruch obrotowy freza. Oprócz tego frez przesuwa się względem obrabianego materiału lub stół z obrabianym przedmiotem względem narzędzia. Wyposażenie elektroniczne,

rozbudowa funkcji oraz sterowanie numeryczne przekształciły konwencjonalną frezarkę w obrabiarkę CNC zwaną niekiedy centrum pionowym frezarskim. Do części klasy korpus stosowane są najczęściej poziome centra obróbkowe, ostatnio wyposażane w system wymiennych palet ułatwiających wymianę przedmiotu obrabianego. Centra frezarskie z reguły wyposażone są w magazyny narzędzi np. bębnowy, karuzelowy (parasolowy).

Sterowaniem numerycznym nazywamy przetwarzanie informacji cyfrowej oraz generację sygnałów sterujących ruchem maszyn lub urządzeń. To sterowanie służy do sterowania wytwarzaniem geometrycznie zdefiniowanych przedmiotów tzn. takich, które mogą być opisywane cyfrowo na podstawie rysunku technicznego lub modelu CAD. Obecnie sterowania numeryczne wykorzystuje procesory i używa się raczej nazwy CNC (computer numerical control) - sterowanie numeryczne przy pomocy komputera. Obecnie układy sterowania numerycznego mają jądro programu sterującego i osobną część programu przeznaczoną do komunikacji z operatorem i otoczeniem.

3.2. Budowa obrabiarek sterowanych numerycznie

Obrabiarki sterowane numerycznie, określane w Polsce skrótem OSN, nazywane są także obrabiarkami NC (ang. Numerical Control), a gdy steruje nimi bezpośrednio komputer nazywamy je obrabiarkami CNC (ang. Computer Numerical Control). Takie maszyny pozwalają na zwiększenie wydajności i dokładności wytwarzanych detali. Operator nie musi wykonywać monotonnych czynności ustawczych. Jego zadaniem pozostaje zamocowanie półfabrykatu i narzędzi, ustawienie tzw. bazy programu i jego uruchomienie. Programy obróbkowe przygotowywane są zwykle przez technologów często nazywanych programistami obrabiarek CNC. Wpływ operatora na obróbkę jest niewielki i sprowadza się do korekcji (w pewnym zakresie) położenia narzędzi, obrotów wrzeciona i posuwów.

Mówiąc o obrabiarkach sterowanych numerycznie najczęściej odwołujemy się do frezarek i centrów frezarskich pionowych (rysunek 3.2.1) i poziomych oraz tokarek i centrów tokarskich (tokarki które oprócz operacji toczenia umożliwiają również prowadzenie operacji frezowania, wiercenia niewspółosiowego, itp.) – rysunek 3.2.2.

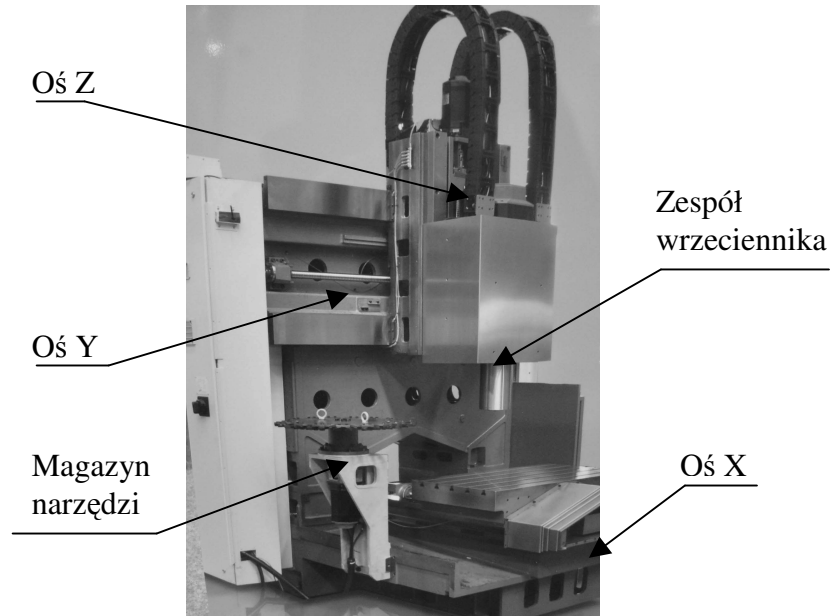


Rysunek 3.2.1. Pięcioosiowe centrum frezarskie



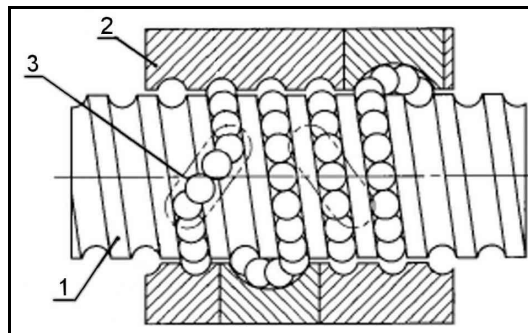
Rysunek 3.2.2. Centrum tokarskie

Poglądową budowę centrum frezarskiego sterowanego numerycznie przedstawiono na rysunku 3.2.3.



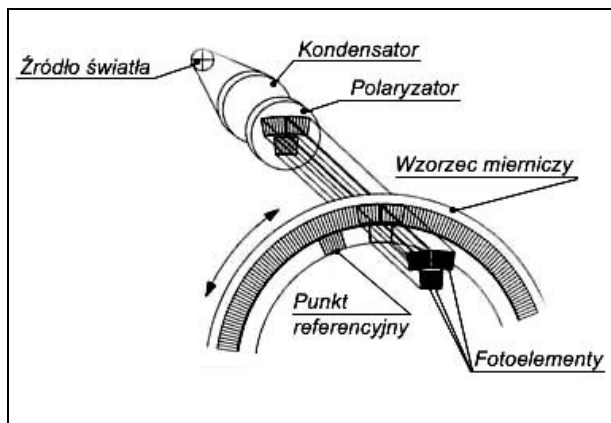
Rysunek 3.2.3. Konstrukcja centrum frezarskiego sterowanego numerycznie

Do przesuwania suportów lub stołów stosuje się zwykle przekładnie śrubowo-toczne (rysunek 3.2.4), które charakteryzują się większą sprawnością i pozwalają na pracę bezluzową. Obrabiarki CNC wyposażane są także w układy korygujące błędy przesuwu suportów/stołów, wynikające z charakterystyki przekładni śrubowo-tocznej (np. błąd nierównomierności podziałki) poprzez ciągłe odczytywanie ich pozycji i porównywanie ich z zadanymi w programie współrzędnymi.



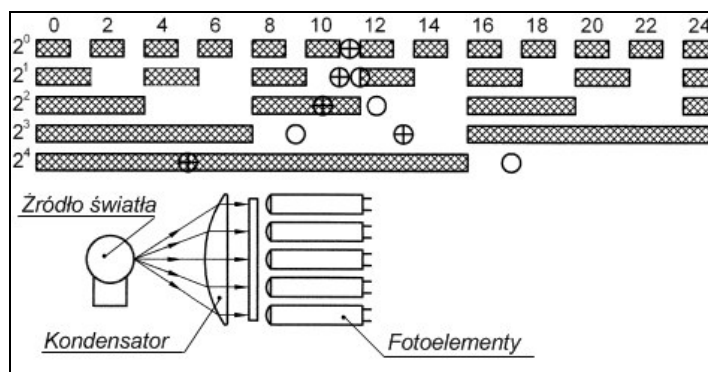
Rysunek 3.2.4. Budowa i zasada funkcjonowania przekładni śrubowo-tocznej.
(1-śruba, 2-nakrętka dwudzielna, 3-wkładka zwrotna)

Pomiar przemieszczeń liniowych dokonywany jest poprzez przetworniki obrotowo-impulsowe (rysunek 3.2.5) lub optyczne liniały pomiarowe (rysunek 3.2.6).



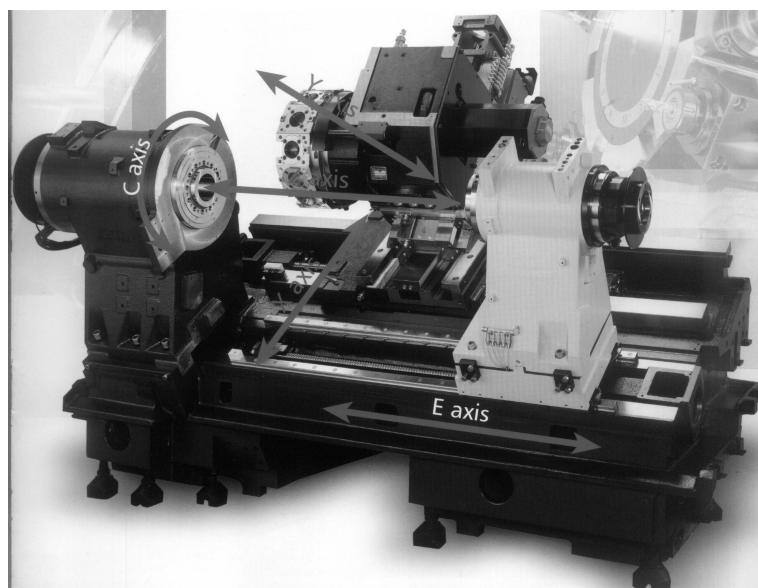
Rysunek 3.2.5. Schemat budowy przetwornika obrotowo-impulsowego

Układy pomiarowe oparte o przetworniki obrotowo-impulsowe montowane na osi silnika napędowego bądź na śrubie przekładni tocznej, wymagają szczególnego dbania o stan techniczny maszyny, zwłaszcza o kasowanie luzów w tych układach. Wystąpienie luzu przenoszone jest na niewłaściwy odczyt położenia zespołu roboczego – w pierwszej fazie następuje kasowanie luzu i to już jest rejestrowane przez przetwornik a potem następuje przemieszczenie suportu/stołu. W układach opartych o liniały pomiarowe, rejestrowane jest przemieszczenie zespołu i jest ono niezależne od luzów w układzie napędowym osi.



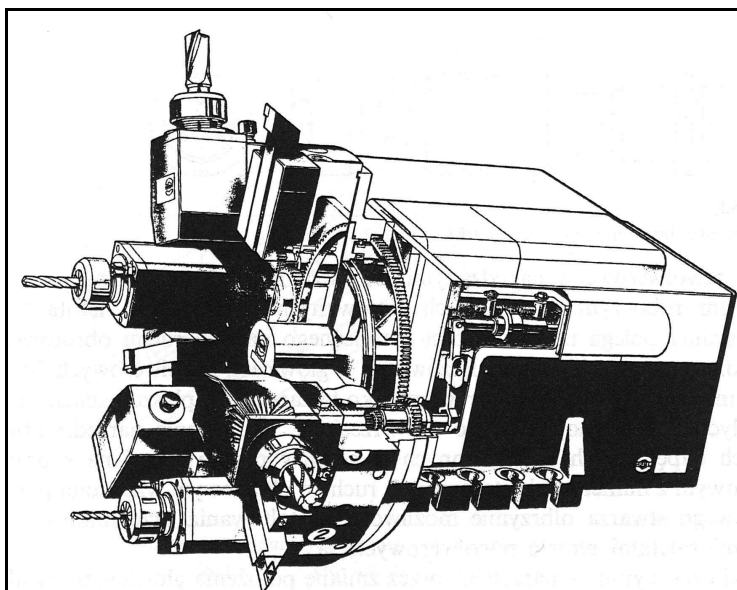
Rysunek 3.2.6. Schemat budowy liniały optycznej

Schemat budowy tokarki sterowanej numerycznie przedstawiono na rysunku 3.2.7.



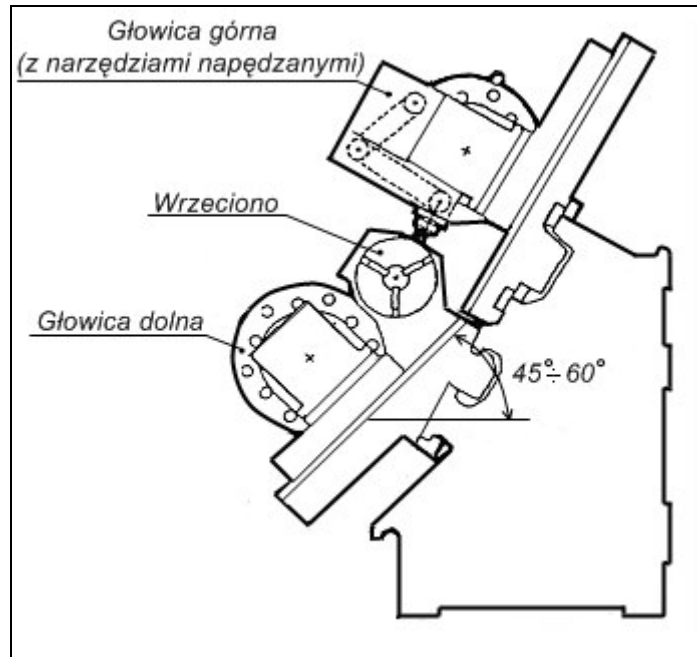
Rysunek 3.2.7. Schemat budowy 5-osiowego centrum tokarskiego sterowanego numerycznie

Dążenie do możliwie największej liczby powierzchni obrabianych z jednego zamocowania (tzw. obróbki kompletne) wprowadza głowice narzędziowe (rysunek 3.2.8) z narzędziami napędzanymi (np. przystawki kątowe i równoległe do narzędzi których ruch główny skrawania jest ruchem obrotowym) , w miejsca koników wrzeciona przechwytyjące (przeciwwrzeciona) czy też pochylane głowice narzędziowe.



Rysunek 3.2.8. Schemat budowy głowicy rewolwerowej z narzędziami napędzanymi

Wprowadzenie narzędzi napędzanych (napęd) tylko w pozycji pracy z bezstopniowo regulowanego silnika poprzez np. przekładnie pasowe zębate i sprzęgło czołowe) wymusza kontrolowanie położenia kąтового wrzeciona (indeksowanie, podział). Z uwagi na ułatwienie obsługi, dostęp do obszaru roboczego maszyny i automatyzację za- i wyładunku przedmiotu obrabianego, łoża tokarek i centrów tokarskich pochylone są pod kątem 45 do 60 stopni (rysunek 3.2.9)



Rysunek 3.2.9. Schemat konstrukcyjny łoża tokarek sterowanych numerycznie

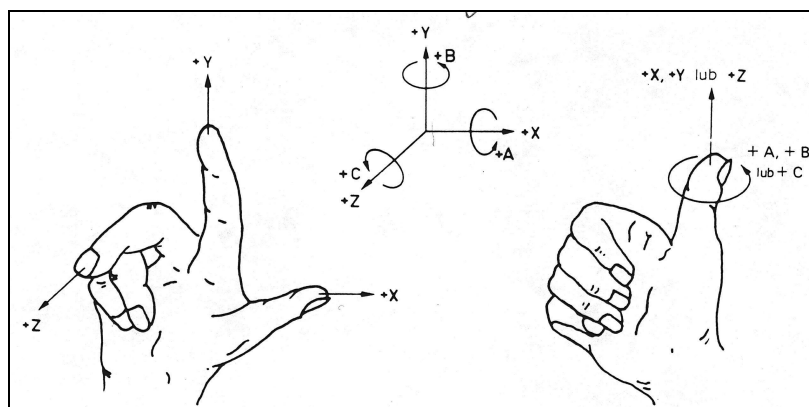
Coraz częściej w tokarkach i frezarkach stosuje się napędy bezpośrednie wrzecion a więc elektrowrzeciona (silniki elektryczne których wał jest wrzecionem).

Zarówno frezarki jak i tokarki wyposażone są w serwonapędy. Serwomechanizmem (zwanym też serwonapędem) nazywa się układ automatycznej regulacji nadążnej położenia (przemieszczenia). W obrabiarkach sterowanych numerycznie układ ten sterowany jest przez program i nie jest układem regulacji nadążnej.

3.3 Układy współrzędnych. Przestrzeń robocza

Proces obróbki dotyczy kształtowania narzędziem (lub narzędziami) powierzchni przedmiotu obrabianego, a zatem wzajemne relacje narzędzie – przedmiot obrabiany powinny być zapisane w odpowiednim u-

kładzie odniesienia. Przyjęto prostokątny (kartezjański) układ prawoskrętny XYZ wraz z obrotami wokół tychże osi, oznaczając je kolejno ABC (rysunek 3.3.1). Jest to więc układ o 6 stopniach swobody. Jednak w obrabiarkach sterowanych numerycznie nie można nigdy wykorzystać wszystkich 6-ciu osi, gdyż w takich warunkach obróbka byłaby niemożliwa ze względu na brak ustalenia (ustalenie jest to odebranie tych stopni swobody, które mają wpływ na wynik obróbki). Obrabiarki numeryczne mają maksymalnie 5 osi, zaś sterowania 6-cio osiowe są stosowane w robotyce.



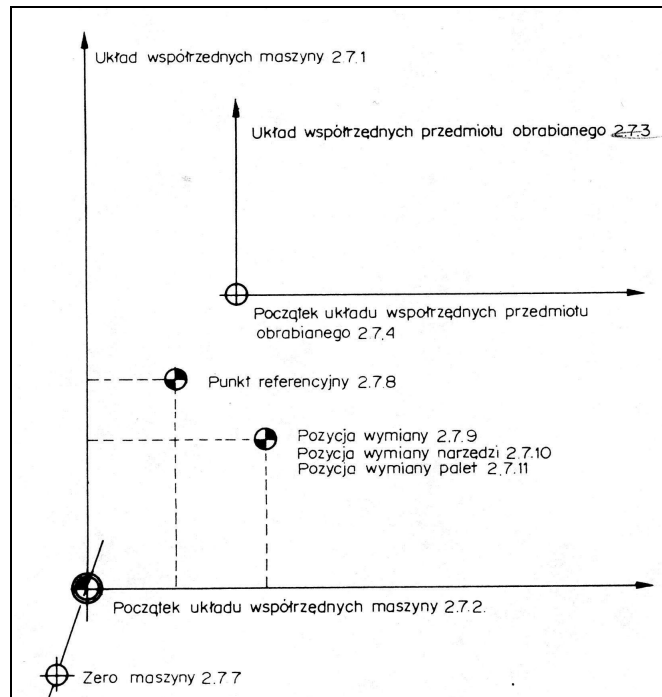
Rysunek 3.3.1. Prostokątny prawoskrętny układ osi współrzędnych

Spotyka się i to dość często obrabiarki nawet o kilkunastu osiach sterowanych. Są to jednak zwielokrotnione układy podstawowe, zwiększające jedynie możliwości technologiczne obrabiarek (np. obsługa więcej niż jednej głowicy rewolwerowej, przeciwwrzeciona).

Oś to kierunek, w którym roboczy zespół maszyny może wykonywać ruch liniowy lub obrotowy. Jeżeli w osi układu można zapisać wzajemny związek między narzędziem a przedmiotem obrabianym opisujący wpływ narzędzia na kształt obrabianej powierzchni, to taką oś można określić jako oś sterowaną (wielkość wektorowa – oś w rozumieniu sterowań numerycznych ma kierunek, zwrot i wartość). Mimo, iż prędkość skrawania (prędkość obwodowa v , m/min lub przeliczona na prędkość obrotową n , obr/min) i posuw (posuw na ząb, mm/ząb, posuw na obrót, mm/obr, posuw minutowy, mm/min) można programować i możliwe jest nastawienie dowolnej wartości (oczywiście z dostępnych w maszynie zakresów) to wielkości te nie należą do osi sterowanych. Są to parametry technologiczne (wielkości skalarne – mają jedynie wartość) decydujące o metodzie i czasie obróbki (o wydajności, kosztach, itd.) i nie mające wpływu na kształt powierzchni obrabianej.

Jeżeli w maszynie, oprócz zespołów przemieszczających się wzdłuż osi układu XYZ, występują inne zespoły wykonujące ruchy równoległe do kierunków osi układu podstawowego, to osie tych ruchów oznacza się jako **UVW** (np. w tokarce rewolwerowej, karuzelowej, czy kłowej z przeciwwrzcieniem czyli wrzecionem przechwytyującym).

Jeżeli w maszynie występują kolejne zespoły przemieszczające się równoległe do osi XYZ, to osie tych ruchów oznacza się jako **PQR** (np. w tokarce karuzelowej). Analogicznie, jeśli inne zespoły wykonują ruchy obrotowe zgodnie z kierunkami ruchów obrotowych określonych przez ABC w układzie XYZ, oznacza się je jako **DE**. W maszynach, których zespoły wykonują ruchy nierównoległe do osi XYZ, oznacza się je jako UVW lub PQR. Położenie układu XYZ ustala się w większości przypadków względem osi wrzeciona głównego, przyjmując iż oś Z jest do niej równoległa (np. w tokarkach, frezarkach lub wiertarkach). Tak więc w tokarkach oś Z pokrywa się z osią wrzeciona, a we frezarkach, czy centrach obróbkowych również z osią wrzeciona roboczego (dla pionowych centrów obróbkowych z pionową osią wrzeciona, dla poziomych centrów obróbkowych z poziomą osią wrzeciona).



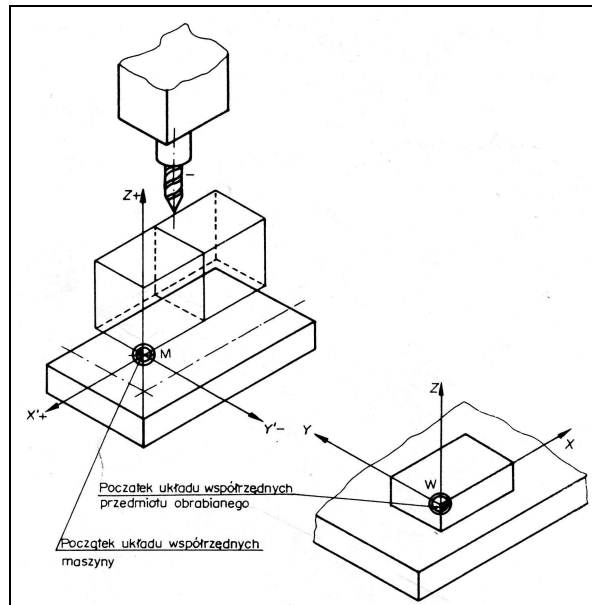
Rysunek 3.3.2. Punkty charakterystyczne obszaru roboczego /przestrzeni roboczej maszyny

ROZDZIAŁ 3

Oznaczenia osi zawsze odnoszą się do narzędzia, dla przedmiotu obrabianego przyjmuje się takie same oznaczenia ze znakiem „prim” (np. X', C').

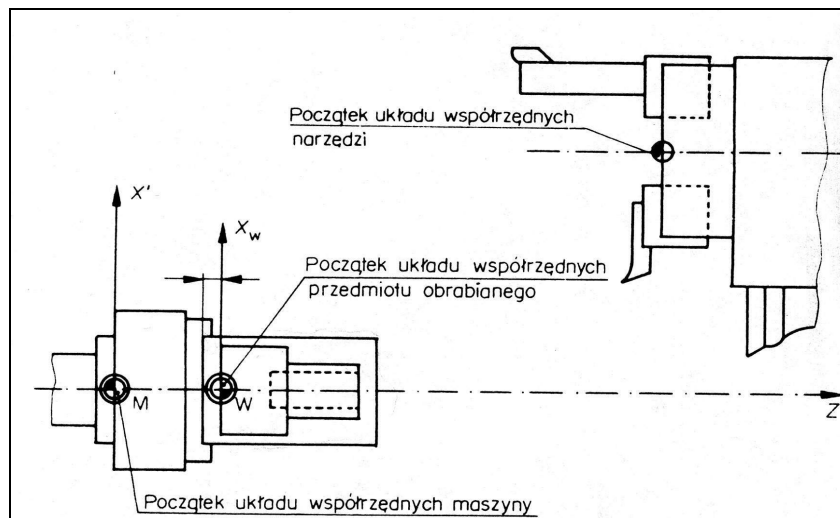
Maszyna, ma obszar roboczy lub przestrzeń roboczą którą określają punkty charakterystyczne i związane z nimi układy współrzędnych (rysunek 3.3.2):

- układ współrzędnych maszyny związany z maszyną, z odniesieniem do zera maszyny, jako punktu na maszynie ustalonego przez producenta;
- układ współrzędnych przedmiotu obrabianego związany z punktem początkowym układu współrzędnych przedmiotu obrabianego;
- układ współrzędnych narzędzi związany z systemem narzędziowym maszyny, z odniesieniem do punktu początkowego układu współrzędnych narzędzi;
- punkt referencyjny (bazowy), ustalony (przez producenta) punkt na osi określony w odniesieniu do początku układu współrzędnych maszyny i stosowany jako miejsce do bazowania.;
- pozycja wymiany narzędzi, ustalony punkt na osi, który jest określony w odniesieniu do początku układu współrzędnych maszyny i stosowany jako miejsce wymiany narzędzi.
- Punkt początkowy układu współrzędnych maszyny i punkt referencyjny określają obszar roboczy np. frezarki (rysunek 3.3.3) lub przestrzeń roboczą np. tokarki (rysunek 3.3.4).



Rysunek 3.3.3. Przestrzeń robocza frezarki/pionowego centrum obróbkowego

Punkt początkowy układu współrzędnych maszyny przyjmowany jest w takich miejscach konstrukcji maszyny, które są np. bazą oprzyrządowania technologicznego (np. czoła wrzecion tokarek) i nie ulegają zmianie w trakcie eksploatacji maszyny.



Rysunek 3.3.4. Przestrzeń robocza tokarki/centrum tokarskiego

3.4. Rodzaje pracy maszyny

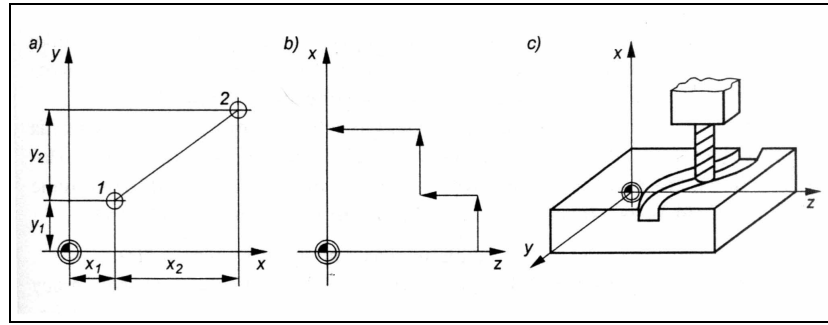
Rodzaj pracy obrabiarki wynika ze sposobu sterowania numerycznego jej pracą. Rozróżnia się sterowanie:

- punktowe, w którym przemieszczenia od punktu do punktu nie są wzajemnie powiązane i mogą być wykonywane w różnych osiach jednocześnie lub kolejno, z prędkościami nie określonymi przez dane wejściowe (rysunek 3.4.1.a);
- odcinkowe, w którym przemieszczenia w różnych osiach wzajemnie nie powiązane mogą odbywać się tylko odcinkami równoległymi do osi układu (rysunek 3.4.1.b), z prędkościami określonymi w programie;
- kształtowe, w którym dwa lub więcej ruchów (posuw w wielu osiach jednocześnie) wykonywanych z zaprogramowaną prędkością określają zadaną i następną zaprogramowaną pozycję. Stosunek prędkości tych ruchów w czasie ich realizacji jest zmienny by otrzymać żądany kształt (rysunek 3.4.1.c).

Sterowanie kształtowe umożliwia odwzorowanie dowolnej krzywej na płaszczyźnie (sterowanie 2D) albo w przestrzeni (sterowanie 3D).

Odmianą sterowania kształtowego jest sterowanie 2¹/2D (dwa i półosiowe), które oznacza to, że po zatrzymaniu ruchu wzdłuż dowolnej krzywej w płaszczyźnie interpolacji (w płaszczyźnie, po której odbywa się ruch roboczy), następuje przyrostowe przemieszczenie w trzeciej osi i ponowne uruchomienie interpolacji.

Sterowania odcinkowe to np. toczenie wału wielostopniowego (powierzchnie walcowe i czołowe) a więc nie można obrabiać powierzchni stożkowych. Dopiero sterowanie kształtowe 2D umożliwia obróbkę części osiowo-symetrycznej o dowolnym kształcie. Sterowanie dwu i półosiowe (i więcej) charakterystyczne jest dla frezarek. W sterowanie kształtowe 3D wyposażone są 5-osiowe frezarki stosowane m.inn. w przemyśle motoryzacyjnym (obróbka tłoczników) i lotniczym (łopatki turbin). Sterowanie punktowe to np. sterowanie wiertarkami, zgrzewarkami, itd.



Rysunek 3.4.1. Rodzaje pracy maszyny: a) sterowanie punktowe, b) sterowanie odcinkowe, c) sterowanie kształtowe

3.5. Interpolacje

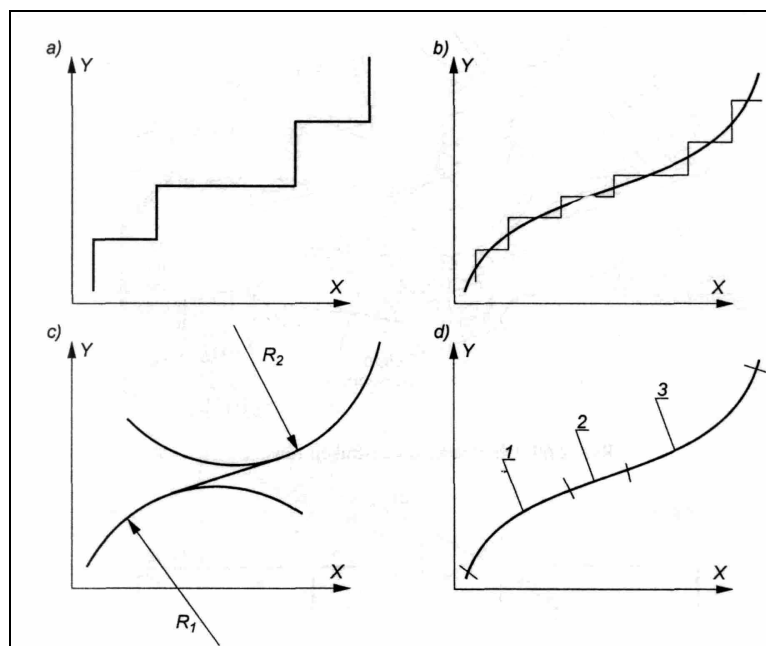
Tor narzędzia na maszynach sterowanych numerycznie można realizować poprzez określenie punktów pośrednich między punktami na wyznaczonym torze lub zarysie wg funkcji matematycznej (rysunek 3.5.1). Rozróżnia się interpolację

- liniową
- kołową
- funkcją wyższego rzędu np. krzywa B-sklejana

Interpolacja liniowa oznacza, iż tor narzędzia złożony jest z odcinków (rysunek 3.5.1.a,b). Wykorzystując interpolację liniową możliwe jest prowadzenie obróbki konturów nieprostoliniowych (łuków, promieni zaokrąglenia, itd.), oczywiście z pewnym błędem wynikającym z przyjętej dokładności interpolacji.

Interpolacja kołowa to zastępowanie krzywoliniowego konturu fragmentami okręgów o określonych promieniach i znanych punktach zawieszenia tych promieni (rysunek 3.5.1.c).

Interpolacja funkcją wyższego rzędu, najczęściej krzywą B-sklejaną (B-spline), to zastąpienie funkcją wyższego rzędu (łukami wielomianowymi stopnia n) obrabianego konturu (rysunek 3.5.1.d).



Rysunek 3.5.1. Interpolacja: a,b) liniowa, c) kołowa, d) splajnowa

Każda z tych interpolacji jest możliwa do realizacji, jeśli sterownik maszyny ma odpowiedni interpolator. W zasadzie każda współczesna maszyna sterowana numerycznie ma interpolator liniowy i kołowy. Nowością są układy, które mają dodatkowo interpolatory funkcjami wyższego rzędu (splajnowe). Interpolatory splajnowe to niejako przeniesienie w sferę wytwarzania modelowania opartego o krzywe B-sklejane czy też powierzchnie B-sklejane (NURBS).

4

Wprowadzenie do programowania

W tym rozdziale:

- programowanie
- budowa obrabiarek sterowanych numerycznie
- układy współrzędnych, przestrzeń robocza
- rodzaje pracy maszyny
- interpolacje
- programowanie konturowe
- programowanie parametryczne
- programowanie ręczne i komputerowe

4.1. Programowanie

W terminologii dotyczącej sterowania numerycznego maszyn występuje parę definicji programu. Powszechnie przyjęto, że jest to źródłowy program operacji technologicznej, jako uporządkowany zbiór instrukcji programowych (zapisanych w wymaganym formacie języka) do wywołania działań, które będą wykonywane w sposób automatyczny.

Program ten może być przygotowany w formie programu operacji technologicznej (POT), albo w formie danych wejściowych, jako zakodowanych informacji wprowadzanych do układu sterowania za pomocą nośników informacji (np. taśma perforowana, dyskietka, przenośna pamięć, itd.).

Źródłowy program operacji technologicznej może być poprzedzony kartą programu. Jest to lista kolejnych czynności potrzebnych do wykonania przedmiotu, czyli kolejność przejść narzędzia, zabiegów. Czyli jest to plan obróbki przedmiotu opisany w karcie instrukcji obróbki skrawaniem. Karta ta jest częścią dokumentacji technologicznej, stanowi załącznik do karty technologicznej.

4.2. Program operacji technologicznej

Program operacji technologicznej to zapisany na odpowiednim nośniku uporządkowany zbiór instrukcji w języku i w formacie wymaganym przez układ sterowania automatycznego w celu wykonywania ustalonych działań.

Program składa się z bloków zawierających informacje do wykonania jednej czynności. Informacje o wykonaniu tej czynności zapisane są w słowach. Słowa zaś składają się z adresu (litera – np. funkcja G lub oznaczenie osi X, Y, Z, itd.) i wartości (np. 115.5) lub kodu (liczby np. 01, 02, 54).

Wśród funkcji nazywanych funkcjami maszynowymi wyróżnia się:

- funkcje przygotowawcze G, jako polecenia, które ustalają sposób pracy maszyny jak np. wymiarowanie przyrostowe, interpolacja kołowa, wykonywanie gwintu, cykl stały, itd.

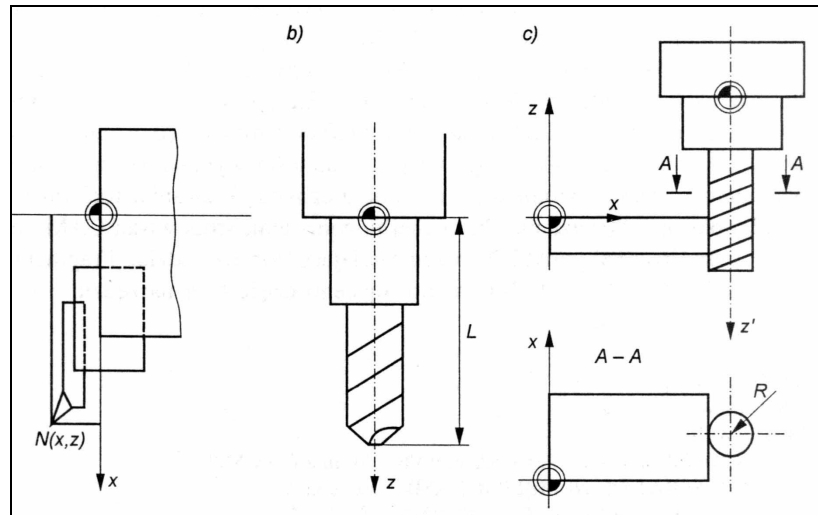
- funkcje pomocnicze M, które sterują funkcjami dwustanowymi maszyny np. włącz obroty wrzeciona w prawo, włącz chłodziwo, wyłącz obroty wrzeciona, wyłącz chłodziwo, itd.
- funkcje narzędzia T, które wywołują narzędzie, czyli ustawiają narzędzie w pozycji pracy,
- funkcje posuwu F, określające prędkość posuwu roboczego
- funkcje prędkości wrzeciona S, określające prędkość ruchu obrotowego wrzeciona.

Oprócz słów zawierających funkcje maszynowe które, jak opisano wyżej ustalają sposób pracy maszyny, w bloku występują współrzędne punktów w poszczególnych osiach osiągnane przez zespoły maszyny.

4.3. Korekcja narzędzia

Program operacji technologicznej (POT) zawiera funkcje wywołujące narzędzie, które związane są zawsze z korekcją narzędzia. Program pisany jest zawsze stałym punktem narzędzia tj. punktem początku układu współrzędnych narzędzi, zatem by prowadzić narzędzie (punkt charakterystyczny narzędzia np. wierzchołek noża tokarskiego, wierzchołek wiertła, itd.) po programowanym konturze przedmiotu, należy przywołać:

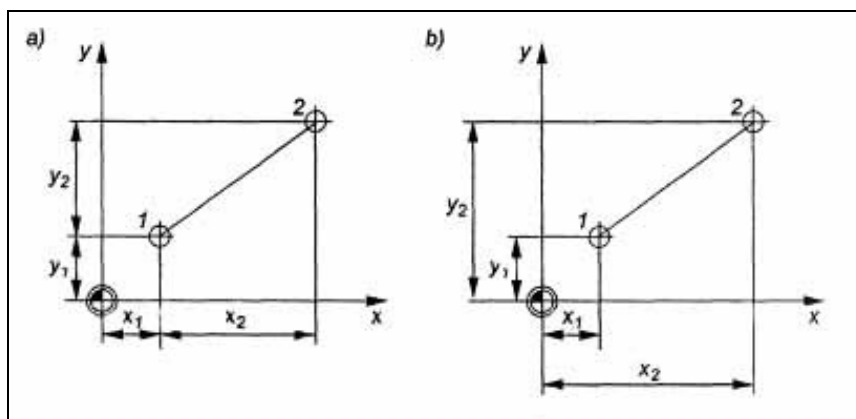
- korekcje narzędzia, jako przemieszczenia korygujące w określonej osi maszyny i w kierunku określonym przez znak korekcji (rysunek 4.3.1.a),
- korekcje długości narzędzia działającą w kierunku osi narzędzia (rysunek 4.3.1.b)
- korekcję promienia narzędzia odnoszącą się do narzędzi obrotowych, gdzie przemieszczenia korekcyjne w dwóch osiach mają tę samą wartość (np. frezy palcowe rysunek 4.3.1.c.).



Rysunek 4.3.1. Korekcje narzędzia: a) współrzędnych wierzchołka, b) długości, c) promienia

4.4. Programowanie absolutne i przyrostowe

W ślad za wymiarowaniem absolutnym (bezwzględnym) jeśli w programie słowa będą zawierać takie wymiary, oznacza to programowanie bezwzględne (rysunek 4.4.1.b). Słowa zawierające informacje o wymiarach przyrostowych oznaczają programowanie przyrostowe (rysunek 4.4.1.a). Programowanie bezwzględne i przyrostowe może być stosowane naprzemiennie w programie operacji technologicznej bez żadnych ograniczeń.



Rysunek 4.4.1. Programowanie (wymiarowanie) a) przyrostowe, b) absolutne

4.5. Programowanie konturowe i parametryczne

Programowaniem konturowym nazywa się taki sposób programowania gdy program operacji technologicznej jest zapisany adresowanymi współrzędnymi przedmiotu obrabianego i obróbka przedmiotu podobnego, różniącego się choćby jednym wymiarem, wymaga napisania kolejnego oddzielnego programu. Wykorzystuje się je dość często w praktyce warsztatowej zwłaszcza dla nieskomplikowanych kształtów przedmiotu obrabianego.

Programowaniem parametrycznym nazywa się taki sposób zapisu programu w którym współrzędne punktów konturu przedmiotu zostaną zapisane w funkcji przyjętego parametru lub parametrów, a realizacja obróbki rodziny części konstrukcyjnie i technologicznie podobnych wiąże się z wczytaniem nowych danych wejściowych.

W programowaniu parametrycznym wartości liczbowe reprezentujące dane geometryczne, technologiczne i numery funkcji mogą być zastąpione zmiennymi parametrami. Parametr oznacza się literą R i wyróżnikiem w postaci dwucyfrowej liczby.

Parametryzuje się wszystkie wyrażenia liczbowe i funkcyjne za wyjątkiem argumentu słowa N (numer bloku) i argumentu słowa H (skok).

ROZDZIAŁ 4

W jednym programie można wykorzystać do stu parametrów od R00 do R99.

Słowa mogą przyjmować postać złożonych wyrażeń arytmetycznych i funkcji, których argumentami i składnikami są liczby i zmienne parametry Rxx.

Operacje arytmetyczne możliwe do wykonania podano niżej:

- dodawanie	$R3=R1+R2$	$R3=R3+R1$
- odejmowanie	$R3=R1- R2$	$R3=R3 -R1$
- mnożenie	$R3=R1*R2$	$R3=R3*R1$
- dzielenie	$R3=R2/R1$	
- podstawianie	$R3=R2$ lub $R3=123.123$	
- zmiana znaku	$R1= -R1$	

przy czym składnikami mogą być wyrażenia arytmetyczne zawierające funkcje nie tylko trygonometryczne. Przykładowy zapis parametryczny w bloku programu pokazano niżej:

```
N10 R1=15 R2=R1+30 R3=R1+R2
.....
N80 G1 XR1 YR2 F400
.....
N150 G1 X-R1 YR3
N160 Z-R3
```

Programista ma do dyspozycji, jak już wspomniano, między innymi funkcje:

pierwiastek kwadratowy	@1 R1	lub	SQRT R1
sinus	@2 R2	lub	SIN R2
cosinus	@3 R2	lub	COS R2
tangens	@4 R4	lub	TAN R2
logarytm dziesiętny	@5 R3	lub	LOG R3
logarytm naturalny	@6 R3	lub	LN R3
funkcja wykładnicza	@7 R4	lub	EXP R4
.....			
arcus sinus	@9 R5	lub	ASIN R5
.....			
wartość bezwzględna	@14 R6	lub	FABS R6
.....			
Liczba „PI”	@0	lub	PI

Programowanie parametryczne umożliwia obliczanie wartości wyrażeń arytmetycznych:

$$N20 R80=R87 - R86 + R85 *R84/R83 -R82$$

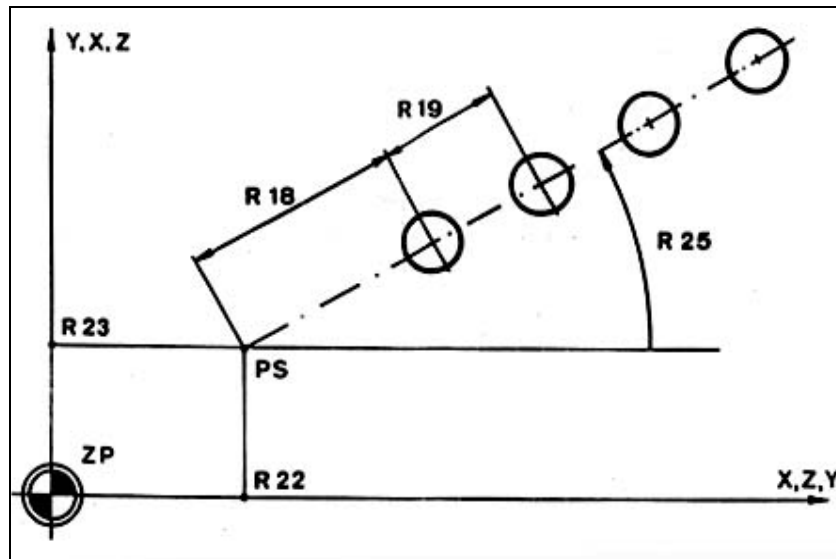
Powyższemu zapisowi jest równoważny następujący zapis:

$$N20 R80=R87 - R86 + (R85 *R84/R83) -R82$$

A oto inny przykład zapisu parametrycznego np. dla interpolacji kołowej:

$$N30 G3 XR21+R23*\text{COS}(R15+2*\text{ASIN}(R14/(2*R17))) \\ YR25+R26*\text{SIN}(R15+2*\text{ASIN}(R14/(2*R17))) UR27$$

Programowanie parametryczne ułatwia tworzenie makrocykli, gdzie poprzez zadanie wartości parametrom możliwe jest wykonanie zmiennej liczby operacji obróbkowych. Przykład sparametryzowania danych i wywołania makrocyklu (rysunek 4.5.1) przedstawiono niżej.



Rysunek 4.5.1. Makrocykl wiercenia otworów

Parametry:

R22 – współrzędna pozioma punktu PS (wymiarowanie absolutne),

R23 - współrzędna pozioma punktu PS (wymiarowanie. absolutne),

ROZDZIAŁ 4

R18 - odległość pierwszego otworu od punktu PS (współrzędna bez znaku),
R19 - odległość między otworami (współrzędna bez znaku),
R25 - kąt nachylenia prostej do osi poziomej w stopniach i dziesiątych częściach stopnia. Znak kąta (+) zgodnie ze skrętnością układu lub (-) jeśli przeciwnie,
R27 – liczba otworów,
R28 – numer cyklu stałego.

Wywołanie makrocyklu przedstawia się następująco:

.....
N50 R22=45 R23=50 R18=60 R19=25 R25=30 R27=5
N60 R28=81 F100 S1200
N70 L906P1 (*P1 – liczba powtórzeń wykonania makrocyklu*)
.....

Programowanie parametryczne wiąże się też z parametrycznym zapisem procesu modelowania realizowanego w środowiskach systemów CAD a dalej wykorzystania tego zapisu przy generowaniu trajektorii ruchu narzędzia w środowiskach systemów CAM.

Niezależnie od sposobu programowania (konturowo lub parametrycznie) wykorzystuje się często w programie skoki. Instrukcje skoku bezwarunkowego zapisuje się w postaci:

H0 lub HU nr bloku poprzedzony znakiem + (skok w dół programu)
lub – (skok w górę programu).

Przykład skoku w dół programu:

N10
.....
N90.....
N100 H0+400
N110.....
.....
N390.....
N400.....
i w górę programu:

N10
.....
N40.....
.....

N100 H0-40
N110.....
.....
N390.....
N400.....
.....

Przy programowaniu parametrycznym często korzysta się ze skoków warunkowych:

H1 lub HE - skok przy spełnionym warunku $R1=R2$
H2 lub HGE - skok przy spełnionym warunku $R1 \geq R2$
H3 lub HG - skok przy spełnionym warunku $R1 > R2$
H4 lub HLE - skok przy spełnionym warunku $R1 \leq R2$
H5 lub HL - skok przy spełnionym warunku $R1 < R2$
H6 lub HNE - skok przy spełnionym warunku $R1 \neq R2$

Przykłady skoków warunkowych:

H1 + 1220 = $R1 = R2$

Jeśli spełniony jest warunek równości parametrów $R1$ i $R2$, następuje skok w dół programu do bloku o numerze 1220.

H3 - 100 = $R1 > R2$

Jeśli parametr $R1$ jest większy od parametru $R2$, to następuje skok w górę programu (wstecz) do bloku o numerze 100.

HL + 1000 = $R1 < R2$

Jeśli parametr $R1$ jest mniejszy od parametru $R2$, to następuje skok w dół programu do bloku o numerze 1000.

4.6. Programowanie ręczne i komputerowe

Program operacji technologicznej może być opracowany ręcznie. Czynność ta określana jest jako programowanie ręczne. Jeśli do opracowania programu używamy komputera, jako narzędzia do zapisu (np. w trybie edycji) poleceń języka by później dokonać również na komputerze symulacji obróbki, to taki sposób programowania jest również programowaniem ręcznym.

ROZDZIAŁ 4

Programowanie komputerowe wiąże się z komputerowym przetwarzaniem źródłowego programu operacji technologicznej na program operacji technologicznej. Programowanie komputerowe jest podstawową czynnością programów komputerowego wspomaganie wytwarzania CAM.

Po zdefiniowaniu między innymi rodzaju pracy maszyny, narzędzia z oprawką, dokładności wykonania, sposobu ustalenia i zamocowania, parametrów technologicznych skrawania, rodzaju i sposobu obróbki oraz wskazaniu obrabianej powierzchni i początku układu współrzędnych przedmiotu obrabianego, środowiska CAM generują dane (współrzędne punktów) przedstawiające tor narzędzia.

5

Programowanie tokarek

W tym rozdziale:

- wprowadzenie do tokarek i centrów tokarskich CNC
- układy osi tokarek i centrów tokarskich
- przestrzeń robocza
- punkt referencyjny
- korekcja narzędzi
- narzędzia oprawkowe i imakowe
- dobór noży tokarskich
- dobór parametrów skrawania

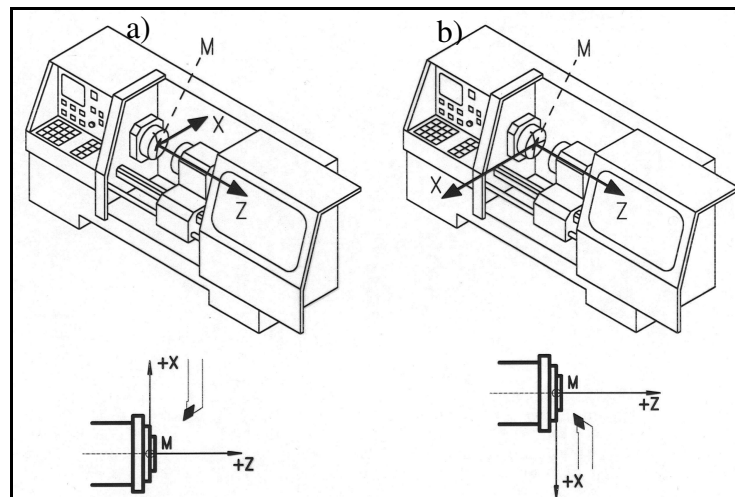
5.1. Wprowadzenie do tokarek CNC

Tokarki jako maszyny technologiczne wyposażone w sterowniki CNC realizują typowe zabiegi toczenia. Koncentracja technologiczna (obróbka wielu powierzchni jednocześnie) zmierzająca do skrócenia czasu obróbki wprowadziła do tokarek narzędzia obrotowe (napędzane) pozwalające prowadzić inne niż typowe zabiegi charakterystyczne dla tokarek a mianowicie: wiercenie, rozwiercanie, gwintowanie mimośrodowe i poprzeczne, a także frezowanie. Tego typu maszyny technologiczne nazywane są centrami tokarskimi. Są to zatem obrabiarki wielozabiegowe, w których może być zamontowanych więcej niż jedna głowica rewolwerowa oraz przeciwwrzeciono (wrzeciono przechwytyujące). Oprócz najczęściej spotykanych tokarek i centrów tokarskich o poziomej osi wrzeciona, występują także tokarki o pionowej osi wrzeciona. Te ostatnie z reguły przeznaczone są do obróbki przedmiotów ciężkich i o dużych gabarytach. Typowymi przedstawicielami tokarek o pionowej osi wrzeciona są tokarki karuzelowe. Równie często spotykane w obróbce przedmiotów o dużych gabarytach i ciężarze tokarki uchwytowe występują z poziomą jak i pionową osią wrzeciona. Tokarki z pionową osią wrzeciona stosowane są również do obróbki przedmiotów o małych gabarytach, jednakże głównie z uwagi na łatwość automatyzacji za- i wyładunku. Tam, gdzie ograniczeniem może być powierzchnia zajmowana przez maszynę, preferowane będą tokarki o pionowej osi wrzeciona. Tokarki te budowane są z jednym lub więcej (nawet trzema) wrzecionami. Oczywiście, tak jak tokarki o poziomej osi wrzeciona, tokarki pionowe wyposażane są w jedną i więcej (nawet trzy) głowic rewolwerowych.

Tokarki i centra tokarskie CNC mają z reguły budowę modułową. Modułowość wiąże się z dostosowaniem maszyny do potrzeb użytkownika a więc realizacji określonych zadań technologicznych dla danej klasy części np. wały maszynowe, tuleje z kołnierzem, tarcze, itd. Tak więc tokarki kłowe i uchwytowe mogą być budowane na bazie tych samych korpusów, mogą być wyposażane w tego samego typu głowice, takie same napędy wrzecion i suportów, koniki, itp., jednakże ich konfiguracja zależy głównie od przewidywanych zadań technologicznych.

5.2. Układ osi tokarek i centrów tokarskich

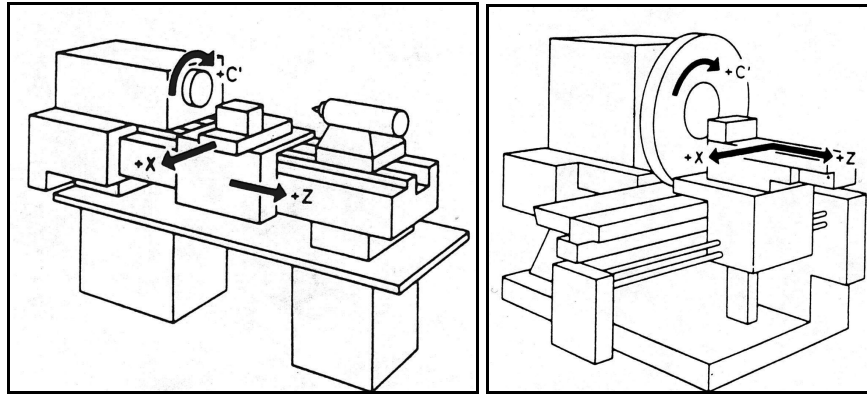
Przyjmując zasadę iż oś Z prawoskrętnego układu XYZ jest równoległa do osi wrzeciona głównego, w tokarkach i centrach tokarskich pokrywa się ona z osią wrzeciona roboczego. Zatem osie X i Y znajdują się w płaszczyźnie czołowej wrzeciona roboczego. Toczenie, to obróbka części osiowo-symetrycznych, tak więc do zdefiniowania trajektorii ruchu narzędzia wystarczy tylko jedna płaszczyzna interpolacji np. XZ (rysunek 5.2.1).



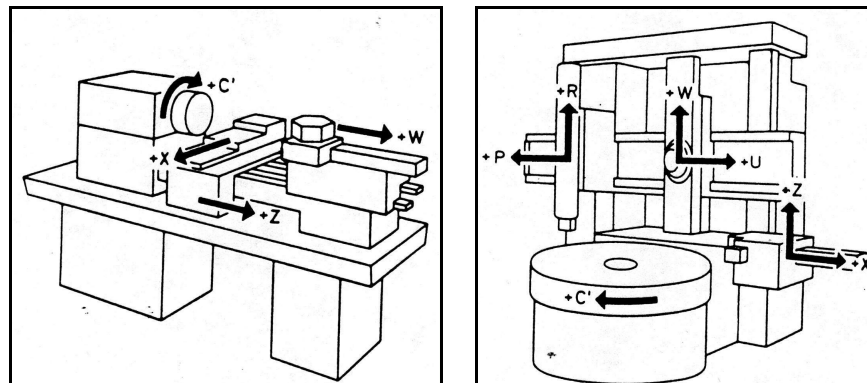
Rysunek 5.2.1. Układ osi tokarki a) „od operatora”, b) „na operatora”

Zwrot osi X może być zdefiniowany „na” lub „od” operatora. Zależy to od ustaleń z przyszłym użytkownikiem, m. inn. od tego, czy wygodniej jest przyjąć dany zwrot osi z uwagi na współpracę z urządzeniami załadowczo-wyładowczymi, obsługę głowic rewolwerowych, wygody bądź przyzwyczajenia operatora. Pamiętać należy, iż zwrot osi X wiąże się również z wyborem noży prawych (np. w dolnych głowicach rewolwerowych) bądź lewych w górnych głowicach rewolwerowych i przyjęciu stosownego kierunku obrotów wrzeciona. Zgodnie z normą PN-ISO przyjęto układ XZ jako układ podstawowy, rezerwując niejako oś Y do wykorzystania w odniesieniu do zmieniających położenie kątowne głowic rewolwerowych. Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, jeśli w maszynie oprócz zespołów przemieszczających się w osiach układu XYZ, występują inne zespoły wykonujące ruchy równoległe do kierunków osi

układu podstawowego, to osie tych ruchów oznacza się jako UVW np. tokarka rewolwerowa, tokarka karuzelowa (rysunek 5.2.2).



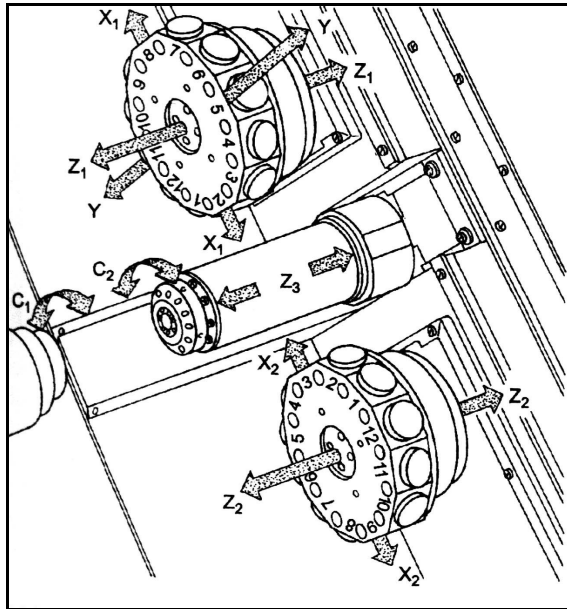
Rysunek 5.2.2. Układ osi tokarki kłowej (z lewej) i tarczowej (z prawej)



Rysunek 5.2.3. Układ osi tokarki rewolwerowej (z lewej) i karuzelowej (z prawej)

Głowica rewolwerowa tokarki przemieszcza się równoległe do osi Z układu podstawowego (oś Z związana jest z ruchem suportu wzdłużnego) i koniecznym jest określenie jej położenia w przestrzeni roboczej, wiążąc ją z osią W. Analogiczne rozumowanie należy przeprowadzić w przypadku tokarki karuzelowej. Istnieje zawsze układ podstawowy XZ związany z pierwszym suportem. Kolejne suporty, w jakie może być wyposażona tokarka karuzelowa muszą mieć swoje osie określające ich położenie w przestrzeni roboczej. Tak więc, przypisuje się kolejnym suportom, zgodnie z wcześniejszą regułą, osie oznaczone jako UW i PR (brak osi V i Q analogicznie jak osi Y w układzie podstawowym – rysunek 5.2.2).

W tokarskich centrach obróbkowych zazwyczaj wyposażanych w przeciwwrzeciono, oś przeciwwrzeciona winna być związana z osią W, zaś np. oś głowicy kolejnymi trzema literami alfabetu np. PQR. W praktyce, producenci maszyn oznaczają kolejne osie literami układu podstawowego z indeksami np. $X_1Y_1Z_1$, $X_2Y_2Z_2$, C_1 , C_2 , itd. Układ osi centrum tokarskiego (z osią Y) niemieckiej firmy Traub pokazano na rysunku 5.2.4.

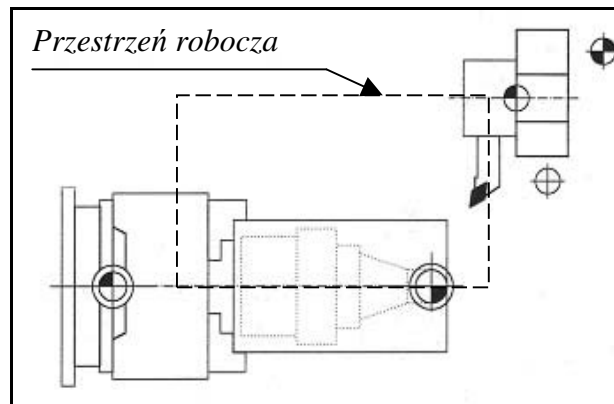


Rysunek 5.2.4. Układ osi centrum tokarskiego f-my Traub

5.3. Przestrzeń robocza

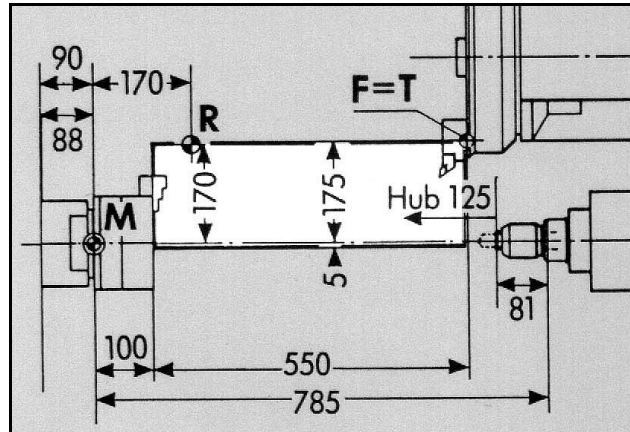
Przestrzeń roboczą maszyny charakteryzują wymiary i jej ukształtowanie. Wymiary przestrzeni roboczej to jedne z ważniejszych wymiarów maszyny. Nie równają się one maksymalnym przemieszczeniom zespołów roboczych w poszczególnych osiach z uwagi na jej ograniczenie przez elementy oprzyrządowania i konstrukcyjne maszyny (rysunek 5.3.1.). Przestrzeń robocza tokarki/centrum tokarskiego winna być ukształtowana tak, by zapewnić bezkolizyjne i swobodne przemieszczanie zespołów roboczych. Ukształtowanie przestrzeni roboczej powinno umożliwiać łatwy dostęp do wrzeciona (wrzecion) w celu wymiany oprzyrządowania technologicznego. Takie samo wymaganie odnosi się

do uzbrajania głowic rewolwerowych w oprawki i narzędzia. Łatwy dostęp, to nieutrudnione uzbrajanie ręczne czy też automatyczne. Zwłaszcza przy automatycznym uzbrajaniu konieczny jest łatwy, bezkolizyjny dostęp manipulatorom (łapom) do gniazd głowic.



Rysunek 5.3.1 Przestrzeń robocza tokarki

Podobne wymagania dotyczą za- i wyładunku przedmiotu obrabianego prowadzonego ręcznie czy też przy udziale robotów, manipulatorów lub innych urządzeń załadowczo-wyładowczych. Przykład przestrzeni roboczej (białe pole) tokarki CNC przedstawiono na rysunku 5.3.2. Początek układu współrzędnych maszyny (punkt M) jest poza obszarem roboczym tokarki. Wymiar 550 mm oznacza maksymalną wielkość pola w osi Z, zaś maksymalne przemieszczenie w osi X wynosi 175 mm: 170 mm + 5 mm poza oś toczenia. Przejście poza oś jest konieczne przy planowaniu czoła bądź przecinaniu.



Rysunek 5.3.2 Przykładowe wymiary przestrzeni roboczej tokarki CNC

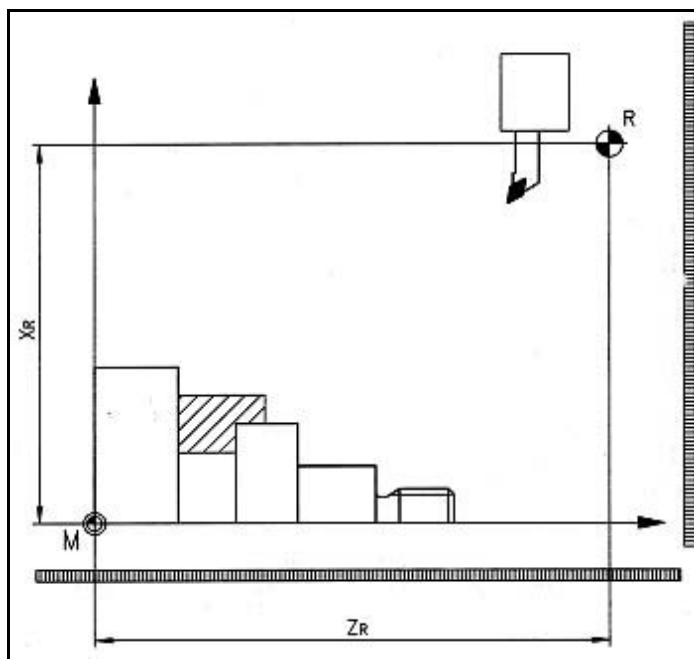
5.4. Punkt referencyjny

Punkt referencyjny (bazowy), to ustalony przez producenta punkt na osi, który określony jest w stosunku do początku układu współrzędnych maszyny i stosowany jako miejsce do bazowania (rysunek 5.4.1). Jest to szczególny punkt przestrzeni roboczej. Wyjaśnienie wymaga powiązania czynności bazowania z pracą układu pomiarowego maszyny. Dla łatwiejszego zrozumienia założono, że maszyna wyposażona jest w optyczne linały pomiarowe. Najogólniej mówiąc, linały optyczne to paski szklane o określonej długości, na których wytrawiono kreski co np. 0.001 mm. Wzdłuż linału przemieszcza się układ optyczny złożony ze źródła światła i po przeciwnej stronie z fotoelementu (fotodioda, fototranzystor, itd.). Przemieszczający się względem linału układ optyczny, generuje na wyjściu w miejscach wolnych od kreski, słabe impulsy napięciowe. Impulsy te są wzmacniane i formowane w postaci impulsów prostokątnych (strome zbocza impulsów), łatwo zliczalne przez sumatory. W każdej osi maszyny np. w skrajnych końcowych położeniach zespołu roboczego ustala się mikrołączniki połączone z wejściami logicznymi sterownika maszyny. Mikrołączniki znajdują się w znanym, ściśle określonym położeniu od początku układu współrzędnych maszyny. Jeśli w trybie pracy maszyny (ogólnie: "szukaj bazy") zostaje uruchomione przemieszczenie zespołu roboczego w wybranej osi (załączenie ręczne i trzymanie przycisku bądź załączenie i dalsze automatyczne przemieszczanie – opcje te zależą od oprogramowania sterownika), to ruch zespołu trwa do momentu „najechnania” na mikrołącznik. Wtedy na określonym wejściu pojawia się jedynka logiczna, co dla układu sterowania oznacza osiągnięcie punktu referencyjnego w danej osi. Jeśli w pamięci RAM sterownika wpisano informację, iż od kreski linału odpowiadającej położeniu mikrołącznika, punkt początku układu maszyny w tej osi odległy jest o 1000 mm (10^6 impulsów), to właśnie tam znajduje się zero maszyny. Na wyświetlaczu pojawi się dla danej osi informacja o położeniu zespołu roboczego od początku układu: 1000,000 mm. Jeśli zatem zostanie wydane polecenie przemieszczenia przyrostowego np. $Z = -153,25$ mm, to oznacza zliczenie w trakcie przesunięcia zespołu roboczego o 153250 impulsów (153 250 mikrometrów), zaś na ekranie zostanie wyświetlony wynik dopełniający $Z = 846,750$ mm ($1000,000 - 153,250$), wskazujący na położenie w danej osi zespołu roboczego. Analogicznie przebiega znajdowanie punktu referencyjnego w każdej z posiadanych osi (w tym obrotowych), analogicznie odbywa się wyznaczenie położenia zespołu roboczego. Czynności poszukiwania punktu referencyjnego mogą być prowadzone oddzielnie dla każdej osi lub dla wszystkich jednocześnie. W tym przypadku, pamiętać należy o urucho-

mieniu odpowiedniej kolejności poszukiwania bazy, zwłaszcza wtedy, gdy w przestrzeni roboczej znajduje się oprzyrządowanie i przedmiot obrabiany. Najbezpieczniej wtedy rozpocząć poszukiwanie bazy od osi X (ewentualne wycofanie noży na zewnątrz od przedmiotu obrabianego), potem Z.

Analogicznie przebiega poszukiwanie punktu referencyjnego (bazowego) jeśli w układzie pomiarowym znajdują się przetworniki obrotowo-impulsowe.

Poszukiwanie bazy, zwłaszcza przy dużych przestrzeniach roboczych i przy niedostatecznym smarowaniu prowadnic – początek zmiany roboczej, nierozgrzana maszyna, pierwsze chwile pracy układu smarowania – prowadzić może w efekcie do szybszego zużycia prowadnic, zwłaszcza, że często przemieszczane są zespoły robocze o znacznych masach. Stąd też wprowadzono kodowane punkty referencyjne rozmieszczone np. co 20 mm. Wystarczy zatem znaleźć najbliższy punkt w sposób analogiczny jak opisano wyżej, by zidentyfikować położenie zespołu roboczego w danej osi (przestrzeni roboczej).

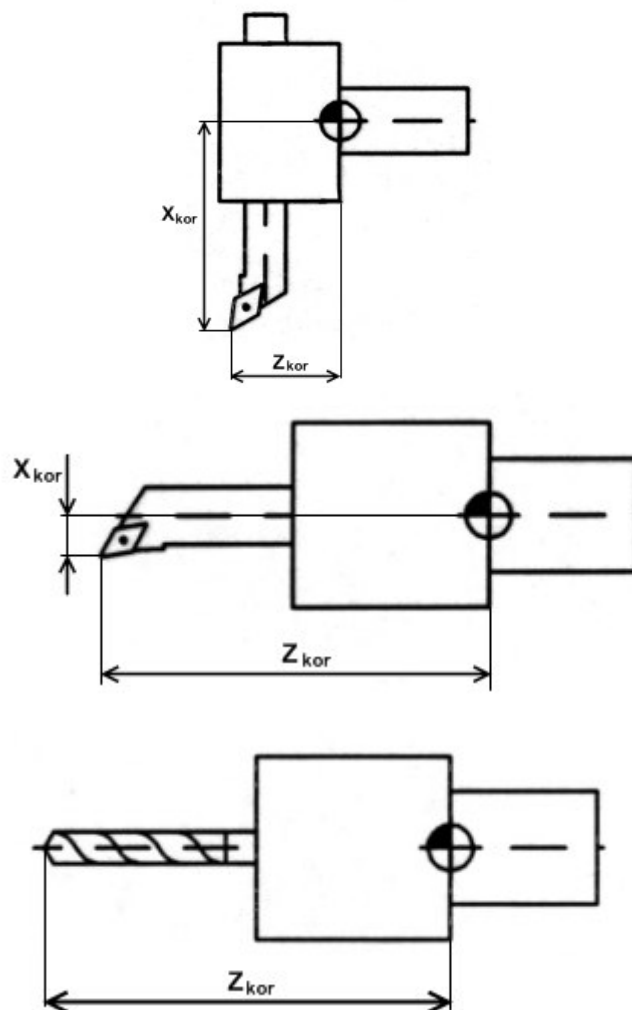


Rysunek 5.4.1. Poszukiwanie punktu referencyjnego (układ z liniami optycznymi)

Podsumowując, punkt referencyjny pozwala określić położenie początku układu współrzędnych maszyny (tzw. zera maszyny). Informacje jakie zostaną wyświetlone na ekranie mogą wskazywać na aktualne położenie zespołu roboczego (co oznacza zidentyfikowanie zera maszyny) lub też niekiedy wyświetlone zostają wartości zerowe, co oznacza, iż punkt referencyjny pokrywa się z początkiem układu współrzędnych maszyny.

5.5. Korekcja narzędzi

Programując ruch narzędzia po konturze przedmiotu obrabianego, opisuje się ruch punktu będącego początkiem układu współrzędnych narzędzia. Zatem wszystkie trajektorie narzędzia niezależnie od sposobu programowania opisują ruch stałego punktu – początku układu współrzędnych narzędzia. Punkt ten związany jest z konstrukcyjnymi elementami głowicy i imaków w których ustalane i mocowane są narzędzia, a dzisiaj najczęściej oprawki z narzędziami. Dla maszyn wyposażonych w głowice rewolwerowe, początek układu współrzędnych narzędzia leży na czole głowicy i osi otworu bazowego oprawki narzędziowej. Dla imaków nożowych, najczęściej na przedniej ścianie imaka a niekiedy na jego osi obrotu. Kształtowanie powierzchni przedmiotu odbywa się ostrzem narzędzia oddalonym od początku układu współrzędnych. Zatem punkt lub punkty charakterystyczne narzędzia położone są w pewnej odległości od początku układu. Odległości te określa się jako tzw. wielkości korekcyjne narzędzia (rysunek 5.5.1).



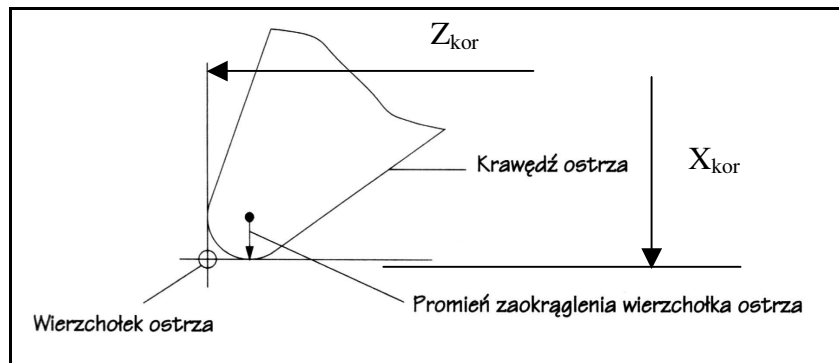
Rysunek 5.5.1. Wielkości korekcyjne narzędzi:
 a) noża do toczenia po powierzchniach zewnętrznych,
 b) wytaczaka, c) wiertła

Przyjęcie takiego rozwiązania oznacza, że wymiana narzędzi np. wskutek stępienia czy wręcz rodzaju narzędzia na inne nawet z różnymi wartościami korekcyjnymi, nie wymaga zmiany programu (współrzędnych) a jedynie wprowadzenia do odpowiednich rejestrów aktualnych wartości korekcyjnych. W praktyce, przyjmuje się ustawianie narzędzi na określone, niezmiennie dla danej obróbki wartości korekcyjne. Porządkuje to organizację procesu technologicznego i minimalizuje popełnienie błędów.

Do ustawiania i kontroli wartości korekcyjnych stosuje się najczęściej ustawiaki.

W praktyce przemysłowej niekiedy wykorzystuje się korekcję narzędzi do korygowania wymiarów obrabianych, zwłaszcza średnicowych. Sytuacja taka może mieć miejsce przy obróbce wymiarów tolerowanych w przypadku wymiany płytki bądź zmiany naroża płytki albo wymiany narzędzia razem z oprawką. Mimo, iż w tym ostatnim przypadku narzędzie zostało ustawione za pomocą ustawiaka, to tuż po wymianie w celu zapewnienia prawidłowej obróbki wymiarowo-kształtowej, operator korzystając z korekcy narzędzia odsuwa je o kilka setnych bądź dziesiątych części milimetra. Po przetoczeniu i sprawdzeniu wymiaru, korzystając z korektorów wprowadza poprawki w ustawienie narzędzia. Korekcja narzędzia opisana w tym rozdziale odnosi się tylko do wymiarów liniowych określających położenie wierzchołka narzędzia. Nie dotyczy zaś korekcji promieniowej związanej z korygowaniem toru narzędzia, bo ta definiowana jest funkcjami przygotowawczymi najczęściej G40 do G44. Oddzielnego omówienia wymaga korekcja promienia.

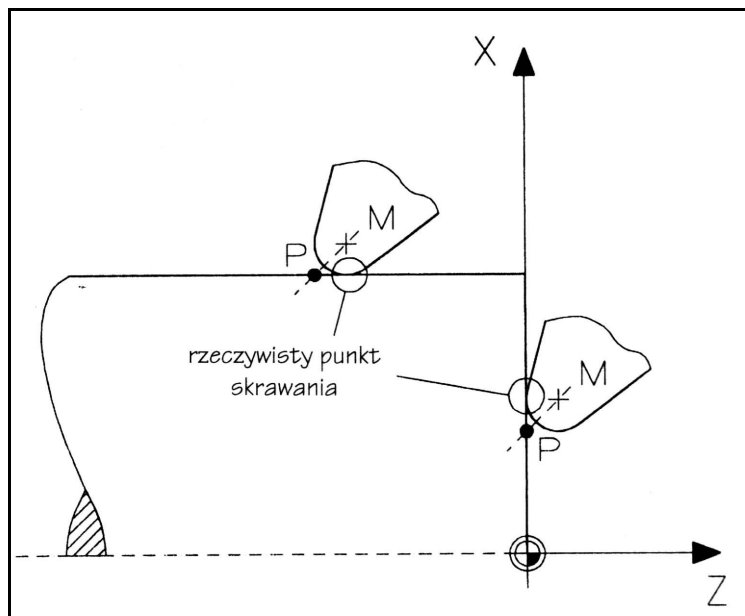
Krawędzie skrawające ostrza (rysunek 5.5.2) tworzące wierzchołek zawsze połączone są promieniem zaokrąglenia. Wynika on ze względów technologicznych w procesie wytwarzania narzędzi (wkładek) a także ze względu na proces skrawania i zużycie narzędzia. Ustalanie wartości korekcyjnych to określanie odległości w każdej osi między styczną do promienia zaokrąglenia a początkiem układu współrzędnych narzędzia. Zatem w trakcie ruchu narzędzia np. w kierunku osi Z lub X, występuje rzeczywisty styk narzędzia z powierzchnią obrabianą będący na tej samej współrzędnej co punkt teoretyczny (rysunek 5.5.3.).



Rysunek 5.5.2. Promień zaokrąglenia ostrza

Tak dzieje się przy toczeniu w kierunkach równoległych do osi. Jeśli zaś narzędzie porusza się po łuku (np. toczenie promieni zaokrąglenia),

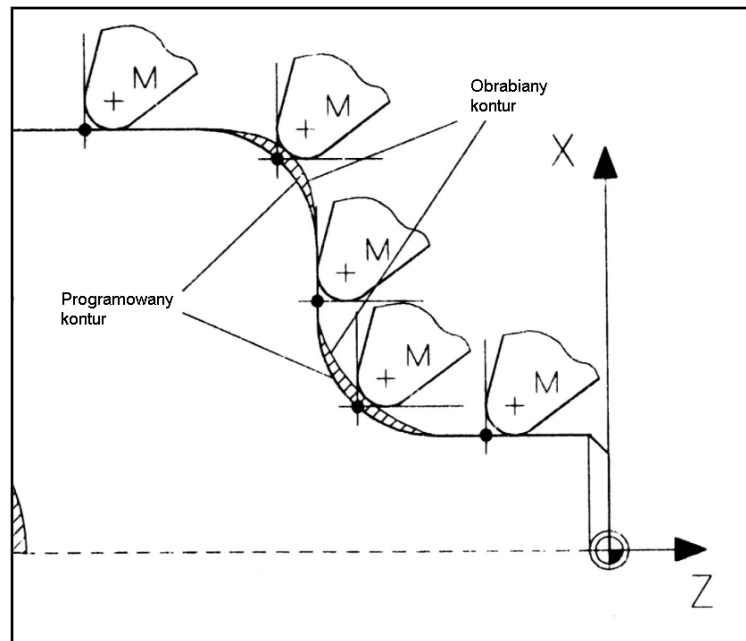
wtedy po innym torze porusza się zaprogramowany punkt teoretyczny a po innym punkt rzeczywisty. Powoduje to powstanie błędów wykonania (rysunek 5.5.4.), które są funkcją promienia zaokrąglenia: im większy promień zaokrąglenia wierzchołka noża, tym większy błąd wykonania. Sterowanie położeniem narzędzia uwzględniające korygowanie błędów wykonania przynależy jest funkcjom przygotowawczym G41 do G42 (czasami też do G44 – w zależności od rodzaju sterownika).



Rysunek 5.5.3. Teoretyczny i rzeczywisty punkt styku ostrza w zależności od kierunku skrawania

Na rysunek 5.5.4. widać różnicę między konturem zaprogramowanym po którym porusza się narzędzie punktem teoretycznym a rzeczywistym zarysem otrzymanym w trakcie tej obróbki. Tak więc obróbka z interpolacją kołową (w prawo czy też w lewo) zawsze spowoduje powstanie błędu wykonania. Przeciwdziałać temu niekorzystnemu zjawisku można przez przywołanie funkcji G41, która odsuwa trajektorię narzędzia w lewo od konturu (rysunek 5.5.5), zaś G42 w prawo od konturu (rysunek 5.5.4). Na rysunku 5.5.4. widać różnicę między konturem zaprogramowanym po którym porusza się narzędzie punktem teoretycznym a rzeczywistym zarysem otrzymanym w trakcie tej obróbki. Tak więc obróbka z interpolacją kołową (w prawo czy też w lewo) zawsze spowoduje powstanie błędu wykonania. Przeciwdziałać temu niekorzystnemu zjawisku można przez przywołanie funkcji G41, która odsuwa trajektorię narzędzia w lewo od konturu (rysunek 5.5.5), zaś G42 w prawo od kontu-

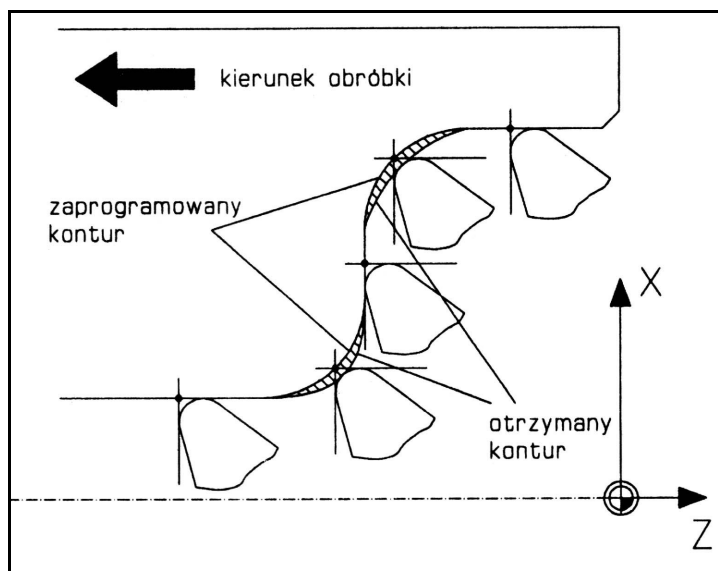
ru (rysunek 5.5.4). Łatwo zauważyć, iż korekcja promienia w lewo od konturu (G41) wystąpi dla toczenia powierzchni zewnętrznych nożami usytuowanymi przed osią toczenia a więc przednie imaki, dolne główce rewolwerowe.



Rysunek 5.5.4. Wpływ promienia zaokrąglenia na błąd wykonania konturu. Korekcja funkcją G42 (w prawo od konturu)

Korekcja promienia w prawo od konturu jest typową dla toczenia nożami położonymi poza osią toczenia, np. górne główce rewolwerowe. Analogiczne korekcje wystąpią przy obróbce otworów (wytaczanie). I tu również o zastosowaniu korekcji w lewo czy w prawo od konturu, decyduje położenie wytaczaka w stosunku do osi toczenia.

Łatwo zauważyć, iż korekcja promienia w lewo od konturu (G41) wystąpi dla toczenia powierzchni zewnętrznych nożami usytuowanymi przed osią toczenia a więc przednie imaki, dolne główce rewolwerowe. Korekcja promienia w prawo od konturu jest typową dla toczenia nożami położonymi poza osią toczenia, np. górne główce rewolwerowe. Analogiczne korekcje wystąpią przy obróbce otworów (wytaczanie). I tu również o zastosowaniu korekcji w lewo czy w prawo od konturu, decyduje położenie wytaczaka w stosunku do osi toczenia.



Rysunek 5.5.5. Błąd wykonania interpolacji kołowej i korekcja w lewo od konturu funkcją G41.

Łatwo zauważyć, iż korekcja promienia w lewo od konturu (G41) wystąpi dla toczenia powierzchni zewnętrznych nożami usytuowanymi przed osią toczenia a więc przednie imaki, dolne główce rewolwerowe. Korekcja promienia w prawo od konturu jest typową dla toczenia nożami położonymi poza osią toczenia, np. górne główce rewolwerowe. Analogiczne korekcje wystąpią przy obróbce otworów (wytaczanie). I tu również o zastosowaniu korekcji w lewo czy w prawo od konturu, decyduje położenie wytaczaka w stosunku do osi toczenia.

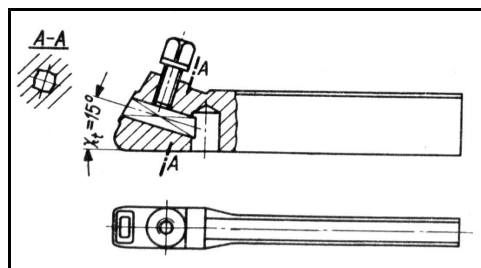
Konieczność kompensowania trajektorii ruchu narzędzia po łuku (krzywej) wymaga podawania w wartościach korekcyjnych oprócz X i Z także wielkości promienia zaokrąglenia ostrza. Stąd też w katalogach narzędzi zawsze znajdują się wielkości tego promienia zarówno dla narzędzi monolitycznych jak i składanych (płytki wieloostrowe). Układ sterowania, przy włączonej korekcji promieniowej automatycznie wyznaczy właściwą trajektorię ruchu noża. Dla wiertel, rozwiertaków, pogłębiaczy itd., bez względu na położenie osi wykonywanego otworu (w osi toczenia, mimośrodowo względem osi toczenia, prostopadle czy pod dowolnym kątem) ważna jest tylko korekcja długości narzędzia.

5.6. Narzędzia imakowe i oprawkowe

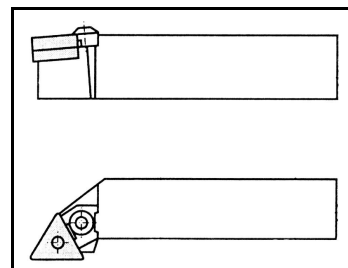
Noże tokarskie ze względu na sposób mocowania można podzielić na imakowe i oprawkowe. Noże imakowe mocowane są bezpośrednio w imakach nożowych, zaś oprawkowe w oprawkach nożowych. Najczęściej stosowanymi narzędziami na tokarkach zarówno konwencjonalnych jak i sterowanych numerycznie są noże imakowe. Od strony konstrukcyjnej można je podzielić na jednolite, zgrzewane i składane. Właśnie w składane noże imakowe ze względu na możliwość wymiany ostrza (wkładki) uzbraja się imaki i głowice rewolwerowe tokarek sterowanych numerycznie.

Noże oprawkowe mocowane są w oprawkach nożowych i najczęściej wykonywane są ze stali szybko tnącej. Oprawka noża (rysunek 5.6.1.) spełnia tę samą funkcję co trzonek noża imakowego. Są to więc (jako całość) noże składane i mocowane w sposób analogiczny jak noże suportowe a więc w imakach nożowych.

W głowicach rewolwerowych tokarek sterowanych numerycznie stosowane są noże imakowe składane (rysunek 5.6.2.). Przekroje trzoneków noży imakowych są kwadratami o bokach od 6 x 6 mm do 50 x 50 mm i prostokątami od 6 x 3 mm do 50 x 40 mm. Mimo, iż w głowicach rewolwerowych do mocowania noży stosowane są oprawki, to w dalszym ciągu są to noże imakowe a nie oprawkowe, zaś oprawka ta w zasadniczy sposób różni się od typowej oprawki nożowej dla noża oprawkowego.



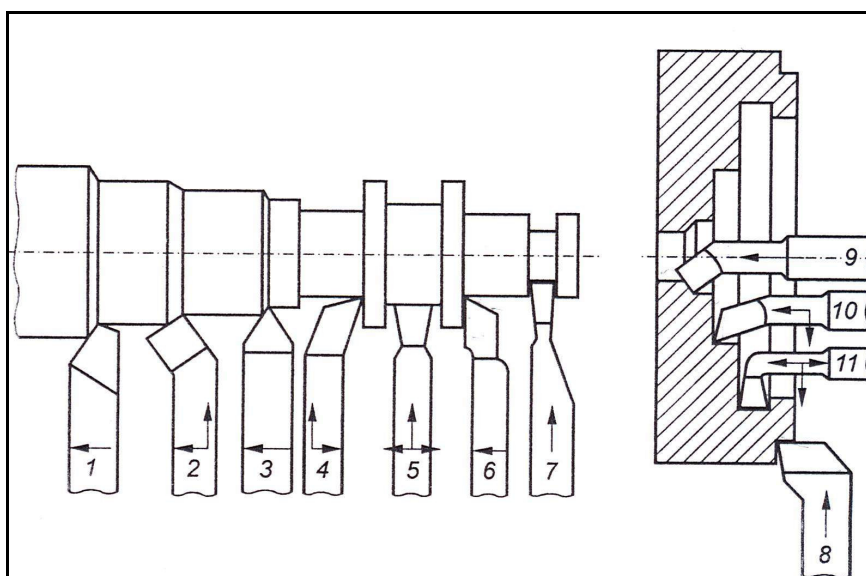
Rysunek 5.6.1. Oprawka nożowa



Rysunek 5.6.2. Nóż imakowy składany

5.7. Dobór noży tokarskich

Dobór noży rozumiany jako przyjęcie najwłaściwszego kształtu ostrza i jego geometrii musi być poprzedzony decyzją o wyborze właściwego materiału ostrza (stal szybko tnąca, spieki twarde, materiały ceramiczne, diament, sześcienny azotek boru) w odniesieniu do gatunku materiału obrabianego (ogólnie: stale, żeliwa, stopy metali lekkich, itd.), jego stanu (np. twardość) i warunków obróbki związanych z konkretną operacją (zabiegiem) np. obróbka zgrubna z chłodzeniem, obróbka średniodokładna (kształtująca), wykańczająca bez chłodzenia, itd. Wiele katalogów narzędziowych algorytm poszukiwania właściwego noża (płytki) rozpoczyna od przyjęcia materiału obrabianego np. stali stopowe, potem warunki obróbki np. ciężkie (obróbka zgrubna), rodzaju obróbki np. toczenie zewnętrzne, deklarowane parametry technologiczne skrawania.



5.7.1. Kształty części roboczych noży i zamierzone kierunki ruchu

Nożom przypisane są określone nazwy związane z reguły z przeznaczeniem do rodzaju i sposobu obróbki: 1 – zdzierak prosty prawy (dzisiaj dość często używa się określenia tylko „prosty”, z racji stosowania tego typu noży nie tylko w obróbkach zgrubnych), 2 – zdzierak wygięty prawy („wygięty”), 3 – wykańczak spiczasty („spiczasty” jeśli kąt przystawienia jest około 72.5° , jeśli mniej np. 45° , 50° – „prosty”), 4 – boczny wygięty lewy (jeśli kąty przystawienia dla głównej i pomocniczej krawędzi

skrawającej są takie same np. 95° używa się określenia „boczno-czołowo wygięty), 5 - wykańczak szeroki (rzadko stosowany w obróbkach numerycznych), 6 – boczny odsadzony (jeśli kąt przystawienia mniejszy od 90° – „odsadzony”), 7 – przecinak, 8 – czołowy wygięty (istnieje jeszcze nóż czołowy o kącie przystawienia 90° bez odsadzenia – nazywany „czołowym” i z odsadzeniem nazywany „czołowy odsadzony), 9 – wytaczak do otworów przelotowych, 10 – wytaczak do otworów nieprzelotowych, 11 – wytaczak hakowy.

Te zaś zależą od rodzaju obróbki (zgrubna, kształtująca, dokładna) a więc głębokości skrawania (podział naddatku i liczba przejść), posuwu (chropowatość), obwodowej prędkości skrawania. Pamiętać należy, iż parametry technologiczne skrawania: głębokość i posuw decydują o obwodowej sile skrawania (dobór trzonka noża), zaś uzupełnione o prędkość skrawania decydują o okresie trwałości ostrza. Niezależnie od rozwiązania konstrukcyjnego (jednolite, składane) kształty części roboczych noży w odniesieniu do obrabianej powierzchni i ich przewidywane kierunki ruchu posuwowego pokazano na rysunku 5.7.1.

5.8. Dobór parametrów skrawania

Dobór parametrów skrawania składający się na dobór warunków skrawania jest powiązany z doбором rodzaju obróbki, materiału ostrza i gatunku materiału obrabianego. Nieco szerszego wyjaśnienia wymaga dobór technologicznych parametrów skrawania w odniesieniu do zapewnienia odpowiedniej wydajności, jakości obróbki czy też aspektów ekonomicznych. Ogólnie, nie można przyjąć kompleksowej optymalizacji parametrów skrawania. Można jedynie przyjąć optymalizację jednokryterialną ze względu na koszt jednostkowy, dwukryterialną ze względu na koszt jednostkowy i chropowatość powierzchni lub trójkryterialną ze względu na koszt, chropowatość i dokładność wymiarową. Najczęściej spotykaną jest optymalizacja jednokryterialna – ze względu na koszt wyrobu, w praktyce tak nie nazywana lecz niemal powszechnie stosowana. Oparta jest ona o ekonomiczny okres trwałości ostrza a więc taki dobór parametrów technologicznych skrawania, w szczególności prędkości skrawania, przy których koszt operacji (zabiegu) jest najmniejszy. Nie oznacza to najmniejszego czasu maszynowego, bo ten z reguły jest związany z okresem trwałości ostrza odpowiadającym

największej wydajności. Jak widać ekonomiczny okres trwałości ostrza i okres trwałości odpowiadający największej wydajności jako parametry optymalizacji jednokryterialnej częściowo się wykluczają.

Zaangażowanie w proces technologiczny obrabiarek CNC w szczególnie sposób wymaga przemyślanego doboru technologicznych parametrów skrawania, by kierując się przyjętymi kryteriami w pełni wykorzystywać zalety tych maszyn. Stały rozwój materiałów narzędziowych, konstrukcji narzędzi i obrabiarek pozwoliły przyjąć nowe techniki obróbki: obróbkę z wysokimi prędkościami skrawania powyżej 1000 m/min (HSM/HSC – High Speed Machining/ High Speed Cutting), które dzisiaj wkraczają już w nową odmianę – obróbkę z bardzo wysokimi (ultra wysokimi) prędkościami skrawania.

Pierwszym dobieranym parametrem jest zawsze głębokość skrawania – wynika to z rodzaju obróbki (np. zgrubna), podziału naddatku i przewidywanej liczby przejść.

Drugim parametrem jest posuw (mm/obr) mającym wraz z promieniem zaokrąglenia wierzchołka noża wpływ na chropowatość, trzecim zaś obwodowa prędkość skrawania (m/min).

Jeśli dobierane są parametry dla obróbki zgrubnej, mając na uwadze sztywność układu OUPN (obrabiarka-uchwyt-przedmiot-narzędzie), przyjmuje się jak największą głębokość skrawania, dalej możliwie największy posuw (chropowatość nie ma tu większego znaczenia) i w ślad za np. ekonomicznym okresem trwałości ostrza odpowiednią prędkość skrawania. Duże parametry g i p przekładają się na duży przekrój warstwy skrawanej a więc duże siły skrawania obciążające układ OUPN, dalej zaangażowaną moc obrabiarki. Objętość usuwanego wióra to wydajność obróbki, a taki cel ma m. inn. obróbka zgrubna. Duży przekrój warstwy skrawanej jest z kolei korzystny dla bilansu cieplnego, gdyż pozwala odprowadzić wraz z wiórem nawet do 80% ciepła skrawania.

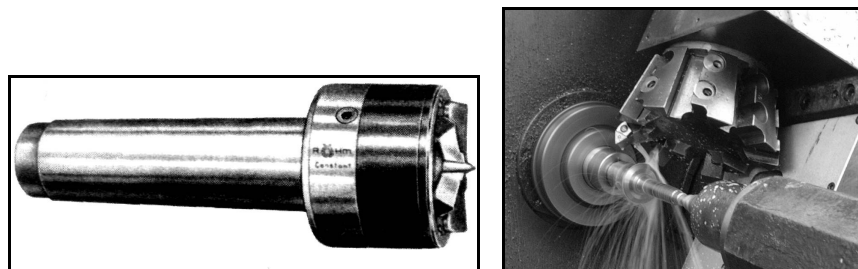
Jeśli zaś dobierane są parametry dla obróbki wykańczającej, ustala się małe głębokości skrawania i małe posuwy co z jednej strony decyduje o małych siłach skrawania (jak najmniejsze odkształcenia w układzie OUPN) i małej chropowatości. Prędkość skrawania przyjmuje się jak największą dla przyjętych wcześniej parametrów g i p i założonego okresu trwałości ostrza np. ekonomicznego. Wysoka prędkość skrawania, jak wiadomo, korzystnie wpływa na chropowatość obrabianej powierzchni. Kształt krawędzi skrawających w wielu współczesnych płytkach z węglików spiekanych oprócz typowego promienia zaokrąglenia (np. 0.2 mm) zawiera dodatkowy promień stycznie łączący się z promieniem

naroża. Jego wartość to rzędu setek milimetrów np. 500 mm, co oznacza prawie płaski fragment krawędzi skrawającej pełniący rolę dogładzającą. W obróbkach średniodokładnych (kształtujących) dobór technologicznych parametrów skrawania jest wyważonym doborem między obróbką zgrubną a wykańczającą. Jednakże zawsze pierwszym dobieranym parametrem będzie głębokość skrawania, potem posuw i w odniesieniu do okresu trwałości ostrza, prędkość skrawania.

Współczesne sterowniki wraz z odpowiednimi układami pomiarowymi np. badającymi obciążenie wrzeciona jak i ich oprogramowanie pozwalają monitorować z jednej strony proces stępienia ostrza a także zliczać czas pracy ostrza by dla przyjętego okresu trwałości sygnalizować konieczną wymianę narzędzia. Pozwala to zadbać o właściwą dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotu obrabianego, gospodarkę narzędziową jak i eksploatację

5.9. Wprowadzenie do programowania tokarek CNC

Programowanie tokarek i centrów tokarskich obejmuje typowy dla toczenia obszar programowania operacji technologicznej wzbogacony w tym ostatnim przypadku zabiegami wiercenia niewspółosiowego czy też pod dowolnym kątem do osi Z (w szczególności prostopadle do osi toczenia) i analogicznie różnie usytuowanymi kątowo do osi Z zabiegami frezowania. Wiercenie czy też frezowanie pod dowolnym kątem w przedziale od zera do 90 stopni (tylko I ćwiartka) jest możliwe jeśli centrum posiada kolejną oś sterowaną Y. W przeciwnym przypadku istnieje tylko możliwość wiercenia i frezowania mimośrodowego i ortogonalnego.



Rysunek 5.9.1. Zabierak czołowy i obróbka w kłach z zabierakiem czołowym

Oprzysiężowanie technologiczne to przede wszystkim uchwyty trój-szczękowe (z mocowaniem ręcznym lub mechanicznym) z twardymi bądź miękkimi szczękami, zabieraki czołowe (rysunek 5.9.1), kły obrotowe i podtrzymki. Przy obróbce typowych wałów maszynowych stosuje się ustalenie w kłach (zabierak czołowy od strony wrzeciona) by umożliwić obróbkę powierzchni czołowych (poza czołem z nakiełkiem) bądź stożkowych położonych od strony wrzeciona (rysunek 5.8.1.). Zatem realizować można kompletną obróbkę w jednym zamocowaniu. Nowoczesne materiały narzędziowe jak i konstrukcja narzędzi w połączeniu z prawidłowo dobranymi parametrami technologicznymi, stanem materiału obrabianego i odpowiednią sztywnością układu OUPN, pozwalają prowadzić dokładne obróbki z powodzeniem zastępujące operacje szlifowania.

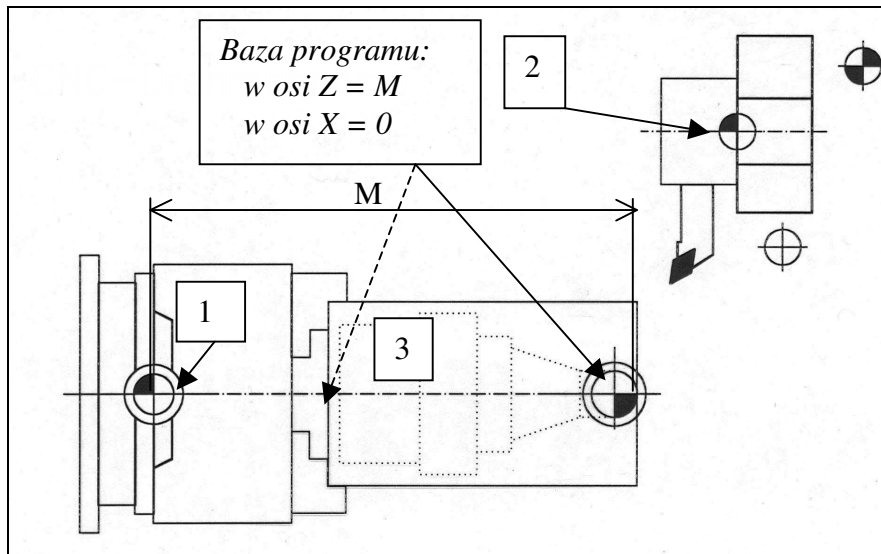
5.10. Ustalanie punktu zerowego przedmiotu obrabianego

W przestrzeni roboczej obrabiarki, jednym z jej ważniejszych punktów charakterystycznych jest punkt początkowy układu współrzędnych przedmiotu obrabianego. Punkt ten istnieje w przestrzeni roboczej każdej obrabiarki sterowanej numerycznie: tokarki, frezarki, centrum tokarskiego czy frezarskiego, szlifierki, frezarki obwodniowej, itd. Jego umiejscowienie na przedmiocie obrabianym powinno spełniać kilka przesłanek:

- powinien znajdować się w miejscu łatwo dostępnym sondom pomiarowym, diastom, narzędziom zerowym (trzępieniom o określonej długości mocowanych w oprawkach) czy też wprost narzędziom,
- powinien znajdować się w miejscu dobrze widocznym i dostępnym dla operatora, najczęściej od strony operatora,
- punkt zerowy powinien być związany z przedmiotem obrabianym (materiałem wejściowym) lub też z punktem bazowym uchwytu, jeśli taki przewidziany jest dla danej operacji (zabiegu),
- wybrany punkt powinien zachowywać swoje stałe położenie niezależnie od tolerancji wykonania półfabrykatu ale takie by zapewnić prawidłowy rozkład naddatku na obróbkę zgrubną, średniokładną i wykańczającą,

- punkt zerowy powinien być związany z bazą konstrukcyjną przedmiotu obrabianego a więc spełniać warunki technologicznej bazy właściwej.

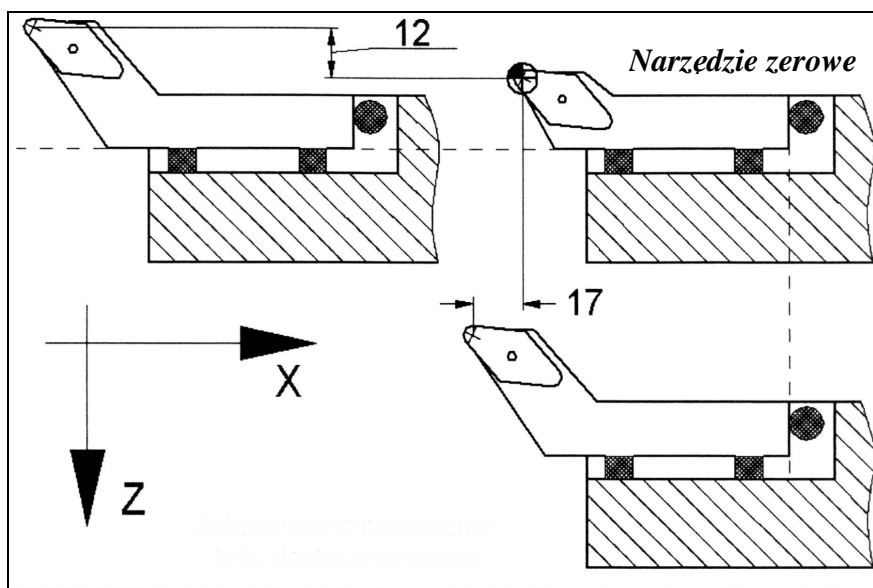
Ustalenie punktu zerowego przedmiotu obrabianego dość często nazywa się ustaleniem zera programu. Czynności związane z ustaleniem zera programu polegają na pomiarze we wszystkich programowanych osiach, odległości punktu początku układu współrzędnych przedmiotu obrabianego w stosunku do początku układu współrzędnych maszyny (rysunek 5.10.1). Punkt początku układu współrzędnych maszyny nazywany jest też zerem maszyny, analogicznie jak początek układu współrzędnych przedmiotu obrabianego – zerem programu.



Rysunek 5.10.1. Ustalanie zera programu

Bazę programu (zero programu) można ustalić bezpośrednio jeśli punkt ten jest dostępny narzędziom pomiarowym bądź pośrednio, jeśli taka możliwość nie istnieje. Po wykonaniu czynności związanych z ustaleniem punktu referencyjnego, na ekranie monitora zostanie wyświetlona informacja o położeniu początku układu współrzędnych narzędzia (2) względem zera maszyny (1). Początek układu współrzędnych przedmiotu obrabianego (zero programu) przypisywany jest odpowiednią funkcją przygotowawczą G54 (G55, G56, G57, G58, G59). Jeśli zatem przyrządami pomiarowymi np. sondą, narzędziem zerowym, zostanie ustalony początek tego układu, to współrzędne X i Z funkcji G54 lub wpisane do odpowiedniego korektora określą ten punkt jednoznacznie. Korzystanie z sond pomiaro-

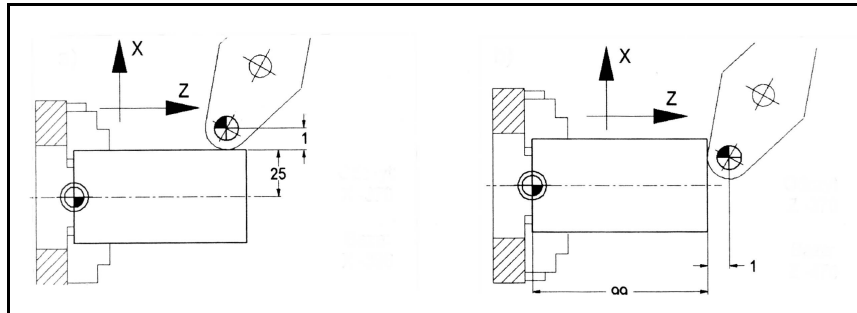
wych (przewodowych lub bezprzewodowych) może pozwalać na automatyczne wpisywanie bazy programu we wszystkich programowanych osiach. Baza programu może też być przyjęta w punkcie (3). Jest to przypadek pośredniego wyznaczania bazy pomiarowej. Miejsce położenia bazy pomiarowej zależy od sposobu wymiarowania przedmiotu obrabianego (łańcuch wymiarowy), przyjętego sposobu i strategii obróbki. Zauważyć należy, iż punkt ten nie jest dostępny przyrządom pomiarowym. Należy go wyznaczyć algebraicznie (dodanie wymiaru długości P.O.) w stosunku do punktu oznaczającego początek układu współrzędnych przedmiotu obrabianego.



Rysunek 5.10.2. Pomiar noża względem narzędzia zerowego (w imaku bądź ustawiaku).

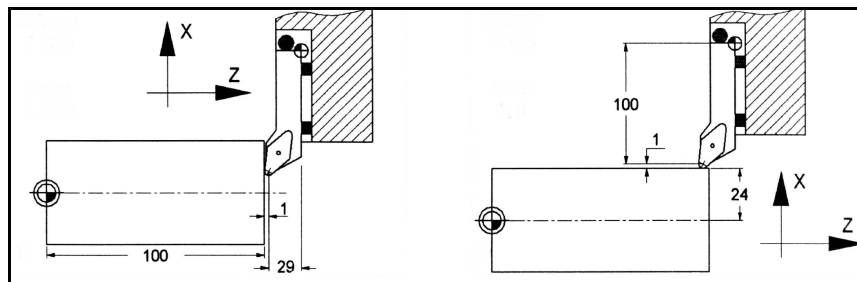
Wyjaśnienia wymaga określenie: narzędzie zerowe (rysunek 5.10.2). Jest to zazwyczaj narzędzie bądź specjalny przymiar w kształcie narzędzia np. noża tokarskiego o znanych wartościach korekcyjnych. Po ustaleniu bazy programu tym narzędziem (bazy pomiarowej, zera programu, początku układu współrzędnych P.O.), korzystając ze specjalnego ustawiaka dokonuje się pomiaru różnic wymiarowych w każdej z programowanych osi dla danego narzędzia skrawającego i ostatecznie z sumowania (odejmowania) algebraicznego ustala bazę programu (rysunek 5.10.3).

Ustalanie bazy pomiarowej narzędziem skrawającym jest trochę kłopotliwe i raczej niewskazane. W każdej z programowanych osi wykorzystując ruchy ręczne (np. kółko ręczne) z zachowaniem szczególnej ostrożności by nie uszkodzić ostrza bądź skałeczyć przedmiotu (jeśli jest to ustalanie bazy na powierzchni już ostatecznie obrobionej) dotyka się przedmiotu obrabianego.



Rysunek 5.10.3. Ustalanie bazy programu za pomocą narzędzia zerowego [5]

Znając np. w przypadku noża promień zaokrąglenia wierzchołka i jego długość, wyznacza się z prostego rachunku algebraicznego bazę programu (rysunek 5.10.4). ten sposób wyznaczania zera programu można uznać za mniej dokładny od pozostałych.

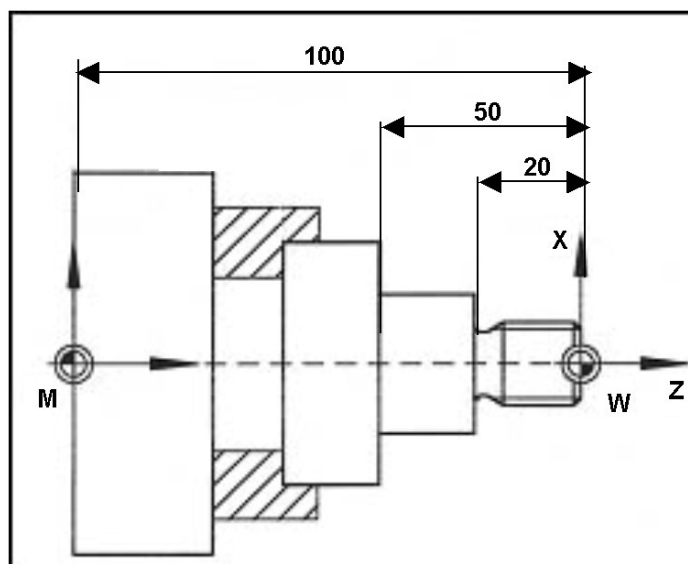


Rysunek 5.10.4. Ustalanie bazy programu za pomocą narzędzia [5]

Oczywistym jest, iż zawsze wymagane jest szczególnie ostrożne postępowanie przy wyznaczaniu bazy programu niezależnie od sposobu i stosowanych narzędzi pomiarowych.

5.11. Programowanie we współrzędnych absolutnych

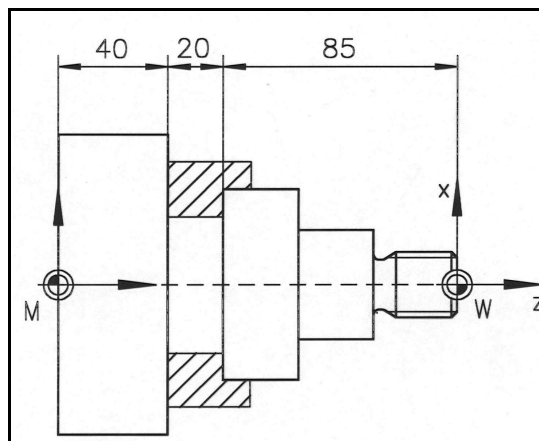
Programowanie we współrzędnych absolutnych (rysunek 5.11.1) w osi Z jest podawaniem współrzędnej położenia od początku układu współrzędnych przedmiotu obrabianego. Oś X może być podawana jako wartość średnicy lub promienia. Z reguły określanie współrzędnej promieniowej związane jest z programowaniem przyrostowym, nie mniej jednak niektóre sterowniki wymagają podawania promienia dla wymiarowania absolutnego. Wywołanie wymiarowania (programowania) absolutnego dokonywane jest funkcją przygotowawczą (najczęściej G90). Oczywiście jest, że konieczne jest wcześniej ustalenie bazy programu (początku układu współrzędnych przedmiotu obrabianego) względem zera maszyny. Funkcja wywołująca programowanie w układzie absolutnym jest funkcja modalną. Oznacza to, że obowiązuje tak długo w programie dopóki nie zostanie przywołana inna funkcja modalna wprowadzająca programowanie (wymiarowanie) przyrostowe (inkrementalne).



Rysunek 5.11.1. Wymiarowanie we współrzędnych absolutnych

5.12. Programowanie we współrzędnych przyrostowych

Programowanie we współrzędnych przyrostowych (rysunek 5.12.1) polega na określaniu pozycji narzędzia w odniesieniu do poprzedniego położenia. Oczywiście jest, że wcześniej musi być określona baza programu. Przyrosty w każdej z osi sterowanych (nawet dla osi obrotowych) mogą być dodatnie – wtedy przyrost jest zgodny ze zwrotem osi lub ujemne – wtedy przyrost jest mierzony w przeciwną stronę do zwrotu osi sterowanej. Wymiarowanie przyrostowe wywołuje funkcja przygotowawcza, najczęściej G91 (zależy to od oprogramowania sterownika i przypisaniu przeznaczenia danej funkcji). Rozpoczynając obróbkę w układzie wymiarowania przyrostowego pamiętać należy o ustawieniu narzędzia na punkt o znanych współrzędnych (np. punkt startu programu), gdyż od niego odmierzone są przyrosty drogi narzędzia. Funkcja wywołująca wymiarowanie (programowanie) przyrostowe jest funkcją modalną a więc obowiązuje do jej odwołania. W programie operacji technologicznej można dowolnie w zależności od potrzeb zmieniać programowanie przyrostowe na absolutne i odwrotnie np. nawet co blok.



Rysunek 5.12.1. Wymiarowanie we współrzędnych przyrostowych

5.13. Interpolacje

Kształtowanie przedmiotu obrabianego związane jest z prowadzeniem narzędzia po torze narzędzia, który można określić jako krzywą, po której przemieszcza się charakterystyczny punkt narzędzia skrawającego np. wierzchołek noża tokarskiego.

Tor narzędzia na maszynach sterowanych numerycznie może być realizowany poprzez interpolację tj. określenie punktów pośrednich między danymi punktami na wyznaczonym torze lub zarysie wg funkcji matematycznej. Rozróżnia się interpolację:

- liniową
- kołową
- funkcją wyższego rzędu np. krzywa B-sklejana

Interpolacja liniowa to ruch narzędzia po prostej i jest jedną z podstawowych realizacji ruchów roboczych. Ruch po prostej nachylonej pod dowolnym kątem do kierunku osi sterowanej jest również realizowany na drodze składania interpolacji liniowych np. w osi X i Z jednocześnie.

Interpolacja kołowa to ruch narzędzia po torze łuku koła. Ruch ten realizowany jest przez interpolatory kołowe, których działanie oparte jest o układy całkujące. Interpolacja kołowa może być prowadzona zgodnie z ruchem wskazówek zegara – funkcja przygotowawcza G02 i przeciwnie do ruchu wskazówek zegara – funkcja przygotowawcza G03 (rysunek 5.14.2.1). Przystępując do zapisania drogi narzędzia interpolacją kołową trzeba zwrócić uwagę na sposób określania zawieszenia promienia łuku, gdyż mogą wystąpić interpretacyjne różnice zależne od oprogramowania sterownika. Najczęściej, niezależnie od kierunku interpolacji przyjmuje się następujący zapis interpolacji:

- będąc w punkcie startowym (np. punkt osiągnięty interpolacją liniową – przejście z prostej na łuk) podaje się współrzędne punktu końca łuku,
- określa się współrzędne zawieszenia promienia łuku przyrostowo, w stosunku do punktu początkowego; współrzędne podaje się jako tzw. parametry interpolacji: I - w osi X i K w osi Z. Parametry I i K mogą mieć znaki plus lub minus, co

przy programowaniu przyrostowym oznacza położenie środka łuku w stosunku do punktu początkowego.

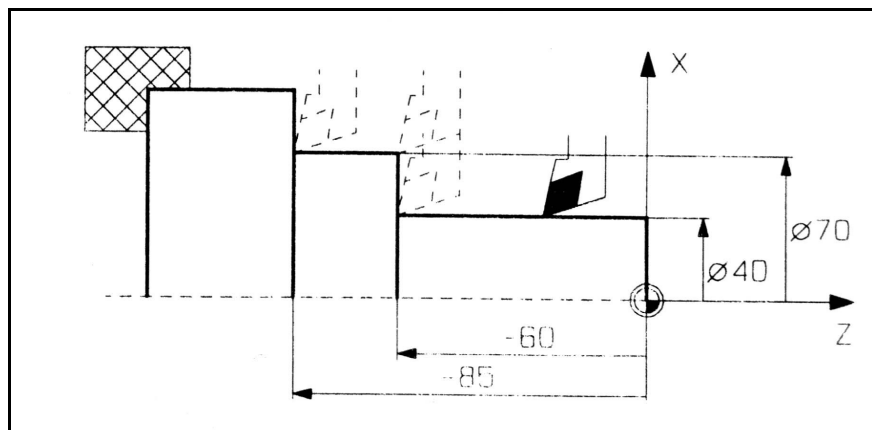
Interpolację funkcją wyższego rzędu tzw. interpolację splajnowa (krzywe B-sklejane) spotyka się przede wszystkim w układach sterowania frezarek i centrów frezarskich. W tokarkach i centrach tokarskich ten rodzaj interpolacji praktycznie występuje bardzo rzadko. Obróbka na tokarkach to kształtowanie przedmiotów osiowo-symetrycznych (wały maszynowe) a te z zasady nie mają powierzchni określanych krzywymi wyższego rzędu.

5.14. Programowanie przemieszczeń

Programowanie wszelkich przemieszczeń odnosi się zawsze do wyznaczenia trajektorii ruchu narzędzia względem przedmiotu obrabianego, choćby nawet w niektórych osiach wykonywał przedmiot a nie narzędzie np. przemieszczenie wzdłuż osi X na frezarkach. Programowane przemieszczenia mogą być złożone w dowolnej kombinacji z interpolacji liniowych, kołowych i funkcji wyższego rzędu. Przy toczeniu koźzysta się z interpolacji liniowych i kołowych. Oczywistym jest, iż wszystkie ruchy ustawcze wykonywane z udziałem szybkich posuwów również realizowane na drodze interpolacji liniowej.

5.14.1. Programowanie przemieszczeń po prostej

Programowanie przemieszczeń po prostej to realizacja ruchów roboczych funkcją G01 (lub G1). Wywołanie funkcji przygotowawczej G01 wymaga podania wielkości posuwu roboczego w mm/obr. funkcja pomocniczą F np. F0.2 (posuw 0.2 mm/obr.). Jeśli w bloku występują dwie współrzędne np. X i Z, to układ sterowania prowadzi narzędzie po wypadkowym torze ale po prostej. Jest to więc przykład toczenia powierzchni stożkowej.



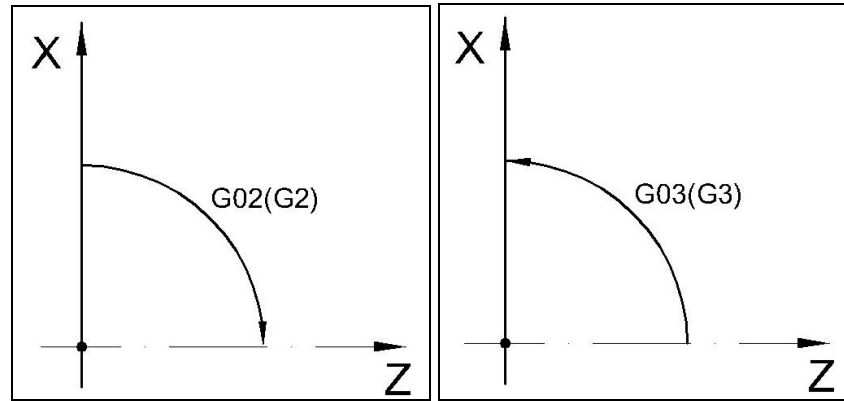
Rysunek 5.14.1.1. Interpolacja liniowa funkcją G01 (G1)

Interpolacja liniowa dotyczy toczenia powierzchni walcowych, czółowych (rysunek 5.14.1.1.) i stożkowych. Funkcja G01 (G1) jest funkcją modalną, a więc jeśli kolejne bloki realizują interpolację liniową, to wystarczy by określić jedynie współrzędne osi. Jeśli zaś funkcja G1 odnosi się do trzech współrzędnych np. X, Y i Z, to trajektoria narzędzia będzie przekątna prostopadłościanu o bokach określonych kolejnymi adresami wywoływanych osi. Jeśli programowana jest oś obrotowa np. C, to ruch w tej osi aktywowany jest również funkcją G1 (G01).

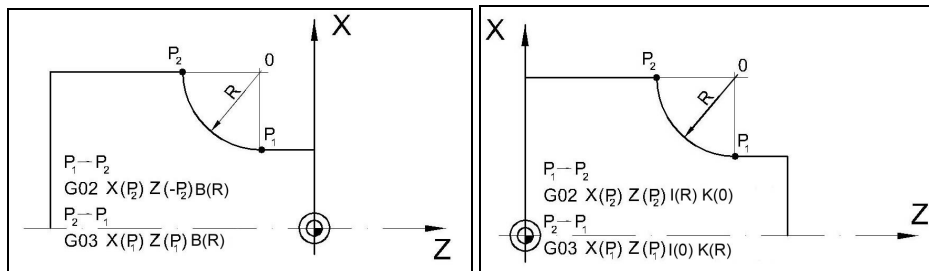
5.14.2. Programowanie przemieszczeń po łuku

Programowanie przemieszczeń po łuku związane jest z realizacją interpolacji kołowej. Przemieszczanie po łuku może odbywać się zgodnie z ruchem wskazówek zegara – wywołanie funkcją przygotowawczą G02 (rysunek 5.14.2.1.), bądź przeciwnie do ruchu wskazówek – funkcją G03 (rysunek 5.14.2.2.). Wymagane parametry funkcji to:

- współrzędne X i Z punktu docelowego czyli końca łuku (absolutnie lub przyrostowo)
- współrzędne I i K określające przyrostowo położenie środka koła (łuku) w stosunku do punktu początkowego łuku. Istnieją wyjątki zależne od języka sterownika np. podające współrzędną I średnicowo lub w odniesieniu do punktu początkowego układu współrzędnych przedmiotu obrabianego.



Rysunek 5.14.2.1. Interpolacja zgodna i przeciwna z ruchem wskazówek zegara – G02/G03



Rysunek 5.14.2.2. Sposób zapisu interpolacji kołowej G02/G03

Przystępując do programowania należy upewnić się jak dla danego sterownika interpretowane są parametry interpolacji kołowej. Współrzędne I i K mogą być opatrzone znakiem „+” lub „-”, co oznacza położenie środka łuku w odniesieniu do punktu początkowego łuku. By uniknąć błędnego przypisania znaku współrzędnych I i K, należy domyślnie przyjąć punkt początku łuku jako początek (punkt zerowy) lokalnego układu współrzędnych zaczepionego w tym punkcie, którego zwroty osi są zgodne ze zwrotem osi układu współrzędnych przedmiotu obrabianego.

5.15. Toczenie wzdłużne i cykl toczenia wzdłużnego

Toczenie wzdłużne to zabiegi toczenia zgrubnego, kształtującego i wykańczającego. Toczenie zgrubne ma za zadanie usunąć w jak najkrótszym czasie jak największy naddatek. Cel ten można realizować funkcją przy-

gotowawczą G1 określając współrzędne kolejnych przejść lub też, co pozwala na ułatwienie w programowaniu, skorzystać z cyklu toczenia wzdłużnego (rysunek 5.15.1.) wywoływanego w zależności od języka sterownika, funkcją G** powiązaną np. z wykonaniem podprogramu. Parametry definiujące toczenie m. in. punkt początkowy, głębokość skrawania w jednym przejściu i inne, podaje się w bloku w którym wywołuje się cykl toczenia (podprogram). Oczywiście w podprogramie funkcja G1 i współrzędnymi X i Z określa się obrabianą powierzchnię.

5.16. Toczenie poprzeczne i cykl toczenia poprzecznego

Toczenie poprzeczne może być realizowane funkcją G1 (G01) w kierunku osi X ze stopniowym przemieszczaniem w osi Z wynikającym z podziału naddatku. Wymaga to określenia w każdym kolejnym bloku współrzędnych punktów w obu osiach sterowanych: X i Z. By ułatwić programowanie w wielu systemach opracowano cykle toczenia poprzecznego (rysunek 5.16.1.). Wywołanie cyklu toczenia poprzecznego odbywa się funkcją przygotowawczą G**, zaś kończy odwołaniem funkcją G**. Istotą tych cykli jest określenie punktu początkowego i dalej funkcją G1 (G01) wskazanie współrzędnymi kolejnych obrabianych powierzchni przy ustalonym parametrem (najczęściej I**) kolejnym kroku w kierunku osi Z.

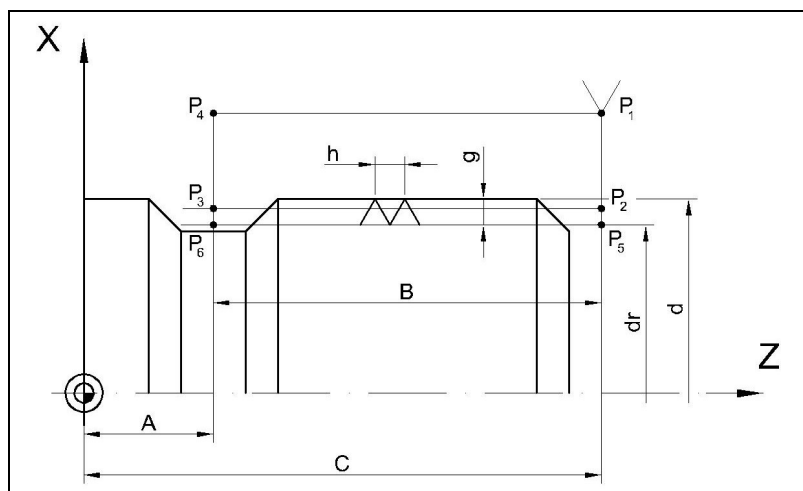
5.17. Wiercenie otworów i cykl wiercenia otworów

Mówiąc o wierceniu otworów najczęściej przywołuje się wiercenie otworu osiowego (w osi Z przedmiotu) bądź wiercenie również w osi Z głębokiego otworu. Jednakże, w przypadku programowania obróbki na centra tokarskie z napędzanymi narzędziami, wiercenie może być realizowane mimośrodowo (nie w osi Z) albo prostopadle do osi Z. Te wszystkie przypadki wiercenia można realizować przywołaniem interpolacji liniowej a więc funkcją G1, określając odpowiednie współrzędne, szczególnie w osi Z. Jeśli wykonywane otwory należą do tzw. głębokich otworów, pamiętać należy o cyklicznym wycofywaniu wiertła w celu usunięcia wiórów. Niekiedy określa się takie wiercenie jako wiercenie połączone z odwiórowaniem (rysunek 5.17.1). Właśnie taki rodzaj wiercenia otworu najlepiej jest zdefiniować jako cykl wiercenia podając

parametry cyklu np. głębokość kolejnego wiercenia, czas zatrzymania posuwu, czas ruchu powrotnego itp.

5.18. Cykl toczenia gwintów na powierzchni walcowej

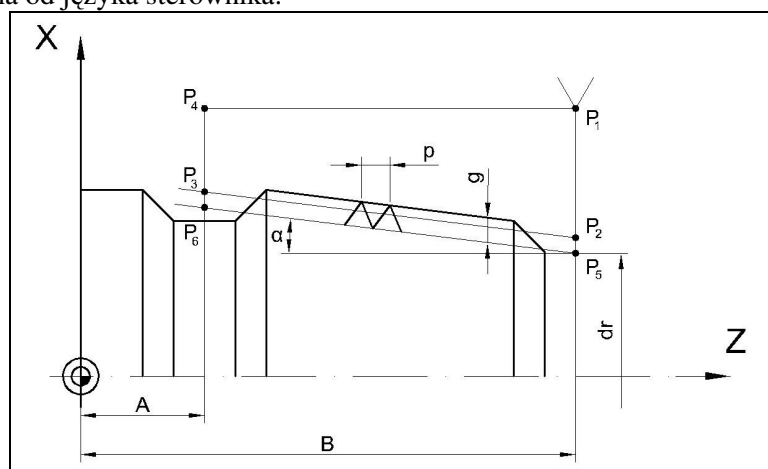
Toczenie gwintu na obrabiarkach sterowanych numerycznie niczym nie odbiega od toczenia na maszynach konwencjonalnych. Tak samo odbywa się w wielu przejściach z tym, że z racji wykorzystywania układów automatyki i sterowania numerycznego reagujących nieporównywalnie szybciej niż operator, można i to znacznie podnieść prędkość skrawania do kilkudziesięciu i więcej m/min. Oznacza to wykonanie gwintu w znacznie krótszym czasie niż tradycyjne gwintowanie na tokarce konwencjonalnej. Toczenie gwintów na tokarce numerycznej wymaga ścisłych powiązań obrotu wrzeciona przedmiotowego w stosunku do przesunięcia narzędzia. Ponieważ struktura kinematyczna obrabiarki nie posiada związków kinematycznych (skrzynka posuwowo-gwintowa), zatem by można prowadzić gwintowanie, koniecznym jest korzystanie ze specjalnej funkcji przygotowawczej zapewniającej dokładną synchronizację obrotu wrzeciona w stosunku do przemieszczenia noża. Funkcja F (feed) zazwyczaj określająca posuw, w cyklu toczenia jest skokiem gwintu. Cykl toczenia gwintu wywołuje funkcja przygotowawcza G** uzupełniona koniecznymi parametrami cyklu jak skok gwintu, głębokość gwintu, liczba przejść itp.(rysunek 5.18.1), bądź też w zależności od języka programowania, następuje wywołanie podprogramu przy wcześniejszym określeniu parametrów cyklu.



Rysunek 15.8.1. Cykl toczenia gwintu na powierzchni walcowej

5.19. Cykl toczenia gwintu na powierzchni stożkowej

Cykl toczenia gwintu na powierzchni stożkowej (rysunek 5.19.1) jest bardzo podobny do cyklu toczenia gwintu na powierzchni walcowej. Zasadnicza różnica to podanie dwóch współrzędnych X i Z początku i końca gwintu wynikających z toczenia stożka. Pozostałe parametry cyklu i ich symbolika, analogicznie jak dla gwintu na powierzchni walcowej, jest zależna od języka sterownika.



Rysunek 15.9.1. Cykl toczenia gwintu na powierzchni stożkowej

5.20. Cykl toczenia gwintu ze zmiennym skokiem

Gwinty ze zmiennym skokiem należą do gwintów specjalnych. Skoki gwintów mogą być rosnące bądź malejące. Analogicznie jak gwinty o stałym skoku, gwinty te można wykonywać na powierzchniach walcowych i stożkowych. W definiowaniu cyklu gwintowania muszą pojawić się parametry zwiększające lub zmniejszające skok za każdym obrotem przedmiotu. Oznaczenie parametru zależy, tak jak wspomniano wielokrotnie wyżej, od systemu sterowania.

5.21. Programowanie konturowe

Programowanie konturowe związane jest z ruchem narzędzia wzdłuż elementów geometrycznych przedmiotu takich jak odcinki, łuki, kąty. Oznacza to, iż układając program obróbki technologicznej (POT) koniecznym jest podanie wszystkich współrzędnych punktów charakterystycznych konturu przedmiotu. W przypadku programowania łuków (promieni zaokrąglenia) interpolacjami kołowymi, niezbędne jest wyznaczenie punktów zawieszenia promieni, co nie jest uwzględniane na rysunkach konstrukcyjnych. Programowanie konturowe przydatne jest dla toczenia kształtującego, gdyż przemieszczając się po zarysie przedmiotu nadaje się niekiedy ostateczne wymiary detalowi.

Do opisu ciągów konturowych, w zależności od systemu sterowania, używa się najczęściej adresów np. A, B, C – oznaczających kolejno np. kat zawarty między dodatnim kierunkiem osi Z a kierunkiem ruchu narzędzia, promień łuku, fazę, itd., albo też odpowiednich specjalnych funkcji przygotowawczych G**. Oczywiście jest, że programowanie konturowe musi odwoływać się do interpolacji liniowej i kołowej. W zaprogramowanym ciągu konturowym, system sterowania automatycznie wyznacza niezbędne współrzędne określające trajektorię ruchu narzędzia. Programowanie konturowe wykorzystywane jest przez interaktywne systemy programowania, choćby takie jak Programowanie Zorientowane Warsztatowo (WOP), gdzie na podstawie rysunku konstrukcyjnego składając na ekranie kontur wałka z elementów geometrycznych (ilustracje elementów ikonami), w tle jest generowany program obróbki technologicznej.

5.22. Programowanie parametryczne

Programowanie parametryczne ma wiele wspólnego z projektowaniem parametrycznym. Projektowanie parametryczne umożliwia dla zmiennego parametru(ów), tworzenie całej rodziny podobnych przedmiotów lecz różniących się wymiarowo. Analogicznie, w przypadku programowania parametrycznego, wprowadzając do programu wartości zmienne parametrów przy niezmiennym programie, prowadzić można obróbkę przedmiotów o podobnym kształcie lecz o innych wymiarach. Charakterystycznymi adresami w programie są adresy (parametry) R lub P. Bloki programu lub podprogramu mogą zawierać wyrażenia matematyczne (w tym np. z funkcjami trygonometrycznymi). Dla określonej wartości parametru(ów), układ sterowania oblicza wartość wyrażenia i w ten sposób określone są kolejne współrzędne trajektorii ruchu narzędzia.

5.23. Stała prędkość skrawania

Dobierając technologiczne parametry skrawania, kierować się należy właściwym wykorzystaniem okresu trwałości ostrza. Podawane w katalogach narzędzi zalecane parametry skrawania (w tym prędkość skrawania) odnoszą się do przyjętego dla danego materiału narzędzia, okresu trwałości ostrza. Oznacza to, że w trakcie obróbki przedmiotu (wałka o zmiennych średnicach) należy zmieniać prędkość obrotową wrzeciona, co na etapie programowania, wiąże się z ciągłym przeliczaniem prędkości obrotowej i wpisywaniem odpowiedniego kodu (wartości liczbowej obrotów) adresu S.

Przywołując funkcję przygotowawczą G** (G96) i wpisując kod (prędkość skrawania) adresu S, układ sterowania w trakcie obróbki automatycznie zmieni prędkość obrotową tak, by zachować stałą prędkość skrawania. Ponieważ w miarę zbliżania się narzędzia do osi tocznienia, prędkość obrotowa powinna wzrastać do nieskończoności. Jednakże każda maszyna posiada ograniczone możliwości techniczne (np. maksymalna prędkość obrotowa wrzeciona, zatem należy podać w kolejnym bloku odpowiedni kod adresu S np. S5000 poprzedzony stosowną funkcją przygotowawczą G**(G92). Niekiedy ograniczenie może wynikać z niebezpieczeństwa luzowania się przedmiotu obrabianego wskutek nadmiernej prędkości obrotowej. W każdej chwili można przejść ze stałej prędkości skrawania do sterowania obrotami wrzeciona. Funkcja G**(G97)

anuluje stałą prędkość skrawania, zaś występująca liczba w adresie S oznacza wtedy prędkość obrotową wrzeciona.

6

Frezarki i centra frezarskie

W tym rozdziale:

- układ osi frezarki CNC
- punkty charakterystyczne frezarki
- przestrzeń robocza
- frezy i oprawki frezarskie
- wielkości korekcyjne narzędzi
- dobór narzędzi
- dobór parametrów skrawania
- Obróbka HSM

6.1. Wprowadzenie

Frezarki jako jedne z pierwszych maszyn technologicznych (po wiertarkach) wyposażono w sterowniki numeryczne. Mimo, że dzisiejsze frezarki wyposaża się w sterowniki komputerowe (CNC), to nadal w potocznym określeniu nie akcentuje się tej cechy mówiąc wprost: frezarki sterowane numerycznie. Na frezarkach sterowanych numerycznie realizowane są typowe operacje frezarskie oraz te, których wykonywanie było nieakceptowane jak wiercenie, rozwiercanie, pogłębianie, fazowanie, gwintowanie. Frezarki sterowane numerycznie (rysunek 6.1.), zwłaszcza te wyposażone w sterowniki CNC umożliwiają obróbkę powierzchni swobodnych, a więc złożonych m. inn. z powierzchni B-sklejanych w tym NURBS, płatów Coonsa, Beziera, Hermite'a, Browna.

Kształtowanie tak złożonych powierzchni sprawiło, iż frezarki sterowane numerycznie szybko znalazły miejsce w narzędziowniach do obróbki gniazd form wtryskowych, tłoczników, matryc i wielu podobnych narzędzi z zakresu przetwórstwa tworzyw sztucznych czy obróbki plastycznej. Frezarki sterowane numerycznie posiadają z reguły jedno wrzeciono robocze, gdzie wymiana narzędzi może odbywać się ręcznie przez operatora bądź automatycznie przez indeksowanie (podział), jeśli maszyna wyposażona została w głowicę rewolwerową. Mówiąc o frezarkach sterowanych numerycznie z reguły to określenie odnosi się do frezarek o pionowej osi wrzeciona i ruchu stołu w kierunku trzech osi X, Y, Z, oczywiście przy niewysuwnym wrzecionie.

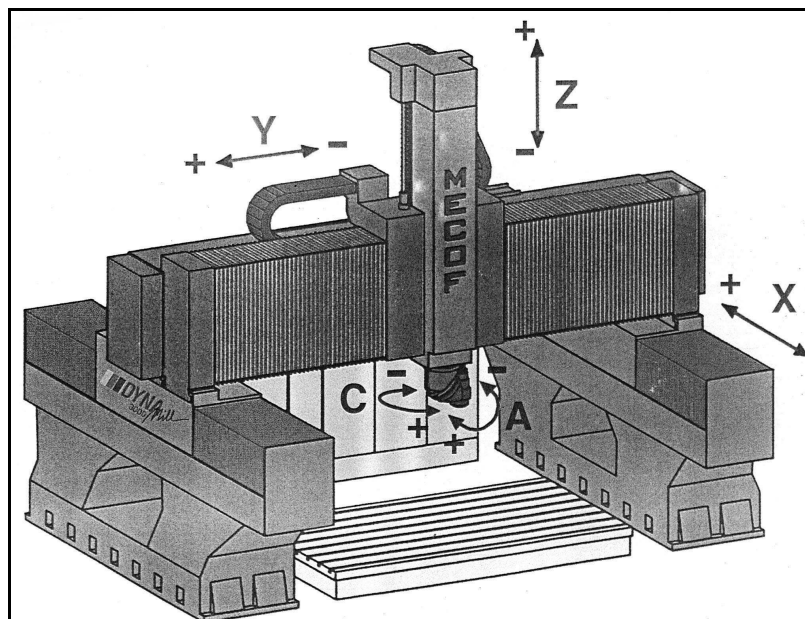
Nieco inną budowę mają centra frezarskie (rysunek 6.3.), które w zależności od położenia wrzeciona można podzielić na pionowe (najczęściej obróbka powierzchni swobodnych np. gniazd form wtryskowych) i poziome (najczęściej obróbka korpusów). Centra frezarskie wyposażone są w magazyny narzędzi w liczbie od kilkunastu do kilkudziesięciu i więcej. Poziome centra frezarskie umożliwiają automatyczną wymianę przedmiotu obrabianego poprzez system palet: paleta z przedmiotem w przestrzeni roboczej, druga poza zamkniętą przestrzenią roboczą umożliwiającą odmocowanie i zamocowanie nowego przedmiotu obrabianego. Program operacji technologicznej zawiera polecenia wymiany palet.

Frezarki i centra frezarskie posiadają dzisiaj standardowo 3 osie sterowane. Rzadko spotyka się maszyny sterowane w 4 osiach (4-ta oś to z reguły stół CNC). Jeśli zwiększa się liczbę osi sterowanych to z reguły od razu do pięciu, stosując stół obrotowo-uchylny (2 osie obrotowe) albo obrotowo-uchylne wrzeciono (rysunek 6.2.). Z racji wyposażenia freza-

rek i pionowych centrów frezarskich w stoły obrotowo-uchylne, które zajmują dość sporo miejsca w przestrzeni roboczej a ich powierzchnie robocze i tak nie zapewniają mocowania przedmiotów o znacznych gabarytach (np. korpusów), maszyny te wykorzystuje się do obróbki części o złożonych kształtach (powierzchnie swobodne) i średniej wielkości. Poziome centra frezarskie (rysunek 6.4) to przede wszystkim obróbka korpusów. Frezarki i centra frezarskie jako pierwsze zaangażowano do obróbek z wysokimi prędkościami skrawania (HSM/HSC). Prędkości obrotowe wrzecion sięgają kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę, zaś posuwy robocze są rzędu kilkudziesięciu metrów na minutę. Nowoczesne sterowniki frezarek wyposażone w pamięci (dyski) o pojemności kilkudziesięciu GB, gniazda USB i porty RS 232 umożliwiają zapamiętanie programów operacji technologicznych złożonych z wielu tysięcy bloków (obróbka powierzchni swobodnych), składowanie wielu programów jak i ciągłą transmisję danych z zewnętrznego komputera.



Rysunek 6.1. 4-osiowa frezarka narzędziowa CNC



Rysunek 6.2. Frezarka CNC 5-osiowa (do tłoczników karoseryjnych)



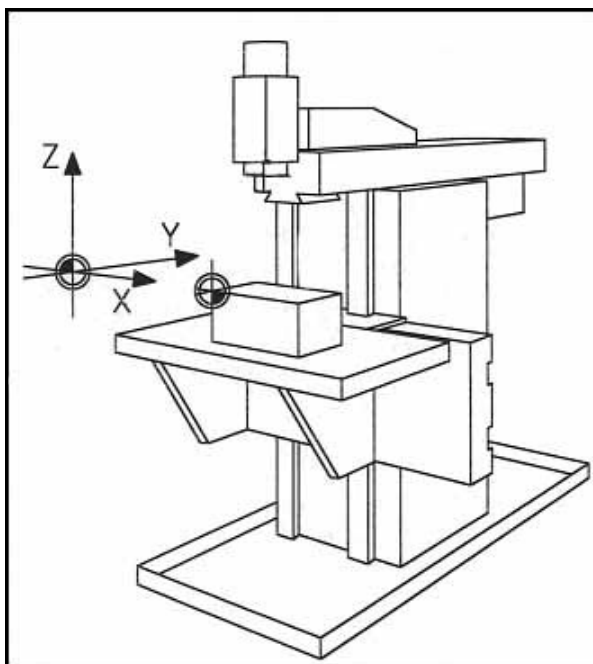
Rysunek 6.3. Centrum frezarskie pionowe CNC (4-osiowe)



Rysunek 6.4. Centrum frezarskie poziome CNC (3-osiowe)

6.2. Układ osi frezarki CNC

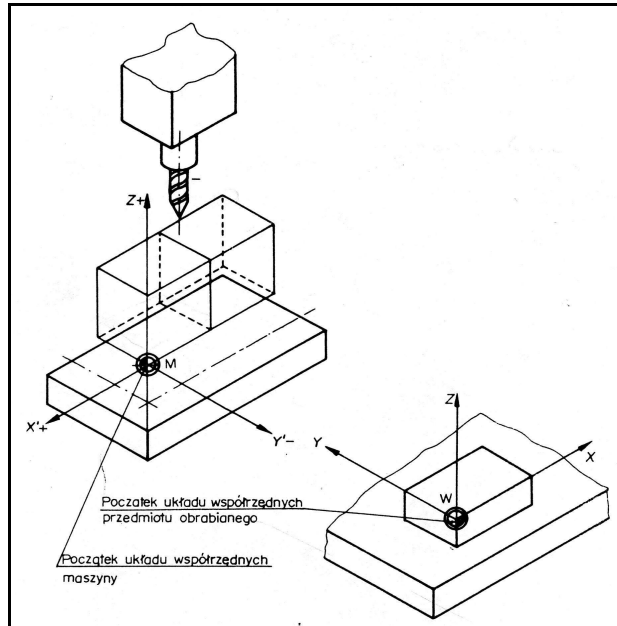
Frezarki i centra sterowane numerycznie przyjmują kartezjański układ współrzędnych X,Y, Z i obroty wokół tych osi A, B, C (rysunek 6.2.1). Jak już powiedziano we wcześniejszych rozdziałach maksymalna liczba osi sterowanych dla tych maszyn może być pięć. Zawsze są to osie liniowe i dwie z trzech osi obrotowych. Najczęściej spotyka się we frezarkach i centrach frezarskich układy trójosiowe, zaś układy 5-osiowe stają się powoli charakterystyczne dla centrów frezarskich i to pionowych. Centra poziome występują z reguły jako trójosiowe X, Y, Z. Stół obrotowy w centrum poziomym zwykle służy jako urządzenie podziałowe np. obrót co 90 stopni, niekiedy np. co 1 stopień a najrzadziej występują stoły o ruchu obrotowym ciągłym. W tym przypadku jest to rzeczywiście 4-ta oś sterowana.



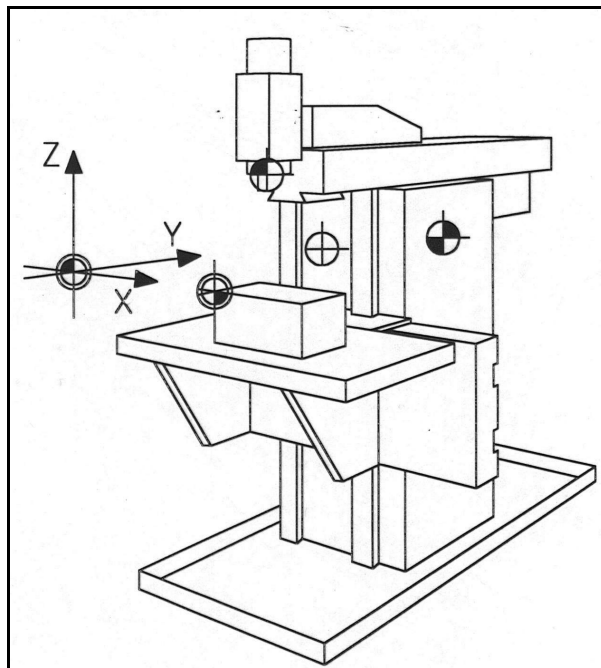
Rysunek 6.2.1. Układ osi frezarki CNC

6.3. Punkty charakterystyczne frezarek i centrów frezarskich CNC

Punkty charakterystyczne frezarki zostały określone w normie PN-ISO zgodnie z rysunkiem 6.3.1. Punkty te, zgodnie z poniższym rysunkiem ilustrują początek dwóch układów współrzędnych: układu współrzędnych maszyny i układu współrzędnych przedmiotu obrabianego. Jednakże, by w pełni opisać nie tylko przestrzeń roboczą ale i ułatwić programowanie oraz obsługę programu i maszyny, wprowadzono jeszcze inne punkty przestrzeni maszyny. Do nich należy zaliczyć: punkt początku układu współrzędnych narzędzia, punkt referencyjny (bazowy) oraz punkt wymiany narzędzia (rysunek 6.3.2). Najważniejszym układem jest układ współrzędnych maszyny. To właśnie w tym układzie następuje przemieszczanie i śledzenie toru ruchu narzędzia. To w tym układzie poszukuje się punktu referencyjnego (bazowego) wyznaczającego przestrzeń



Rysunek 6.3.1. Punkty charakterystyczne frezarki



Rysunek 6.3.2. Punkty charakterystyczne frezarki

roboczą maszyny. Układ współrzędnych przedmiotu obrabianego jest układem lokalnym, bardzo ważnym w odniesieniu do opisu trajektorii ruchu narzędzia względem powierzchni przedmiotu. Wskazanie początku układu współrzędnych przedmiotu obrabianego względem początku układu współrzędnych maszyny jest niczym innym, jak zdefiniowaniem tzw. zera programu obróbki technologicznej, często określanego jako bazy programu. Na ekranie sterownika, w zależności od wyboru operatora, mogą być wyświetlane informacje o położeniu narzędzia w obu układach bądź w jednym z nich. Punkt początkowy układu współrzędnych narzędzia związany jest z osią i czołem wrzeciona. W tym układzie określa się wartości korekcyjne narzędzia. Punkt wymiany narzędzia może być definiowany przez programistę bądź przez producenta maszyny jako stały punkt w przestrzeni roboczej. W tym ostatnim przypadku, stały punkt określany jest dla centrów frezarskich pionowych i poziomych.

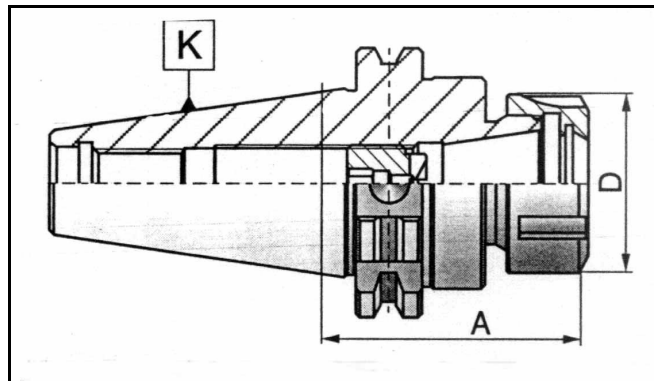
6.4. Przestrzeń robocza frezarki CNC

Przestrzeń robocza frezarki lub centrum frezarskiego będąca prostopadłością rozpiętą na osiach układu współrzędnych maszyny, zależy od wielkości maszyny a dokładnie ujmując, od zakresu wielkości przemieszczeń w poszczególnych osiach liniowych układu XYZ. Charakterystyki techniczne maszyn podając maksymalne przemieszczenia w poszczególnych osiach, określają wielkość przestrzeni roboczej. Nie oznacza to wcale, iż może być obrabiany przedmiot o takich maksymalnych wymiarach. Wielkość przedmiotu obrabianego jest trudna do precyzyjnego określenia, gdyż zależy ona od wymiarów ewentualnego oprzyrządowania technologicznego, wielkości oprawek narzędziowych i samych narzędzi. Nie należy też wielkości stołu roboczego utożsamiać z zakresem przemieszczeń w płaszczyźnie XY. Z zasady wymiary stołu są większe od przemieszczeń w osi X i Y.

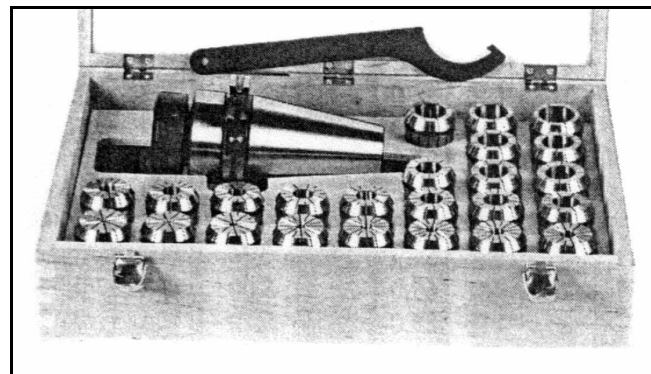
6.5. Frezy i oprawki frezarskie

Frezy są narzędziami, których ruch główny skrawania jest ruchem obrotowym. Ze względu na sposób mocowania można podzielić je na frezy trzpieniowe i nasadzone. Frezy trzpieniowe mogą mieć część chwytową walcową albo stożek Morse'a. Narzędzia z chwytem walcowym występują w zakresie średnic do 26 mm i mocowane są za pomocą

tulejek zaciskowych w oprawkach zaciskowych (rysunek 6.5.1). Frezy z chwytem Morse'a wymagają opravek z odpowiednim gniazdem (o tym samym numerze stożka Morse'a), bądź zastosowania tulei redukcyjnych w przypadku różnicy w wielkości stożków. Oprawki frezarskie do chwytów stożkowych Morse'a pokazano na rysunek 6.5.2. Wszystkie oprawki frezarskie zakończone są stożkiem o zbieżności 7:24 (niesamohamownym) i wielkościach nominalnych średnic podstawy stożka 30, 40 i 50 mm. Na frezarkach sterowanych numerycznie spotyka się najczęściej stożki 40 (SK40) dla średniej wielkości maszyn i 50 (SK50) dla maszyn o dużych mocach (pow. 10 kW) i dużych przestrzeniach roboczych. Oprawki zaciskowe do maszyn z ręczną i automatyczną wymianą narzędzi różnią się między sobą posiadaniem specjalnego pierścienia umożliwiającego przechwyt łopami mechanizmów wymiany. Producenci przyrządowania narzędziowego i technologicznego oferują zestawy opravek z kompletem tulejek zaciskowych (rysunek 6.5.3.) umożliwiającym mocowanie narzędzi z chwytem walcowym w zakresie średnic od 2 – 26 mm.



Rysunek 6.5.1. Oprawka zaciskowa

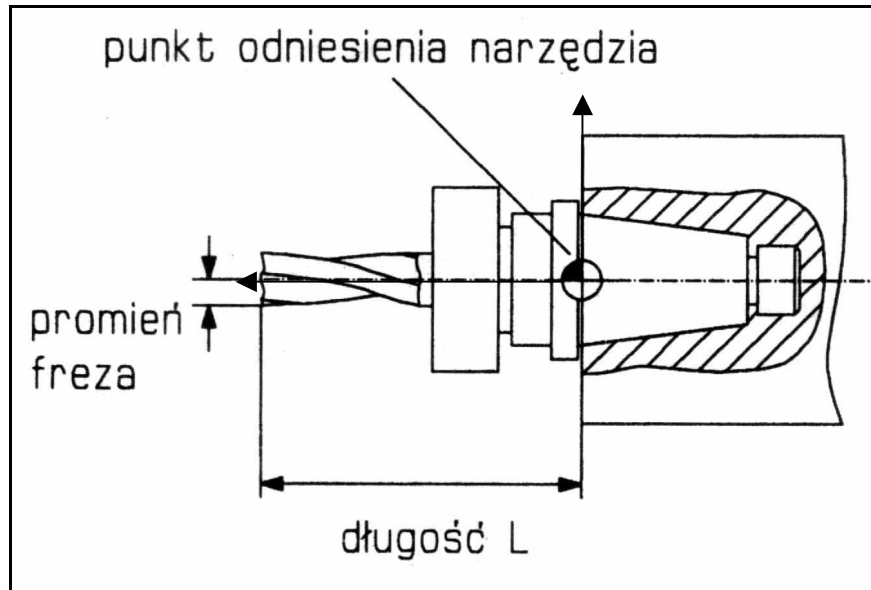


Rysunek 6.5.3. Zestaw opravek z tulejkami

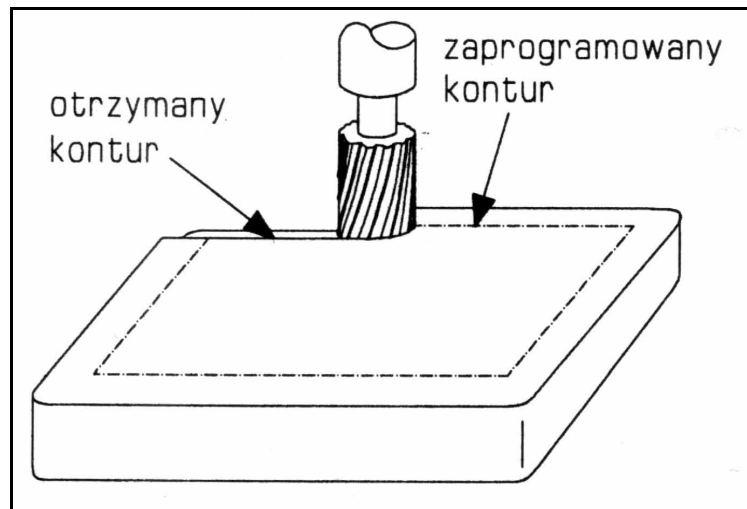
Tulejki pozwalają mocować narzędzia w niewielkim zakresie średnic (paru milimetrów) w stosunku do nominalnej wielkości. Tak więc dysponując kompletem tulejek można w pełnym zakresie (od 2 do 26 mm) mocować każde narzędzie (frez, wiertło, gwintownik, pogłębiacz, itd.). Kompletu takie, bądź pojedyncze tulejki i oprawki wykorzystywane są również w mocowaniu narzędzi w maszynach z ręczną wymianą, co z reguły ma miejsce poza centrami frezarskimi.

6.6. Wielkości korekcyjne narzędzi frezarskich

Układ współrzędnych narzędzia (układ lokalny w układzie współrzędnych maszyny) zlokalizowany jest na czole wrzeciona narzędziowego i w jego osi. W układzie tym określa się długość narzędzia i jego średnicę. Do określenia długości powinno dysponować się specjalnym ustawia-kiem z gniazdem odpowiadającym stożkowi wrzeciona narzędziowego. Czynność tę wykonuje się poza obrabiarką np. w izbie pomiarów, zaś odpowiednie wartości (długość i promień – rys. 6.6.1.) wpisuje się do właściwych korektorów (rejestrów) adresowo związanych z numerem narzędzia. Można też, co jest lepszym rozwiązaniem, żądać ustawienia freza na określoną długość. Tym bardziej, jeśli program został przygotowany w środowisku systemów CAM, gdzie przygotowując dane koniecznym jest wprowadzenie długości i średnicy narzędzia. Istnieją też sposoby, przy wykorzystaniu specjalnego ustawiaka z czujnikiem zegarowym, na wpisywanie automatyczne długości narzędzia do rejestru korektorów. Takie rozwiązania są bardzo wygodne i najczęściej spotykane przy uzbrajaniu w narzędzia centrów obróbkowych. W warunkach ustalonej organizacji produkcji, operator w przypadku wymiany stępionego narzędzia, nie ustawia na wartości korekcyjne nowego narzędzia, ale wymienia wcześniej przygotowaną oprawkę wraz z narzędziem na odpowiednie (np. żądane) wartości korekcyjne. Jeśli nie uwzględniono w programie korekcji średnicy np. przy obróbce konturu (rysunek 6.6.2.), otrzyma się błędnie wykonany przedmiot, którego wymiary będą pomniejszone o promień narzędzia.



Rysunek 6.6.1. Układ współrzędnych narzędzia i wartości korekcyjne freza



Rysunek 6.6.2. Błąd obróbki konturu w wyniku nieuwzględnienia korekcji średnicy freza

6.7. Dobór narzędzi frezarskich

Dobór frezów wynika z przyjętej technologii i strategii obróbki powierzchni, ale też zależy od kształtu obrabianej powierzchni (w tym promieni zaokrąglenia), żądanych dokładności (w tym chropowatości). W obróbkach zgrubnych kierując się wydajnością zaleca się przyjmować takie średnice narzędzi, które pozwolą na przyjęcie w ramach sztywności układu OUPN (obrabiarka-uchwyt-przedmiot-narzędzie) i obciążenia narzędzia, możliwie największe parametry technologiczne skrawania. Najczęściej będą to głowice frezowe, frezy palcowe pełnowęglkowe, frezy z ostrzami (wymiennymi) z węglików spiekanych, bądź ze stali szybko-tnącej. W obróbkach wykańczających, zwłaszcza powierzchni swobodnych i promieni zaokrąglenia, oprócz typowych frezów palcowych stosowane są frezy z końcówką kulistą. Przy obróbce promieni zaokrąglenia zaleca się by obróbka promienia wklęsłego była prowadzona nie jako kształtowa, lecz frezem kulistym o promieniu mniejszym od żądanego. Powyższa uwaga nie dotyczy obróbki promieni wypukłych. Ważnym jest też zwrócenie uwagi na długość części roboczej i długość całkowitą narzędzia. Nawet przy małych naddatkach, przy obróbce np. wierszowaniem i tam gdzie występują powierzchnie pionowe, należy zwrócić uwagę na długość części roboczej freza i gwałtowne obciążenie freza. Jeśli nie ma ograniczeń konstrukcyjnych, rozsądnym rozwiązaniem byłoby wprowadzenie niewielkiego (choćby parę stopni) pochylecia. Długość freza ma szczególne znaczenie przy obróbce głębokich wybrań, kieszeni. Zwrócić należy uwagę na ewentualność kolizji oprawek narzędziowych z przedmiotem obrabianym bądź elementami ustalająco-mocującymi. Nie bez znaczenia jest też sztywność dobranego narzędzia przy tego rodzaju obróbce. Niekiedy brak możliwości zastosowania dłuższego narzędzia, skłania do szczególnej uwagi przy doborze technologicznych parametrów skrawania.

6.8. Dobór parametrów skrawania przy frezowaniu

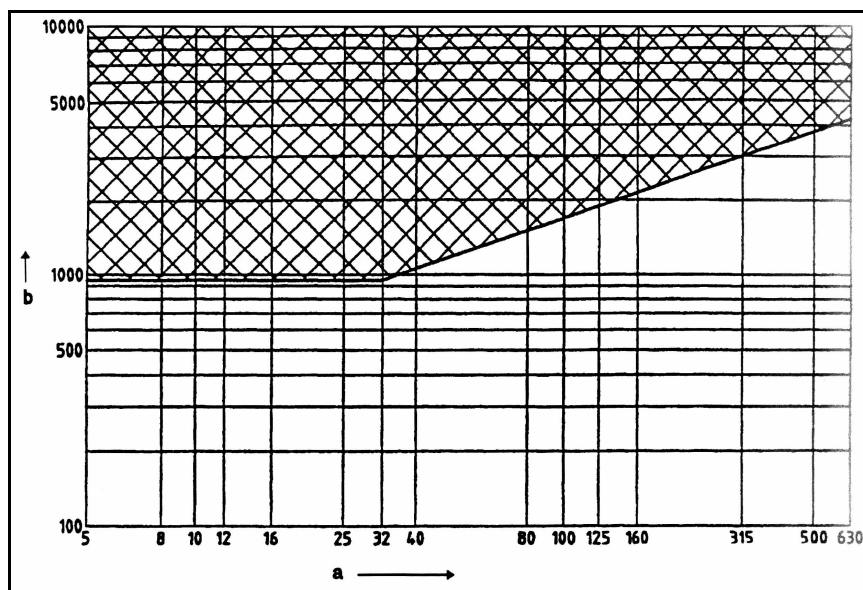
Dobór technologicznych parametrów skrawania przy frezowaniu, tak jak w każdej innej obróbce ubytkowej rozpoczyna się od ustalenia głębokości skrawania (ewentualnie też liczby przejść), posuwu i obwodowej prędkości skrawania. Oczywistym jest, iż dobór poszczególnych parametrów zależy od rodzaju obróbki, materiału obrabianego, materiału ostrza i warunków obróbki. Nie mając doświadczenia technologicznego,

dobierając parametry skrawania najlepiej posłużyć się katalogami narzędzi, wydawanymi przez wszystkich producentów narzędzi skrawających a zawierających zalecane wartości. Katalogi powalają dobrać technologiczne parametry skrawania z uwzględnieniem najważniejszych uwarunkowań (rodzaj i sposób obróbki, materiał obrabiany, materiał i kształt ostrza, głębokość skrawania, posuw i obwodowa prędkość skrawania, odnosząc je do okresu trwałości ostrza. Przypomnieć należy, iż podstawowym dobieranym posuwem jest posuw na ząb (p_z [mm/ząb]). Znając liczbę zębów narzędzia i prędkość obrotową (wartość adresu funkcji S w programie np. S1000) wyznaczoną na podstawie przyjętej prędkości obwodowej i średnicy freza, oblicza się posuw minutowy (p_t [mm/min]) będący wartością adresu funkcji F (Feed). Można też, co znacznie ułatwia dobór, posłużyć się dostępnymi programami na stronach www producentów narzędzi.

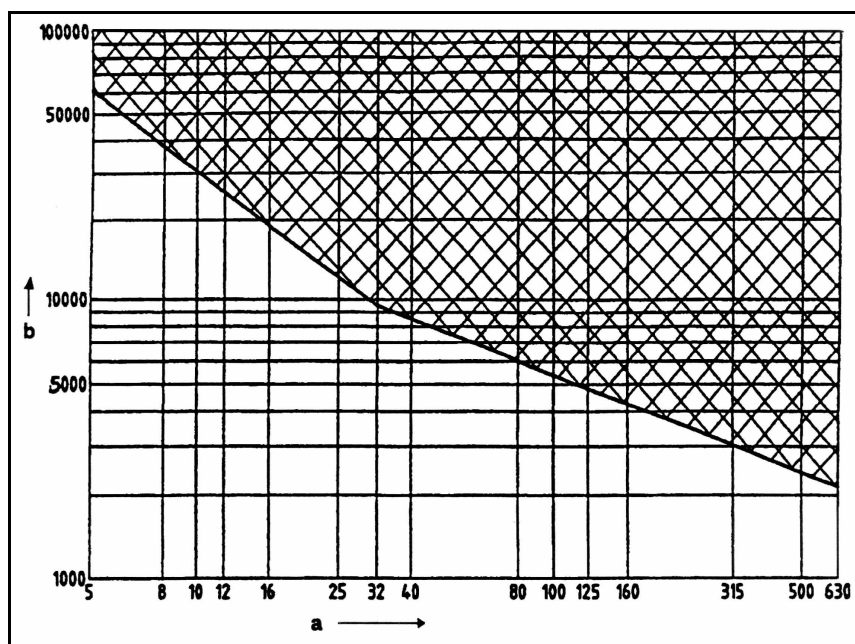
6.9. Obróbka HSM

Obróbka z wysokimi prędkościami skrawania (z ang. HSM – High Speed Machining lub określana też HSC – High Speed Cutting) jest kłopotliwa do zdefiniowania jednym zdaniem. Historycznie ujmując problem HSM, trzeba odnieść się do patentu Carla Salomona z 1931r mówiącego, iż przy obróbce z prędkościami 5-10 razy większymi niż tradycyjne, wskutek szybkiego odprowadzania ciepła przez wióry, obniża się temperatura w strefie skrawania. Dzisiejsze badania nie potwierdziły w całej rozciągłości tezy Salomona, lecz dały asumpt do szybkiego rozwoju produktywności poprzez wykorzystanie jego teorii.

Trudno też jest wskazać wyraźną granicę od jakiej prędkości skrawania rozpoczyna się obróbka HSM. Najczęściej HSM odnosi się do frezowania. Przyjmuje się iż są to prędkości kilka razy większe niż prędkości skrawania w konwencjonalnych obróbkach. Zauważyć należy, iż mówiąc dzisiaj o konwencjonalnych obróbkach (frezowanie), prędkości skrawania sięgają paruset m/min. By lepiej przybliżyć obszar w którym mówi się o obróbkach z wysokimi prędkościami skrawania, najlepiej odwołać się do wykresu z rysunku 6.9.1, gdzie na osi poziomej zaznaczono średnice frezów [mm], zaś na pionowej obwodowe prędkości skrawania [m/min].



Rysunek 6.9.1. Obszar HSM/HSC $V = f(d)$



Rysunek 6.9.2. Obszar HSM/HSC $n = f(d)$

Zgodnie z normą obszar zakreskowany jest właśnie zakresem obróbek HSM. Przekładając prędkość obwodową skrawania na prędkość obrotową [obr/min] w funkcji średnicy narzędzia, można zdefiniować inaczej alternatywnie obszar HSM/HSC (rysunek 6.9.2).

Obróbka z wysokimi prędkościami to także stosowanie dużych posuwów. Jest to konsekwencją przyjęcia wysokiej prędkości obrotowej narzędzia nawet przy mniejszym dobranym posuwie na jedno ostrze (zęb). HSM/HSC wymaga stosowania znacznie mniejszych głębokości skrawania, zwłaszcza gdy angażuje się w obróbkę frezy o małych lub bardzo małych średnicach (nawet paru milimetrów i mniejszych). Siły skrawania są znacznie mniejsze, co korzystnie wpływa na zmniejszenie odkształceń w układzie OUPN a tym samym zwiększa dokładność obróbki. Duże prędkości skrawania i małe posuwy na ząb sprzyjają obniżaniu chropowatości powierzchni a więc w wielu przypadkach mogą wyeliminować obróbki ślusarskie ręczne np. polerowanie. Obróbkę z wysokimi prędkościami skrawania można podsumować wymieniając jej zalety:

- zmniejszenie sił skrawania
- obniżenie temperatury w strefie skrawania
- możliwość obróbki materiałów utwardzonych i twardych
- zwiększenie dokładności obróbki i zmniejszenie chropowatości w stosunku do konwencjonalnej obróbki
- zwiększenie wydajności (produktywności)
- skrócenie czasu obróbki
- możliwość obniżenia kosztów wytwarzania.

Do wad zaliczyć należy przede wszystkim nadmierne zużycie narzędzi, konieczność stosowania narzędzi specjalnych przystosowanych do obróbek HSM jak i konieczność zaangażowania obrabiarek również przystosowanych do HSM/HSC (wysokoobrotowe wrzeciona (od kilku do kilkudziesięciu tysięcy obrotów np. 28 000 obr/min), specjalne oprawki narzędziowe zapobiegające luzowaniu się narzędzi, szybkie posuwy robocze rzędu parudziesięciu i więcej m/min (np. 40 m/min), sterowniki CNC ze specjalnymi funkcjami HSM. Jak widać, wejście w obróbki szybkościowe wymaga poczynienia niemałych nakładów inwestycyjnych, jednakże w ogólnym bilansie zarówno ze strony technicznej i ekonomicznej jest to rozwiązanie na pozytywne i przyszłościowe.



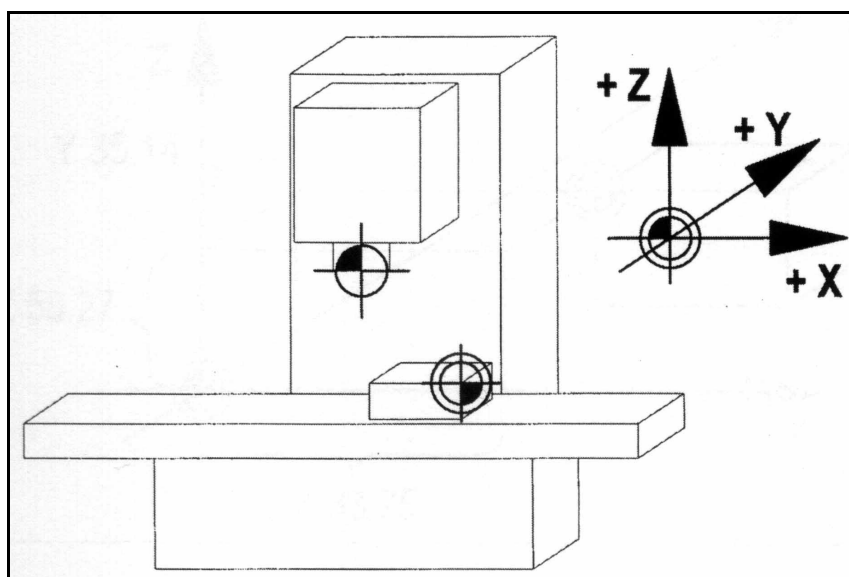
Programowanie frezarek i centrów frezarskich CNC

W tym rozdziale:

- ustalenie punktu zerowego przedmiotu obrabianego
- programowanie we współrzędnych absolutnych
- programowanie we współrzędnych przyrostowych
- interpolacja liniowa, kołowa i funkcją wyższego rzędu
- programowanie przemieszczeń we współrzędnych biegunowych
- dojazd i odjazd narzędzi od konturu
- kompensacja promienia freza
- programowanie cykli i podprogramy

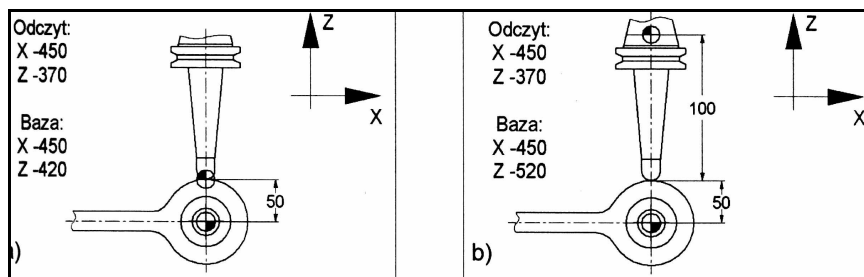
7.1. Ustalenie punktu zerowego przedmiotu obrabianego

Punkt zerowy przedmiotu obrabianego (rysunek 7.1.1.) to początek układu współrzędnych przedmiotu. Jego położenie określa się na przedmiocie na etapie programowania ruchów narzędzia. To względem tego punktu, niezależnie od sposobu programowania: ręcznie czy automatycznie – np. w środowisku systemów CAM, definiuje się kolejne współrzędne punktów konturu czy też powierzchni. Położenie tego punktu nazywanego też bazą programu ustala się w przestrzeni roboczej maszyny względem początku układu współrzędnych maszyny – zera maszyny. W celu określenia położenia bazy programu (początku układu współrzędnych przedmiotu) można posłużyć się narzędziem zerowym, sondą pomiarową a niekiedy nawet (co często spotyka się w praktyce), narzędziem niezerowym – jednym z narzędzi przygotowanych do obróbki. Doprowadzając do styku narzędzia z powierzchniami przedmiotu obrabianego w każdej z osi (rysunek 7.1.2.) i uwzględniając średnicę narzędzia w kierunku osi X i Y, wyznacza się punkt zerowy przedmiotu obrabianego. Zwrócić uwagę należy na wartości korekcyjne narzędzia.



Rysunek 7.1.1. Punkt zerowy przedmiotu obrabianego

Warto jeszcze raz zauważyć, iż wygodne jest przyjmowanie punktu początku układu współrzędnych przedmiotu obrabianego (zera przedmiotu, zera programu) od strony operatora. Ułatwia to lokalizację tego punktu narzędziami skrawającymi np. frezami, narzędziami zerowymi (specjalne trzpienie o określonej znanej długości), diatestami i sondami pomiarowymi. W przypadku trudności z dostępem do wcześniej obranego punktu zerowego, lokalizuje się punkt o znanej odległości (punkt pośredni) od punktu będącego zerem programu a jego współrzędne w każdej osi oblicza się z prostych zależności (rysunek 7.1.3.). Niekiedy lokalizację punktu zerowego poprzez ustawienie punktu pośredniego ułatwiają płytki wzorcowe oraz szczelinomierze.



Rysunek 7.1.3. Ustalenie punktu zerowego za pomocą punktu pośredniego [5]

7.2. Programowanie we współrzędnych absolutnych

Programowanie we współrzędnych absolutnych to wskazywanie punktów przedmiotu obrabianego zawsze od początku układu współrzędnych (rysunek 7.2.1.). Inaczej, programowanie we współrzędnych przyrostowych to nic innego jak wykorzystanie wymiarowania absolutnego z rysunku konstrukcyjnego. Pojawienie się w bloku programu funkcji modalnej G90 oznacza, iż wszystkie współrzędne traktowane są jako absolutne – mierzone od początku układu współrzędnych przedmiotu obrabianego. Funkcja obowiązuje do odwołania, tzn. przywołania funkcji aktywującej wymiarowanie przyrostowe.

7.3. Programowanie we współrzędnych przyrostowych

Programowanie we współrzędnych przyrostowych nosi też nazwę programowania we współrzędnych inkrementalnych i wiąże się z wymiarowaniem przyrostowym (inkrementalnym). Funkcja G91 (wg ISO) uaktywnia programowanie przyrostowe (rysunek 7.3.1.) i zaleca się jej stosowanie w celu powiązania współrzędnych w programie z wymiarowaniem przyrostowym na rysunku konstrukcyjnym. Funkcja obowiązuje do odwołania jej przez funkcję programowania we współrzędnych absolutnych.

7.4. Programowanie przemieszczeń we współrzędnych biegunowych

Określenie położenia narzędzia w płaszczyźnie interpolacji może być zdefiniowane w układzie współrzędnych biegunowych (rysunek 7.4.1.). Program obróbki technologicznej, analogicznie jak dla układu kartezjańskiego, może być redagowany w układzie absolutnym i przyrostowym. Programowanie w układzie współrzędnych biegunowych jest szczególnie wygodne w przypadku prowadzenia narzędzia po określonym promieniu i zajmowaniu różnych położenia kątowych w trakcie obróbki. Może być to np. wiercenie otworów (rysunek 7.4.2.) położonych na stałym (okręgu) lub zmiennym promieniu wodzącym i rozmieszczonych również na stałym lub dowolnym kącie względem siebie, obróbka wielokątów, roz-frezowywanie otworów (rysunek 7.4.3.), obróbka powierzchni gdzie na rysunku konstrukcyjnym do zwymiarowania zastosowano współrzędne biegunowe, itd. Najczęściej programowanie w układzie biegunowym wymaga podania:

- współrzędnych bieguna,

- wielkości promienia wodzącego
- kąta nachylenia promienia wodzącego A lub B do jednej z osi układu.

Współrzędne bieguna podaje się określoną funkcją przygotowawczą Gxx definiując kolejno współrzędne X, Y, Z, przy czym z reguły pierwsza współrzędna wskazuje oś bieguna. Względem tej osi określa się kąt nachylenia promienia wodzącego nadając mu konkretną wartość. Zgodnie z rysunkiem 7.4.1. wykonanie dwóch otworów zwymiarowanych biegunowo, zaniehbując ruch w osi Z, można zapisać następująco:

```
N... G0 G17 G90 X20 Y20
N... Gxx X20 Y20 Q50 A45
```

Zgodnie z rys. 7.4.2. fragment programu we współrzędnych biegunowych wiercenia 6 otworów, zaniehbując ruch w osi Z, przedstawia się następująco:

```
.....
N... G0 G17 X... Y... Z....
N...G1 X100 Y175
N...Gxx X100 Y100 Q75 A150
N... A210
N ...A270
N... A330
N...A30
N...M30
```

Rozfrezowywanie otworu (rysunek 7.4.3.) wymaga zastosowania interpolacji kołowej. Fragment programu obróbki technologicznej np. w układzie absolutnym przy zaniehbaniu przemieszczenia w osi Z, przedstawia się następująco:

```
.....
N... G0 X160 Y60
N...Gxx A360 I60 J0
N...M30
```

Dla programowania w układzie przyrostowym wykonanie tego otworu (rozfrezowywanie) wymaga następujących bloków:

```
.....
N... G0 X160 Y60
N...Gxx A360 I160 J60
N...M30
```

7.5. Interpolacja: liniowa, kołowa i funkcją wyższego rzędu

Interpolacja liniowa (G1/G01) jest to ruch narzędzia po prostej, który może być zaprogramowany w układzie absolutnym, przyrostowym czy biegunowym. Współrzędne punktów przyjętego układu odniesienia określają kolejne położenia narzędzia. Interpolacja kołowa może być realizowana zgodnie (rysunek 7.5.1.) z ruchem wskazówek zegara (G2/G02) i przeciwnie do ruchu wskazówek zegara (G3/G03). Niezależnie od kierunku interpolacja wymaga podania współrzędnych końca łuku (absolutnie lub przyrostowo) i współrzędnych zawieszenia promienia zdefiniowanych przyrostowo w stosunku do punktu początkowego łuku. Współrzędne promienia, czasami nazywane parametrami interpolacji określa się I, J, K stosownie do osi układu X, Y, Z. Odnosząc się do rysunku 7.5.1. zapis interpolacji kołowej zgodnej z ruchem wskazówek zegara dla programowania absolutnego ma postać:

```
N...G90
N.... G02 X60 Y20 I10 J-50
N...M30
```

zaś dla układu programowania przyrostowego:

```
N...G91
N.... G02 X60 Y-20 I10 J-50
N...M30
```

Dla układów sterowania numerycznego 3D możliwe jest programowanie ruchu po linii śrubowej. Wiąże się tu w bloku programu interpolację kołową z ruchem w trzeciej osi np. Z (rysunek 7.5.2.):

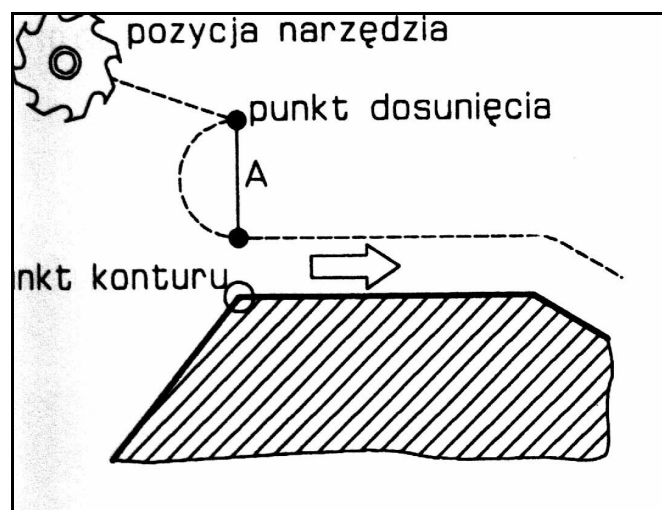
```
N... G17 G2 X0 Y60 Z20 I0 J-30
```

Istniejące w większości na rynku sterowniki CNC i języki programowania nie mają interpolacji splajnowej, gdyż ta występuje opcjonalnie i to w niewielu jednostkach sterujących znacznie podnosząc cenę maszyny. Interpolacja splajnowa została szczegółowo omówiona w poprzednich rozdziałach.

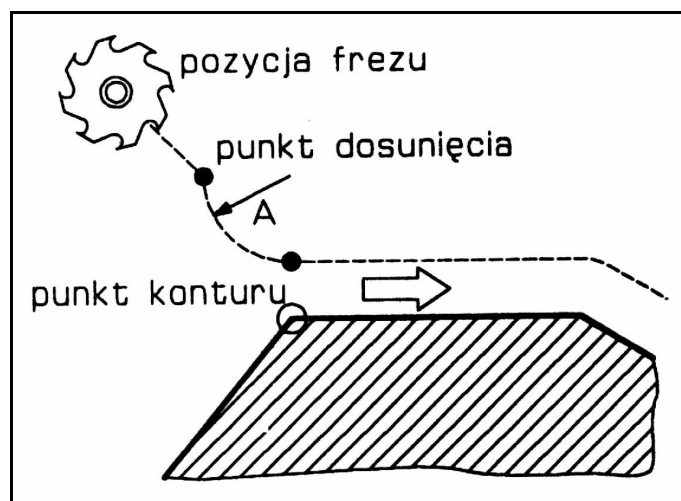
7.6. Dojazd i odjazd narzędzi od konturu

Wcinanie się freza w materiał obrabiany jest podstawową częścią procesu skrawania. Z racji wielostrzowych konstrukcji frezów jak i oczekiwanego łagodnego narastania siły skrawania obciążającej układ OUPN, trajektoria ruchu wcinającego się freza powinna być styczna do konturu. Stąd też, w każdym języku programowania sterowników CNC, do dyspozycji programisty są funkcje przygotowawcze pozwalające na realizację takiego ruchu. Wykorzystuje się tu najczęściej interpolacje kołowe związane z dojazdem po półokręgu Gxx (rys. 7.6.1.) lub ćwierćokręgu Gxx (rysunek 7.6.2.). Wybór sposobu dojazdu zależy jest od wzajemnych relacji wymiarowych narzędzie – przedmiot obrabiany, wielkości przestrzeni roboczej oraz pozycji narzędzia po skończonym poprzednio przejściu. Nie ma wyraźnych zaleceń, który wybrać z tych dwóch sposobów dojazdu do konturu. Analogicznie wygląda wybór sposobu odjazdu od konturu. Styczny odjazd od konturu to łagodne zmniejszanie siły obciążającej układ OUPN, a oznacza to korzystny wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową.

Oprócz stycznych dojazdów do konturu występuje dojazd równoległy (rysunek 7.6.3.). Przy tym sposobie wcinania się freza w materiał obrabiany, następuje szybki wzrost siły skrawania i tym samym szybko narastające obciążenie układu OUPN. Odjazd od konturu również może odbywać się równolegle, czemu towarzyszy szybki spadek siły skrawania.

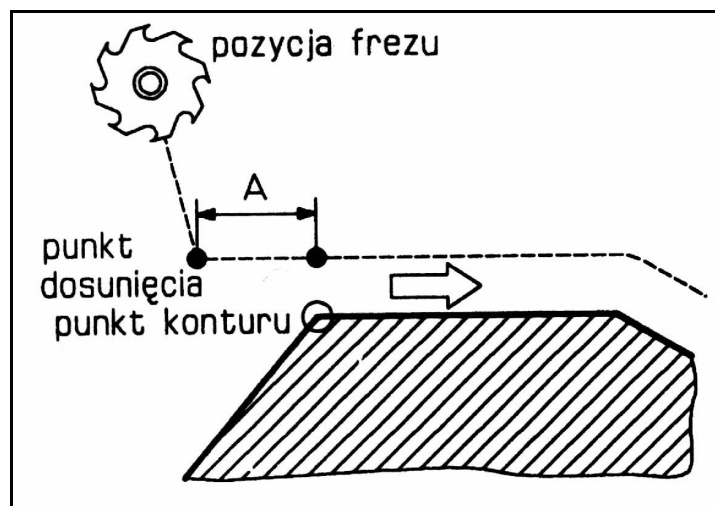


Rysunek 7.6.1. Dojazd do konturu po półokręgu



Rysunek 7.6.2. Dojazd do konturu po ćwierćokręgu

Dobór sposobu dojazdu i odjazdu od konturu powinien być realizowany tak by wprowadzać łagodne zmiany dynamiczne w układzie OUPN mając na uwadze dokładność wymiarowo-kształtową a także inne uwarunkowania jak realizacja przyjętej strategii obróbki czy też wzajemnych relacji wymiarowych narzędzia do przedmiotu obrabianego i wielkości przestrzeni roboczej.



Rysunek 7.6.3. Dojazd równoległy do konturu

7.7. Kompensacja promienia narzędzia frezarskiego

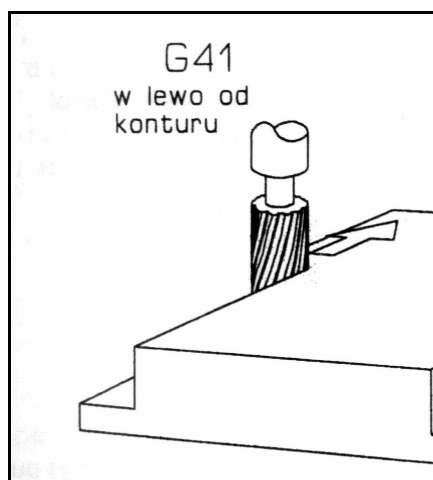
Ruch narzędzia po zaprogramowanej trajektorii odbywa się zawsze początkiem układu współrzędnych narzędzia. Każde narzędzie (frez) ma określoną długość i średnicę. Długość (wraz z oprawką) i średnica narzędzia to wartości korekcyjne. Przy obróbce konturowej i powierzchni (np. swobodnych) korekcja długości narzędzia jest bardzo istotna. Korekcja średnicy narzędzia ma dwa aspekty:

- jeśli jest to obróbka konturowa, to istotne jest odsunięcie narzędzia o wartość promienia gdyż zaprogramowana trajektoria odnosi się do teoretycznej osi freza;
- jeśli jest to obróbka powierzchni a ta zaś programowana jest w środowiskach systemów CAM, z racji definiowania narzędzia (m. innymi średnicy), generowane trajektorie uwzględniają promień freza.

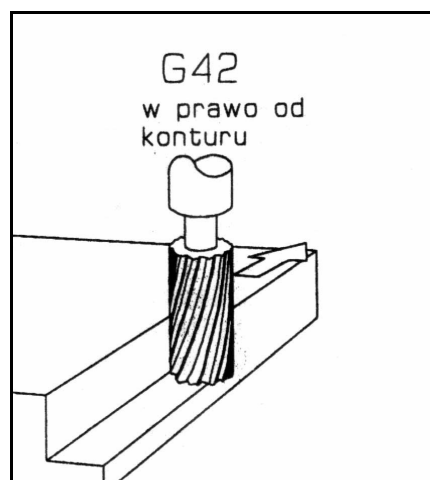
Przy obróbce konturowej przywołanie funkcji G41 (rysunek 7.7.1) lub G42 (rysunek 7.7.2.) powoduje odsunięcie toru narzędzia o wartość promienia freza. Przeliczanie trajektorii realizuje na bieżąco układ sterowania. Funkcja G41 powoduje odsunięcie narzędzia w lewo od

konturu - w lewo patrząc w kierunku ruchu narzędzia. Funkcja G42 powoduje odsunięcie narzędzia w prawo od konturu - w prawo patrząc w kierunku ruchu narzędzia. Nie ma znaczenia czy obrabiany jest kontur zewnętrzny czy wewnętrzny np. kieszeń. Istotne jest odniesienie do wektora ruchu posuwowego: w prawo lub w lewo od zwrotu wektora. Odwołanie kompensacji promienia freza realizuje funkcja G40.

Programowanie w systemach CAM niejako automatycznie uwzględnia odsunięcie narzędzia i to zarówno frezów palcowych (walcowo-czołowych) jak i frezów z końcówką kulistą. Tutaj nie używa się funkcji G41 i G42 a dla pewności wpisuje się funkcję G40 odwołującą kompensację promienia, nawet jeśli w wartościach korekcyjnych maszyny wpisano jego wartość.



Rysunek 7.7.1. Kompensacja w lewo od konturu



Rysunek 7.7.2. Kompensacja w prawo od konturu

7.8. Programowanie cykli i podprogramów

Języki programowania układów sterowania numerycznego analogicznie jak języki programowania komputerów umożliwiają wykorzystanie podprogramów i cykli stałych. Jeśli programując obróbkę można wydzielić powtarzające się kontury, kształty, grupy powierzchni, zabiegi obróbki

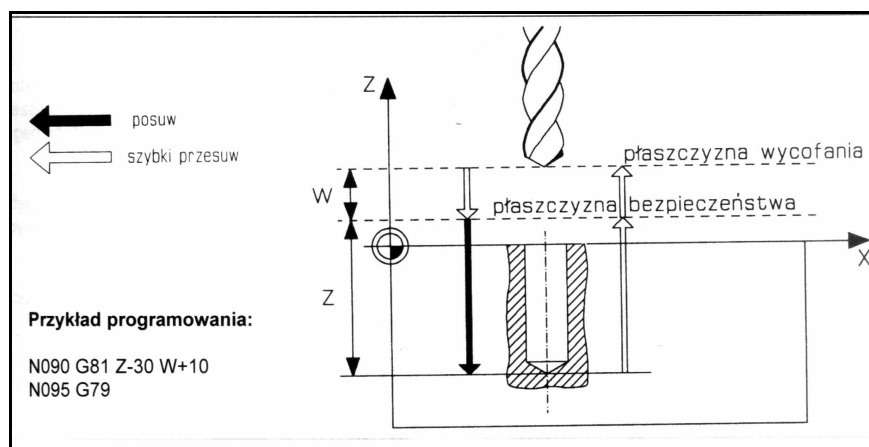
zgrubnej, średniokładnej czy dokładnej dla tej samej powierzchni, wtedy warto skorzystać z zaprogramowania ruchów narzędzi w postaci podprogramów. Podprogramy wywoływane są z programu głównego w zależności od języka sterownika, funkcją przygotowawczą Gxx lub przez Lnazwa nazwę podprogramu. Redagowanie podprogramu jest niczym innym jak pisaniem programu obróbki technologicznej. Po wykonaniu podprogramu sterowanie wykonuje następny blok po którym nastąpiło wywołanie podprogramu.

Cykle stałe to w zasadzie podprogramy obróbki typowych bądź często występujących układów powierzchni lub konturów a także powtarzających się sekwencji ruchów narzędzi. Cykle wywoływane są funkcjami przygotowawczymi Gxx z podaniem dalej w bloku odpowiednich, wymaganych definicją cyklu, parametrów cyklu. Po wykonaniu cyklu, niekiedy opisanego w więcej niż jednym bloku, sterowanie realizuje kolejny zaprogramowany blok.

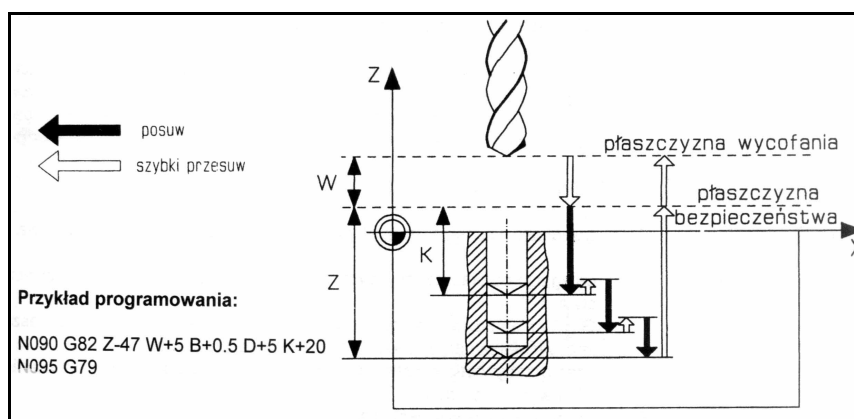
7.8.1.Cykle wiertarskie

Wykonanie otworu, poza wyznaczeniem odpowiednich współrzędnych, wymaga szybkiego dobiegu (ruch jałowy) w kierunku osiowym do płaszczyzny bezpieczeństwa, przełączenia na ruch roboczy i wykonanie otworu a potem szybkie wycofanie na pozycję wyjściową bądź do płaszczyzny bezpieczeństwa. Taką sekwencję ruchów można zapisać w postaci cyklu wiercenia otworu wywoływanym funkcją typu Gxx z odpowiednimi parametrami definiującymi poszczególne fazy obróbki (rysunek 7.8.1.1.). Jeśli jest to np. wiercenie głębokiego otworu, to niezależnie od maszyny na której wykonuje się daną operację, konieczne jest cykliczne wycofywanie narzędzia w celu łamania i usunięcia wiórów. Cykl taki może być zdefiniowany jako cykl głębokiego wiercenia otworów (rysunek 7.8.1.3.) lub wiercenia z łamaniem wióra, odpowiednią funkcją przygotowawczą Gxx wraz z listą parametrów (rysunek 7.8.1.2.). W każdym języku programowania funkcja G o innym adresie może wywoływać cykl jak i inna może być lista parametrów. Cykle wiertarskie mogą być połączone z nawiercaniem. Odmianą cykli wiertarskich mogą być cykle wytaczarskie i takie rozwiązania programowe spotyka się w wielu językach. Należy zwrócić uwagę, iż przy cyklach wytaczania powinno być odsunięte narzędzie w czasie wycofywania by nie zarysować otworu. Analogicznie do cykli wiertarskich wystąpią cykle pogłębiania, rozwiercania i gwintowania (w którym musi być uwzględniona zmiana kierunku obrotów wrzeciona przy wycofywaniu). Wszyst-

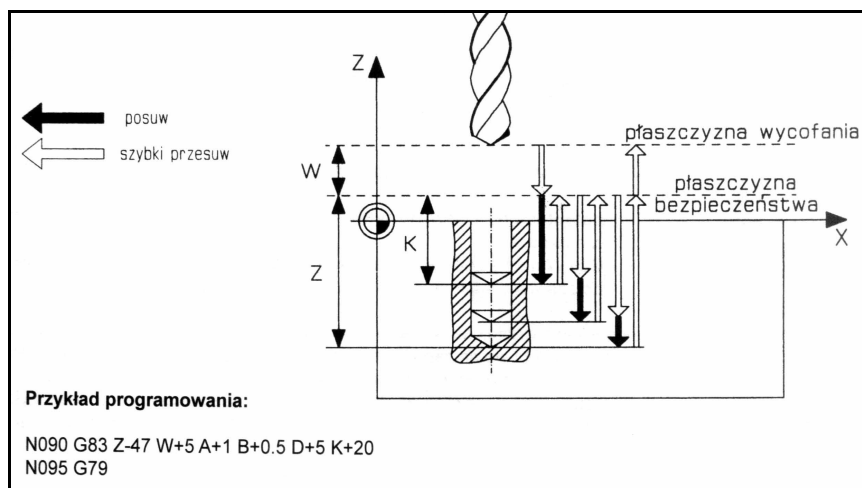
kie cykle mogą być realizowane w powolnej płaszczyźnie interpolacji, oczywiście wcześniej zdefiniowanej przed wywołaniem cyklu.



Rysunek 7.8.1.1. Cykl wiercenia



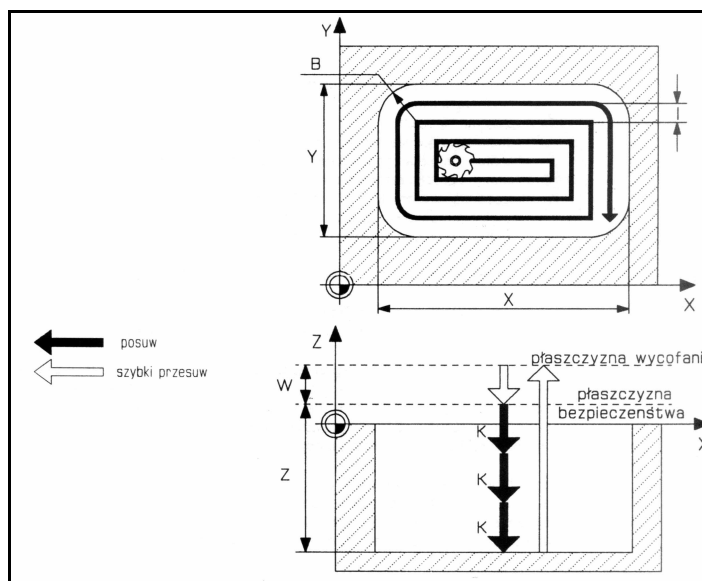
Rysunek 7.8.1.2. Cykl wiercenia z łamaniem wióra



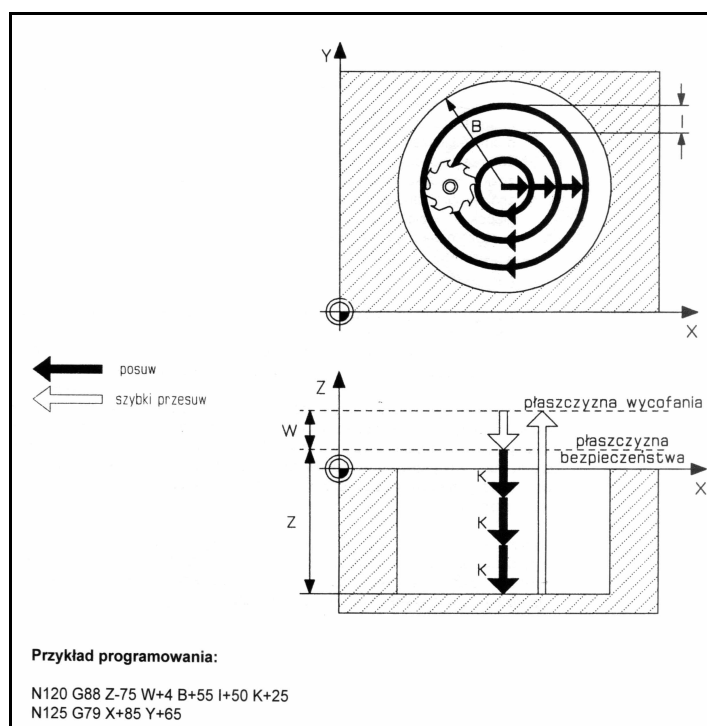
Rysunek 7.8.1.3. Cykl wiercenia głębokiego otworu

7.8.2. Cykle frezarskie - frezowanie kieszeni

Do cykli frezarskich zalicza się frezowanie kieszeni (wybrania), które może być o kształcie prostokątnym dowolnie usytuowanym względem układu współrzędnych przedmiotu obrabianego bądź o kształcie kołowym. Zalicza się również do cykli frezarskich frezowanie wybrań prostokątnych (rysunek 7.8.2.1.) bądź kołowych (rysunek 7.8.2.2.) z czopem (z wyspą). Pamiętać należy, iż wybrania prostokątne możliwe są do wykonania jedynie z promieniem zaokrąglenia, przy czym promień zaokrąglenia nie może być mniejszy niż promień freza. Programowanie frezowania kieszeni, oczywiście po wywołaniu funkcją Gxx, sprowadza się do podania wymiarów, promieni zaokrąglenia i usytuowania w układzie współrzędnych a także podziału naddatku. Sposób obróbki kieszeni w tym poszczególne trajektorie ruchu narzędzia i liczba przejść wyznaczana jest zgodnie z zaprogramowanym w danym języku cyklem na który technolog programista nie ma wpływu.



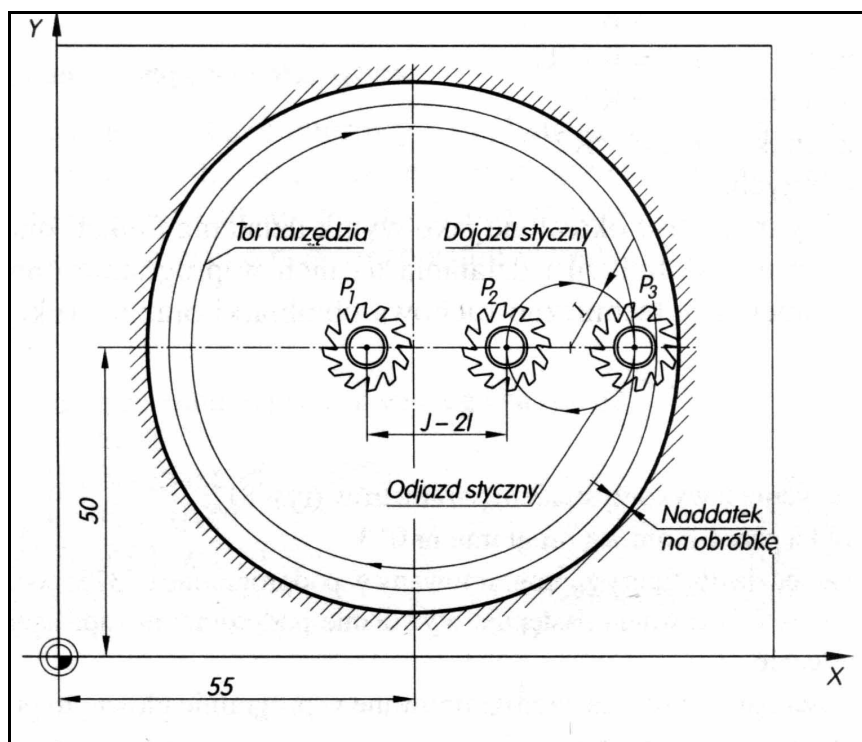
Rysunek 7.8.2.1. Cykl frezowania kieszeni prostokątnej



Rysunek 7.8.2.2. Cykl frezowania kieszeni kołowej

7.9. Rozfrezowywanie otworów

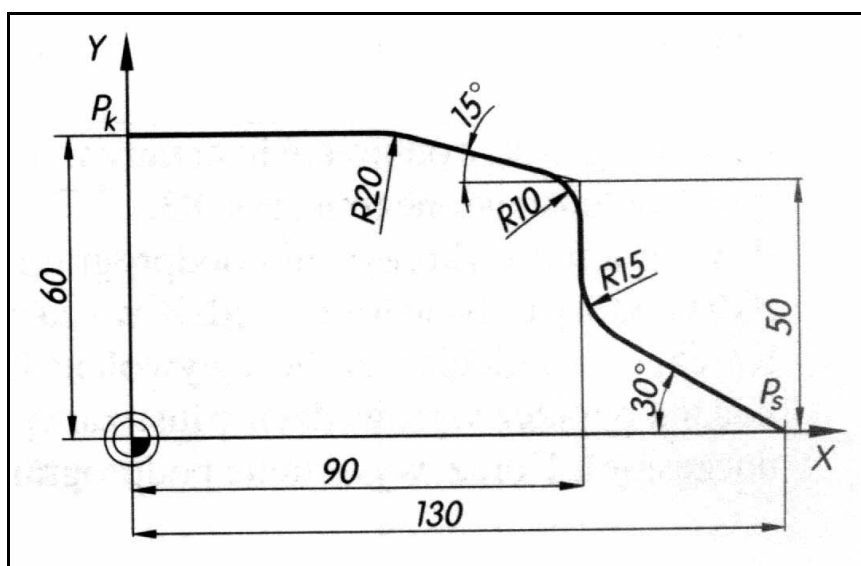
Rozfrezowywanie jest nietypową operacją wykonywania dokładnych otworów prowadzoną na frezarkach sterowanych numerycznie (rysunek 7.9.1). Rzadko spotyka się cykle frezarskie zdefiniowane jako rozfrezowywanie otworów. Najczęściej korzysta się z interpolacji kołowej G02 lub G03 pisząc stosowany fragment programu. Rozpoczynając obróbkę, poza wprowadzeniem freza do otworu wcześniejszymi poleceniami programu, zadbać należy o styczny wjazd i odjazd narzędzia jak i włączenie funkcją przygotowawczą stosownej kompensacji promienia freza G41 lub G42. Nie zaleca się promieniowego wejścia w naddatek na wymiar średnicy otworu, gdyż może pozostać ślad liniowego styku tworzącej powierzchni walcowej freza ze ścianką otworu. Przy zbyt głębokich rozfrezowywanych otworach, z uwagi na ugięcie freza wywołane siłami skrawania, zaleca się wykorzystanie ruchu śrubowego. Zwrócić należy również uwagę na dobór narzędzia, przede wszystkim na dokładność wykonania narzędzia w tym szczególnie na bicie promieniowe.



Rysunek 7.9.1. Rozfrezowywanie otworu

7.10. Programowanie konturowe

Programowanie konturowe albo też programowanie ciągiem konturowym to ruch narzędzia w płaszczyźnie interpolacji zgodnie z zarysem przedmiotu obrabianego (rysunek 7.10.1). Sposób zapisu poleceń programu przy obróbce konturowej jest taki sam jak dla toczenia. Tak więc trzeba uaktywnić obróbkę funkcją Gxx wpisując w kolejnych słowach bloku położenie katowe poszczególnych odcinków konturu Axxx mierzone względem dodatniego zwrotu osi X. Występujące w ciągu konturowym promienie zaokrąglenia (przejścia) muszą zostać zdefiniowane w bloku funkcją Cxx. Dobrane narzędzie np. frez palcowy musi mieć mniejszy promień niż żądany na rysunku konstrukcyjnym promień zaokrąglenia konturu przedmiotu obrabianego. Uwzględnić konieczność kompensacji promieniową freza funkcjami G41 lub G42.

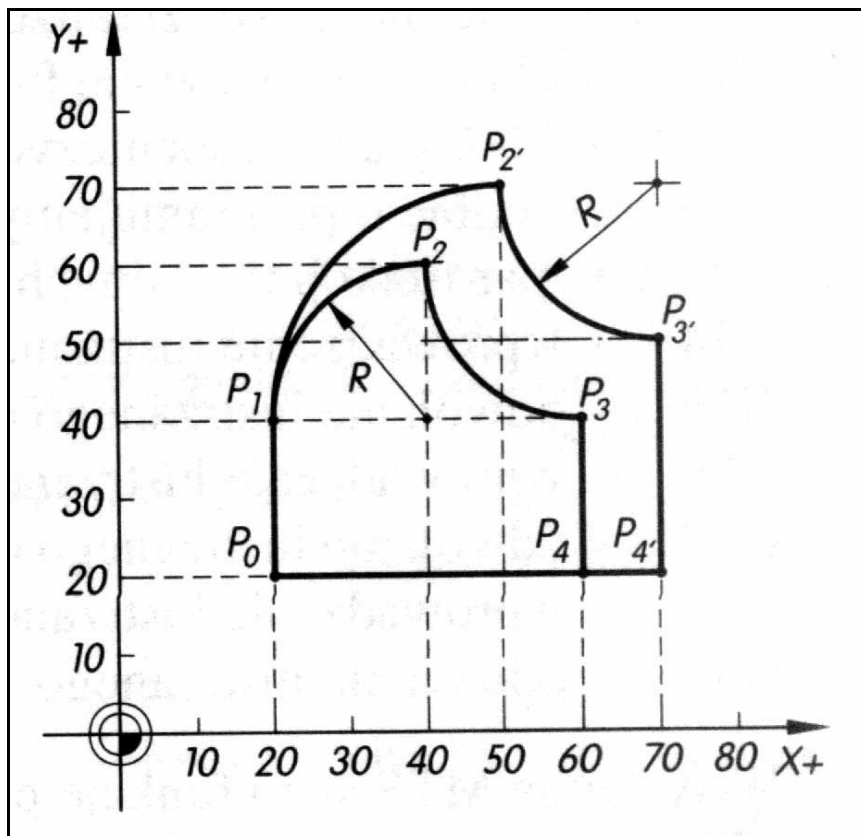


Rysunek 7.10.1. Ciąg konturowy

7.11. Programowanie parametryczne

Programowanie parametryczne odpowiada, w istocie rzeczy, modelowaniu parametrycznemu. Nie mniej jednak niekoniecznie bazować trzeba na modelu parametrycznym CAD, by generować parametryczny program

obróbki. Programować parametrycznie oznacza nadawanie parametrom wartości zmiennych, zależnych od kształtu przedmiotu obrabianego. Za-tem możliwe jest przy tym samym programie lecz dla innych wartości parametrów wykonanie przedmiotu o podobnym kształcie lecz innych wymiarach (rysunek 7.11.1). W programowaniu parametrycznym używa się najczęściej adresów R lub P. Parametry mogą być liczbami bądź wyrażeniami matematycznymi. Sposób programowania parametrycznego określają instrukcje programowania sterowników.



Rysunek 7.11.1. Programowanie parametryczne

8

Inne metody programowania obrabiarek CNC

W tym rozdziale:

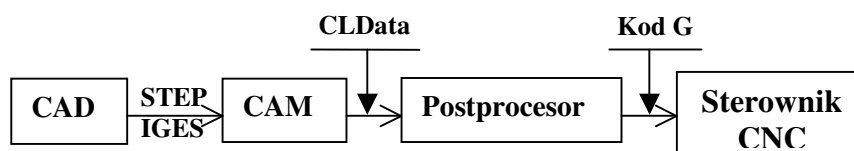
- Warsztatowo Orientowane Programowanie
- STEP-NC

8.1. Warsztatowo Orientowane Programowanie (WOP)

Programowanie orientowane warsztatowo nazywane niekiedy WOP-em (z j. niemieckiego: Werkstatt Orientierung Programmierung) polega to na tworzeniu (na ekranie komputera) z elementów opisanych w menu np. powierzchnia czołowa, promień, powierzchnia walcowa, kolejnych części konturu przedmiotu obrabianego np. wałka. W tle rysowanego zarysu przedmiotu obrabianego generowany jest program operacji technologicznej. Oczywiście jest, że proces ten musi być poprzedzony doborem materiału wejściowego (wymiary), doborem narzędzi, parametrów skrawania, itd. Nie mniej jednak jest to stosunkowo prosty i szybki sposób wygenerowania programu operacji technologicznej dla nieskomplikowanych kształtów przedmiotów osiowo-symetrycznych. Opisany wyżej skrótowo system nie posiada możliwości generowania trajektorii ruchu narzędzi przy obróbce złożonych powierzchni jak np. powierzchnie krzywoliniowe czy swobodne.

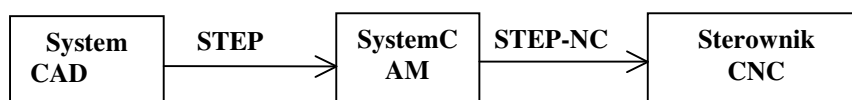
8.2. STEP-NC

Układy CNC maszyn posiadają własne języki programowania, opracowane przez firmy produkujące sterowniki np. SINUMERIK (Siemens), TNC (Heidenhaim), FANUC (Japonia), MELDAS (Mitsubishi), PRONUM (Pronum), itd. Stąd też konieczne są specjalne programy tłumaczące nazywane postprocesorami, przekładające zapis np. CLData na język konkretnego sterownika. Wiele aktualnie wykorzystywanych systemów CAM posiada generatory postprocesorów pozwalające na samodzielne zbudowanie postprocesora. Drogę od projektowania w środowisku CAD po obróbkę przedstawiono na poniższym schemacie:



Wykorzystywany bardzo często w środowiskach programów CAD format zapisu danych modelu produktu zawierający dane geometryczne i topologiczne STEP (Structured for the Exchange of Product Model Data), został ostatnio uzupełniony o strategię obróbki wynikającą z przyjętego

sposobu wytwarzania. Powstał więc nowy standard STEP-NC, który jest bezpośrednio wykorzystywany przez interfejs sterownika maszyny CNC przy założeniu, że maszyna wyposażona jest w sterownik nowej generacji odczytujący pliki tego standardu. Jednym z podstawowych atrybutów standardu STEP-NC jest to, że zapewnia dwukierunkowy przepływ informacji co oznacza iż wszelkie modyfikacje modelu w prowadzone na poziomie obróbki przenoszone zostają na model CAD. STEP-NC zapewnia możliwość przekazywania w pliku informacji od fazy konstrukcji po wytwarzanie, gdzie tutaj rolę przejmują inteligentne sterowniki CNC. Powszechnie stosowane sterowniki CNC funkcjami G i M (ISO 6983) nadzorują ruchy maszyny a w przypadku generowania kodów NC w środowiskach systemów CAM, wymagane jest stosowanie postprocesorów.



Inteligentne sterowniki CNC budowane dla standardu STEP-NC (AP238) nie wymagają programowania rozumianego w sposób tradycyjny, między innymi nie wymagają postprocesorów. Informacje zawarte w pliku STEP-NC definiujące na bazie modelu CAD powierzchnie i uzupełnione doбором narzędzia oraz parametrami technologicznymi są wystarczające do uruchomienia obróbki. Cykl ten, od modelu w środowisku CAD po wytwarzanie przedstawiono na powyższym schemacie. Standard STEP-NC podnosi dokładność wykonania jak i pozwala znacznie skrócić czas przygotowania zadania technologicznego. Prace nad standardem STEP-NC rozpoczęto w 1999 r. w USA. Pierwsze wdrożenie przemysłowe dokonano w Zakładach Airbus'a w Tuluzie w 2006r.

Literatura

1. W. Grzesik, P. Niesłony, M. Bartoszek: *Programowanie obrabiarek NC/CNC*; WNT Warszawa 2006.
2. J. Honczarenko: *Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe*; WNT Warszawa 2000.
3. J.Kosmol: *Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie*; WNT Warszawa 1998.
4. J. Kosmol: *Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem*; WNT Warszawa 2000.
5. B. Stach: *Podstawy programowania obrabiarek sterowanych numerycznie*; WSiP Warszawa 1999.
6. B. Warzybok: *Materiały szkoleniowe operatorów*.
7. Materiały firmowe f-my Siemens.
8. Materiały firmowe f-my PRONUM.
9. P. Skawiński, P. Siemiński: *Komputerowo wspomagane wytwarzanie*, materiały przygotowane do druku w WNT.

