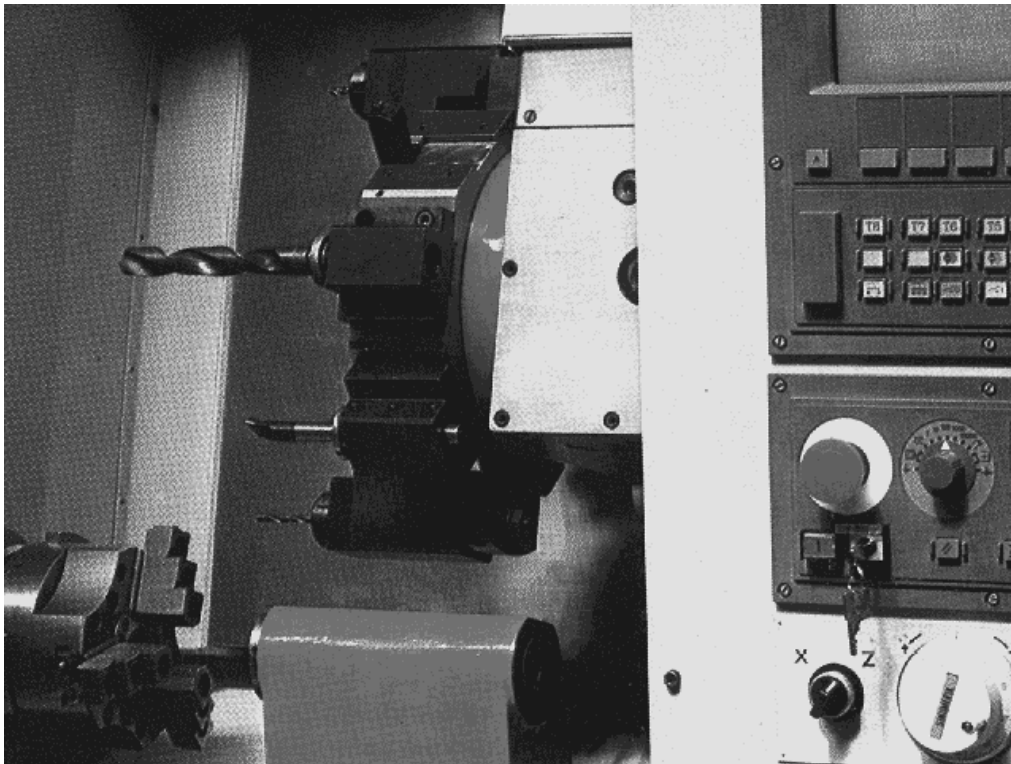


Jan SZADKOWSKI, Roman STRYCZEK,
Grzegorz NIKIEL

PROJEKTOWANIE PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH NA OBRABIARKI STEROWANE NUMERYCZNIE



Opiniodawcy:

Dr hab. inż. Józef Matuszek, Profesor PŁ

Dr inż. Jan Rafałowicz, Profesor PŁ

Bielsko-Biała 1995

Spis treści

Przedmowa	25
1. Dokładność obrabiarek sterowanych numerycznie	26
1.1. Wiadomości wstępne	26
1.2. Źródła odchylek wymiarów, kształtu i położenia powierzchni przedmiotu obrabianego	26
1.2.1. Odchyłki wnoszone przez program sterujący	26
1.2.2. Odchyłki wnoszone przez układ OUPN	27
1.3. Sterowanie adaptacyjne geometryczne – ACG	29
1.4. Sprawdzanie dokładności obrabiarek sterowanych numerycznie	30
1.5. Dokładność obróbki osiągalna na obrabiarkach sterowanych numerycznie	37
2. Charakterystyka procesów technologicznych	41
2.1. Operacje przygotowawcze	41
2.2. Obróbka na tokarkach wielonarzędziowych i centrach tokarskich	41
2.3. Obróbka na szlifierkach do wałków i otworów	48
Obróbka części korpusowych na centrach frezarsko–wytaczarskich	49
2.5. Obróbka części o powierzchniach krzywoliniowych na frezarkach CNC ze sterowaniem kształtowym	53
2.6. Obróbka korpusów i części płaskich na szlifierkach	54
3. Wyposażenie i narzędzia do pracy na obrabiarkach CNC	55
3.1. Uwagi ogólne	55
3.2. Wyposażenie tokarek sterowanych numerycznie	57
3.3. Wyposażenie frezarsko–wytaczarskich centrów obróbkowych	62
3.4. Analiza przestrzeni roboczej centrum obróbkowego	70
4. Programowanie obróbki na obrabiarkach sterowanych numerycznie	73
4.1. Zagadnienia ogólne	73
4.1.1. Struktura programów sterujących	73
4.1.2. Programowanie ręczne i wspomagane komputerem zewnętrznym	77
4.1.3. Układ odniesienia	78
4.2. Programowanie układów CNC	82
4.2.1. Wiadomości ogólne	82
4.2.2. Automatyczny pomiar i zapamiętywanie wymiarów narzędzi	83
4.2.3. Programowanie obszaru bezpiecznego	83
4.2.4. Cykle ustalone i gotowe formy	84
4.2.5. Programowanie bez obliczania ekwidystanty	86
4.2.6. Stosowanie ułatwionych sposobów programowania konturów i zbiorów punktów	88
4.2.7. Stosowanie podprogramów i programowanie parametryczne	89
4.2.8. Dialog	90
4.2.9. Rozbudowa funkcji przygotowawczych	90
4.3. Programowanie wspomagane komputerem zewnętrznym	91
4.3.1. Wiadomości wstępne	91
4.3.2. Język APT	91
4.3.3. Przykłady programowania w języku systemu APT	107
4.3.4. Język COMPACT II	113
4.3.5. Przykłady programowania w języku COMPACT II	115

4.3.6. System EXAPT	125
4.3.7. Instrukcje geometryczne w języku EXAPT	129
4.3.8. Przykłady programu źródłowego w języku systemu EXAPT 1	130
4.4. Układy programowania parametrycznego i komputerowe systemy programowania parametrycznego	136
5. Przykłady procesów technologicznych wykonywanych przy pomocy obrobarek sterowanych numerycznie	141
5.1. Proces technologiczny dla części typu korpus silnika	141
5.1.1. Program obróbki korpusu silnika	144
5.2. Proces technologiczny dla części typu wałek	147
5.2.1. Program obróbki 76/PN-315 (ustawienie I)	150
5.2.2. Uwagi do programu 76/PN-315	150
5.2.3. Program obróbki 77/PN-315 (ustawienie II)	152
5.2.4. Uwagi do programu 77/PN-315	153
5.3. Proces technologiczny części typu tarcza	153
5.3.1. Program obróbki MPF126 (ustawienie I)	154
5.3.2. Opis programu MPF126 (ustawienie I)	155
5.3.3. Program obróbki MPF127 (ustawienie II)	156
5.3.4. Opis programu MPF127 (ustawienie II)	157
5.3.5. Program obróbki MPF128 (ustawienie III)	158
5.3.6. Uwagi do programu MPF128 (ustawienie III)	158
5.4. Proces technologiczny dla części typu tuleja	159
5.4.1. Program obróbki 64/TAE (ustawienie I)	160
5.4.2. Opis programu 64/TAE	161
5.4.3. Program obróbki 65/TAE (ustawienie II)	162
5.4.4. Uwagi do programu nr 65/TAE	163
5.4.5. Program obróbki 66/TAE (ustawienie III)	163
5.4.6. Uwagi do programu 66/TAE	163
5.4.7. Program obróbki 66/TAE (ustawienie IV)	164
5.4.8. Uwagi do programu 67/TAE	165
5.5. Proces technologiczny dla części typu dźwignia	165
5.5.1. Program obróbki 9/HP4 (ustawienie I)	166
5.5.2. Opis programu 9/HP4	9
5.5.3. Program obróbki 10/HP5 (ustawienie II)	11
5.5.4. Uwagi do programu 10/HP5	12
5.6. Proces technologiczny dla części typu korpus	13
5.6.1. Program obróbki 1/HP5 (ustawienie I)	14
5.6.2. Program obróbki 2/HP5 (ustawienie II)	8
5.6.3. Program obróbki 3/HP5 (ustawienie III)	11
5.6.4. Uwagi do programów 1, 2, 3/HP5	18
5.7. Obróbka korpusu wiertarki stołowej WS-15	19
5.7.1. Podprogramy SPF1, SPF2	21
5.7.2. Podprogramy SPF3, SPF4	25
Literatura	26

Przedmowa

Wysokie wymagania stawiane wyrobom przemysłu maszynowego zmuszają do ciągłego rozwoju form i środków produkcji. Utrzymanie wysokiej konkurencyjności wymaga zachowania wysokiej jakości użytkowej produktów przy jak najniższych kosztach ich produkcji. Coraz wyraźniejsza jest tendencja do reagowania na potrzeby i wymagania indywidualnego klienta, co musi prowadzić do radykalnej zmiany struktury procesu technologicznego, uwzględniającej cechy zarówno produkcji masowej jak i jednostkowej.

Jednym z podstawowych elementów potencjału wytwórczego, którego dynamiczny rozwój możemy zaobserwować, są obrabiarki, przede wszystkim zaś obrabiarki ze sterowaniem numerycznym. Rozwój ten polega nie tylko na doskonaleniu cech użytkowych obrabiarek, podnoszeniu ich dokładności i wydajności, ale również na upowszechnianiu się nowych struktur organizacyjnych w jakich one pracują. Wspomnieć tu należy o automatycznych liniach obrabiarkowych, autonomicznych stacjach obróbkowych (ASO), elastycznych systemach obróbkowych (ESO) czy systemach bezzałogowych. Fakty te powodują konieczność zupełnie innego podejścia do problemów projektowania procesów technologicznych uwzględniających obróbkę skrawaniem, stawiając jednocześnie coraz większe wymagania wobec technologów.

W niniejszym skrypcie zasygnalizowano istotne zmiany jakie zaszły w przebiegu samej obróbki na obrabiarkach sterowanych numerycznie, problemach związanych z mocowaniem przedmiotów, kontrolą ich wymiarów, rozwojem nowych narzędzi stosowanych na tych obrabiarkach jak również dość obszernie przedstawiono zagadnienia projektowania programów sterujących. Szczególną uwagę poświęcono systemom komputerowego wspomagania projektowania (systemy CAD/CAM), które coraz szerzej są stosowane w przemyśle.

Skrypt przeznaczony jest dla studentów wydziałów mechanicznych, w szczególności do przedmiotów: obrabiarki, technologia budowy maszyn, automatyzacja procesów technologicznych, systemy CAD/CAM, obrabiarki sterowane numerycznie i elastyczne systemy obróbkowe, automatyzacja projektowania procesów technologicznych.

Autorzy

1. Dokładność obrabiarek sterowanych numerycznie

1.1. Wiadomości wstępne

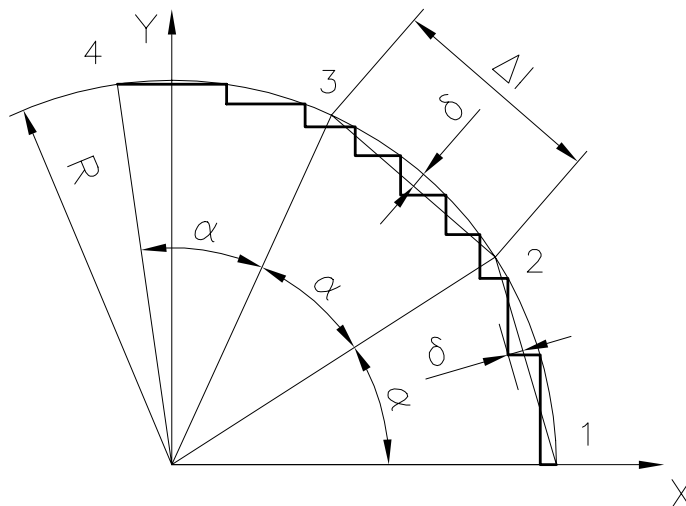
Współczesne obrabiarki sterowane numerycznie (obrabarki NC i CNC, dalej krótko OSN) posiadają szerokie możliwości technologiczne i wysoki poziom automatyzacji. Te zagadnienia zostały omówione szerzej w skrypcie „Obrabiarki sterowane numerycznie, roboty, elastyczne systemy obróbkowe”. Obrabiarki te charakteryzuje przy tym znaczna dokładność oraz zdolność zachowywania tej dokładności w ciągu stosunkowo długiego czasu – czyli znaczna niezawodność technologiczna. O dokładności OSN decyduje ich wysoka sztywność, wysoka zdolność rozdzielcza układu sterowania numerycznego (najmniejsze przemieszczenie jakie ten układ może zapewnić), wysoka dokładność i powtarzalność pozycjonowania.

1.2. Źródła odchyłek wymiarów, kształtu i położenia powierzchni przedmiotu obrabianego

1.2.1. Odchyłki wnoszone przez program sterujący

Odchyłki grube wynikają z błędów programisty w obliczeniu współrzędnych punktów bezpośrednio programowanych, w podawaniu komputerowi w czasie dialogu błędnych wielkości, mogą być również spowodowane błędami operatora stanowiska do dziurkowania taśmy lub przekłamaniami czytnika taśmy. Błędy takie, po wykryciu, wymagają powtórnego wykonania taśmy dziurkowanej lub korekty programu zapamiętanego w pamięci CNC lub DNC, niekiedy mogą być skompensowane przez wprowadzenie poprawek na wymiary narzędzi z pulpitu sterowania układu CNC.

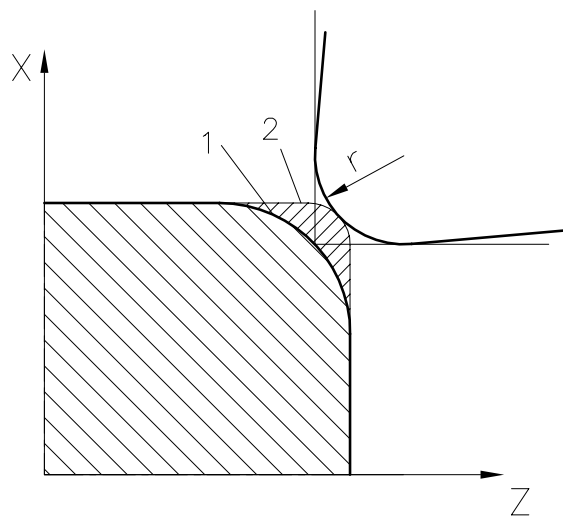
Na odchyłki programowania składają się: odchyłki aproksymacji, zaokrąglania przy obliczaniu współrzędnych, odchyłki interpolacji i odchyłki spowodowane nieuwzględnieniem promienia zaokrąglenia wierzchołka ostrza skrawającego. Odchyłki aproksymacji ilustruje, na przykładzie interpolacji liniowej łuku okręgu (Rys. 1). Łuk zostaje zastąpiony łamaną 1234, prowadzoną przez punkty bezpośrednio programowane. Dopuszczalną odchyłkę aproksymacji δ przyjmuje się zwykle w granicach $0,1 \div 0,15$ tolerancji obrabianego zarysu.



Rys. 1. Odchyłki aproksymacji dla interpolacji liniowej łuku

Zaokrąglenia przy obliczaniu współrzędnych są konieczne ze względu na ograniczoną zdolność rozdzielczą układów posuwów. W najbardziej rozpowszechnionych napędach sterowanych impulsowo (elektryczne i elektrohydrauliczne silniki skokowe; serwomechanizmy z silnikami elektrohydraulicznymi, silnikami prądu stałego lub przemiennego) zdolność rozdzielcza pokrywa się z tzw. wartością impulsu – wielkością elementarnego przemieszczenia zespołu obrabiarki spowodowanego jednym impulsem. W nowoczesnych obrabiarkach zdolność rozdzielcza wynosi zwykle $0,001 \div 0,010$ mm, w szlifierkach sięga $0,0002$ mm (firma Fortuna) a nawet $0,000025$ mm (firma Dryant Grinder), podobnie w precyzyjnych wytaczarkach z interferometrem laserowym w układzie pomiarowym, np. wytaczarko-frezarka Lucas 30 T o rozdzielczości $0,00025$ mm. Odchyłki interpolacji wynikają zarówno z ograniczonej zdolności rozdzielczej układu, jak i typu interpolatora (algorytmów interpolacji w układach CNC) oraz dynamiki napędów posuwów – odchyłka Δ na Rys. 1.

Odchyłki spowodowane nieuwzględnieniem promienia zaokrąglenia wierzchołka ostrza skrawającego występują najczęściej przy toczeniu odcinków konturów nierównoległych do osi obrabiarki (Rys. 2). Wzory do obliczenia poprawek na promień zaokrąglenia w układach NC są podawane w instrukcjach programowania obrabiarki, w układach CNC środkami programowymi wprowadza się automatyczne korygowanie ruchów narzędzia.



Rys. 2. Błąd kształtu wynikający z zaokrąglenia wierzchołka noża: 1 – zarys zaprogramowany; 2 – zarys rzeczywisty (jeżeli nie wprowadzi się poprawki)

1.2.2. Odchyłki wnoszone przez układ OUPN

Podstawowe znaczenie ma tu dokładność obrabiarki z uwzględnieniem zmian tej dokładności w czasie (niezawodność odniesiona do wskaźników dokładności obrabiarki). Dokładność geometryczna i dokładność pozycjonowania wpływają na odchyłki położenia w ruchach postępowych i obrotowych zespołów obrabiarki; odkształcenia sprężyste i cieplne, drgania wymuszone, parametryczne i samo wzbudne, tworzą bardzo złożony układ czynników wpływających na dokładność obrabiarki.

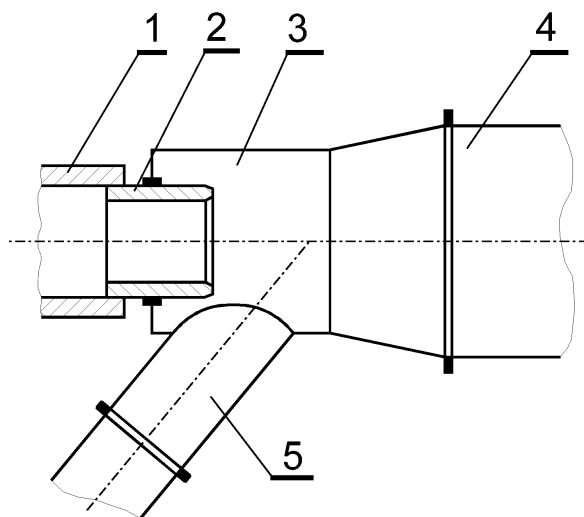
Bardzo ważna jest dokładność narzędzia: dokładność wykonania, nastawienia na wymiar i ustalenia na obrabiarce. Tolerancje średnic narzędzi do otworów powinny

być o połowę mniejsze niż w przypadku obróbki na obrabiarkach konwencjonalnych i korzystaniu z tulejek prowadzących narzędzie.

Nastawienie narzędzi na wymiar poza obrabiarką jest w tej chwili rozwiązaniem najbardziej rozpowszechnionym, choć już przestarzałym. W przyrządach optycznych mierzy się rzeczywiste wymiary narzędzi lub też nastawia się długość i średnice na zadany wymiar. Przy nastawieniu na wymiar głowic wytaczarskich, jeżeli przyrząd nie zapewnia wymaganej dokładności, należy położenie wierzchołka skorygować na obrabiarce. Do pamięci układów NC lub CNC wprowadza się długości i średnice frezów, głowic wytaczarskich, albo też różnice rzeczywistych wartości tych wymiarów i wartości przyjętych w programie. Dokładność pomiaru i nastawienia na wymiar narzędzi poza obrabiarką jest rzędu 0,01 mm w kierunkach osi X i Z dla noży tokarskich w oprawkach, a dla narzędzi pracujących ruchem obrotowym (frez, głowice wytaczarskie) rzędu 0,005 mm na promieniu i 0,015 mm na długości.

Przyrządy służące do pomiarów i nastawienia narzędzi na wymiar mogą być sprzężone z układem CNC obrabiarki. W układzie tego typu, firmy Cincinnati Milacron (USA), dotknięcie końcówką czujnika wierzchołka narzędzia w kierunku promieniowym i osiowym powoduje pokazanie na wyświetlaczu rzeczywistych wymiarów narzędzia oraz wprowadzenie ich do pamięci układu CNC, celem automatycznej korekty programu.

Na dokładność obróbki wpływa ustalenie narzędzia nastawionego na wymiar poza obrabiarką lub zmienianego, ustalenie i mocowanie oprawki lub bloku narzędziowego, zwłaszcza przy automatycznej zmianie na centrach obróbkowych; stawia to wysokie wymagania powierzchniom ustalającym (końcówki walcowe lub stożkowe, prowadnice bloków noży tokarskich). Niebezpieczne dla dokładności ustalania są uszkodzenia i zanieczyszczenia stykających się powierzchni, stąd wiele centrów obróbkowych ma możliwość przedmuchiwania otworu wrzeciona sprężonym powietrzem a także urządzenia do usuwania wiórów z przestrzeni roboczej (Rys. 3).



Rys. 3. Urządzenie ezyktorowe do usuwania wiórów przy pomocy sprężonego powietrza

Sprężone powietrze z sieci fabrycznej dopływa przewodem (1) do dyszy dyfuzora (2) wmontowanej w przewód (3). Przez przewód (5) odbywa się odsysanie wiórów

z przestrzeni roboczej; powietrze wraz z wiórami dostaje się następnie przewodem (4) do urządzenia cyklonowego.

Na dokładność obróbki wpływa znacznie dokładność ustalenia przedmiotu w uchwycie i uchwytu na obrabiarce, jak również sztywność tych elementów i stabilność zamocowania. Przedmioty obrabiane na obrabiarkach sterowanych numerycznie powinny być sztywne i mieć jak najmniejsze, ale równomiernie rozmieszczone naddatki na obróbkę. Jedynie wysoko zautomatyzowane układy sterowania nadzorującego mogą skutecznie chronić obrabiarkę i cały układ OUPN przed przeciążeniem (układy zabezpieczające i ACC) spowodowanymi znacznymi zmianami wymiarów warstwy skrawanej, lub też przez ruchy kompensacyjne korygować położenie przedmiotu i rozmieszczenie naddatków (układy ACG).

1.3. Sterowanie adaptacyjne geometryczne – ACG

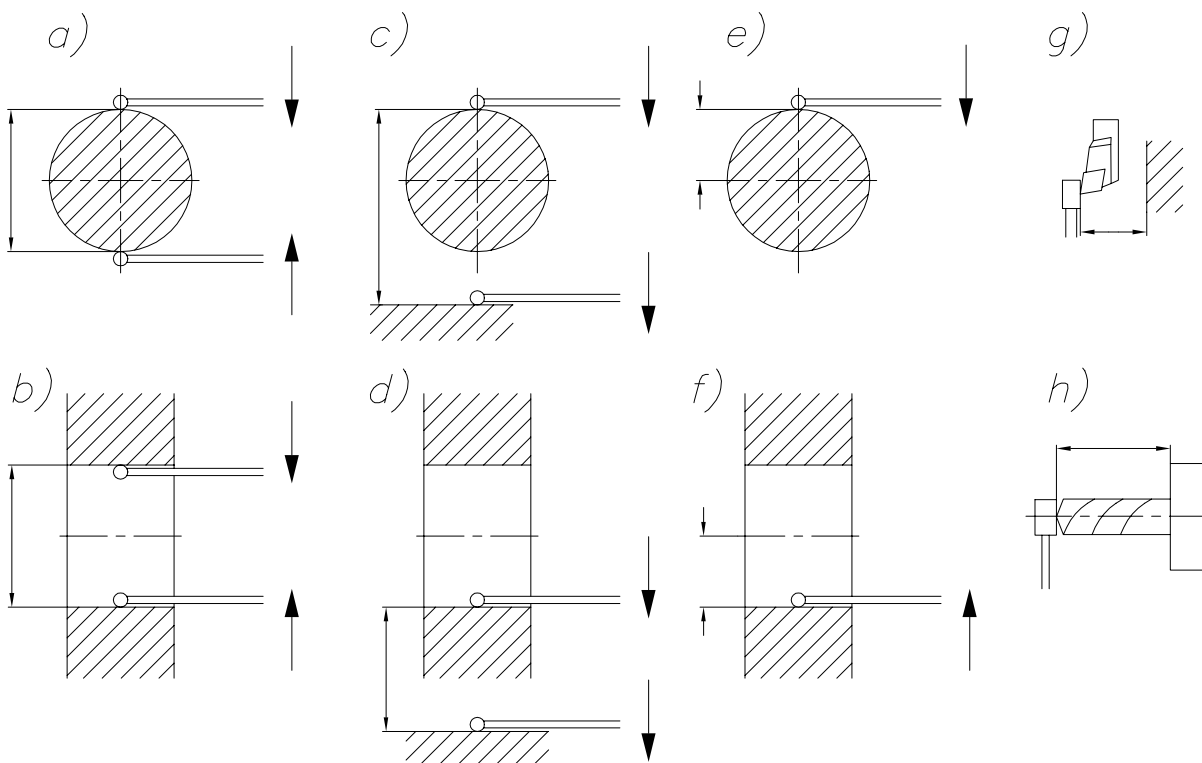
Układy ACG służą do automatycznego uzyskiwania wymaganej dokładności obróbki. Podstawa działań korekcyjnych są pomiary: przedmiotu obrabianego, narzędzia i ewentualnie określonych powierzchni obrabiarki. W zakresie pomiarów przedmiotu układy ACG realizują idee kontroli aktywnej (a właściwie regulacji i kompensacji aktywnej) – w szerokim rozumieniu, obejmującym pomiary przed, w czasie albo bezpośrednio po obróbce, wykonywane automatycznie na obrabiarce i mające na celu automatyczną korektę nastawienia wymiarowego obrabiarki lub zatrzymanie procesu po osiągnięciu wymiaru w granicach tolerancji. W węższym znaczeniu stosuje się pojęcie kontroli aktywnej do przypadku automatycznych pomiarów w czasie obróbki (szlifierki).

Pomiary przedmiotu przed obróbką mają na celu kompensację zakłóceń (korekcję położenia przedmiotu w stosunku do narzędzia, podział naddatku, wyrównanie naddatków). W podobny sposób można wyeliminować trasowanie odlewów lub odkuwek. Półfabrykat jest umieszczany na stole obrabiarki lub automatycznej maszyny pomiarowej, sterowanej numerycznie i przy pomocy czujnika typu sondy (czujnika dotknięcia) są określone współrzędne wybranych punktów. Na podstawie pomiarów układ CNC tworzy model geometryczny półfabrykatu, porównując go następnie z modelem zawartym w programie sterującym operacji. W oparciu o porównanie następuje automatyczne nadanie półfabrykatowi położenia zapewniającego najkorzystniejszy rozkład naddatków lub też zabrakowanie go.

Pomiary przedmiotu w czasie obróbki są szerzej realizowane na szlifierkach. Na tokarkach, centrach tokarskich i centrach frezarsko–wytaczarskich stosuje się pomiary przedmiotu po obróbce wstępnej – celem korekcji położenia narzędzia przed obróbką wykańczającą. W obu przypadkach mogą być użyte czujniki pomiarowe lub czujniki dotknięcia. Czujniki tokarek umieszcza się w gniazdach głowicy narzędziowej.

W przypadku centrów obróbkowych frezarsko–wytaczarskich czujnik dotknięcia (sonda) zostaje wprowadzony automatycznie z magazynu narzędzi do końcówki wrzeciona. Pomiary narzędzi mają na celu: kontrolę stanu narzędzia (wykrywanie złamań), określenie ubytku wymiarowego i korektę nastawienia narzędzia oraz automatyczne określenie wymiarów narzędzia po zamianie (eliminacja dokładnego ustawienia narzędzia poza obrabiarką).

Zasady pomiarów przedmiotu i narzędzi ilustruje Rys. 4, zawierający schematy pomiarów metoda stykowa z wykorzystaniem czujnika dotknięcia.



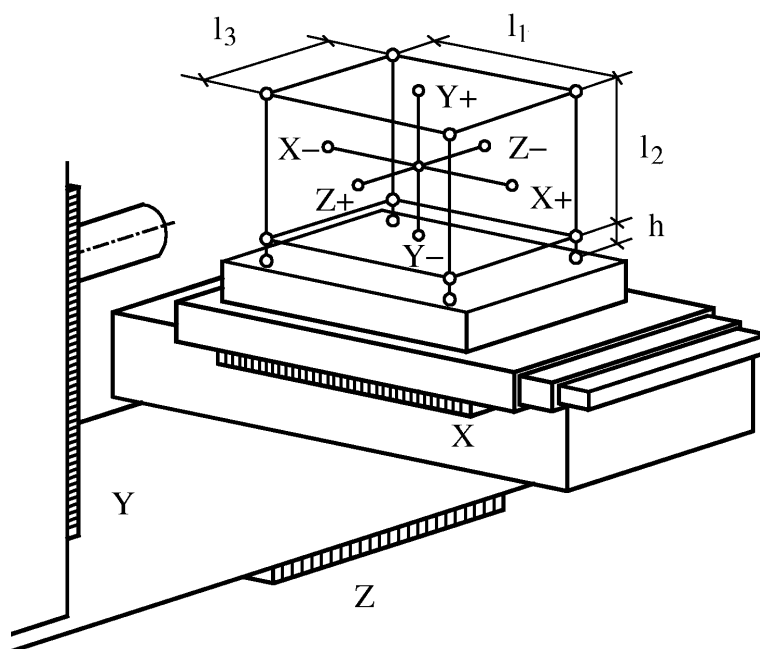
Rys. 4. Zasady pomiarów przedmiotów i narzędzi na obrabiarkach automatycznych: a-f – przedmiotu obrabianego, g, h – narzędzia, a, c, e – na tokarce, b, d, f – na centrum obróbkowym, a, b – dwupunktowego średnicy

1.4. Sprawdzanie dokładności obrabiarek sterowanych numerycznie

Do obrabiarek sterowanych numerycznie stosuje się metody badania: dokładności geometrycznej, podatności statycznej i dynamicznej, odkształceń cieplnych i dokładności obróbki, opracowane dla obrabiarek konwencjonalnych. Równocześnie zostały rozwinięte specyficzne metody badania dokładności pozycjonowania, obróbki wg programu testującego, obwodzenia czujnikiem części wzorcowej wg programu testującego.

Sprawdzanie dokładności geometrycznej obejmuje sprawdzenie: kształtu i wzajemnego położenia powierzchni ustalających przedmiot i narzędzie, torów ruchów zespołów wykonujących ruchy postępowe, położenia osi obrotu i torów ruchów zespołów wykonujących ruchy obrotowe. O dokładności obróbki decydują rzeczywiste tory punktów krawędzi skrawających w układzie odniesienia przedmiotu obrabianego, przebiegające zwykle w znacznym oddaleniu od powierzchni prowadnic, liniałów układów pomiarowych oraz od miejsc sprawdzania dokładności geometrycznej.

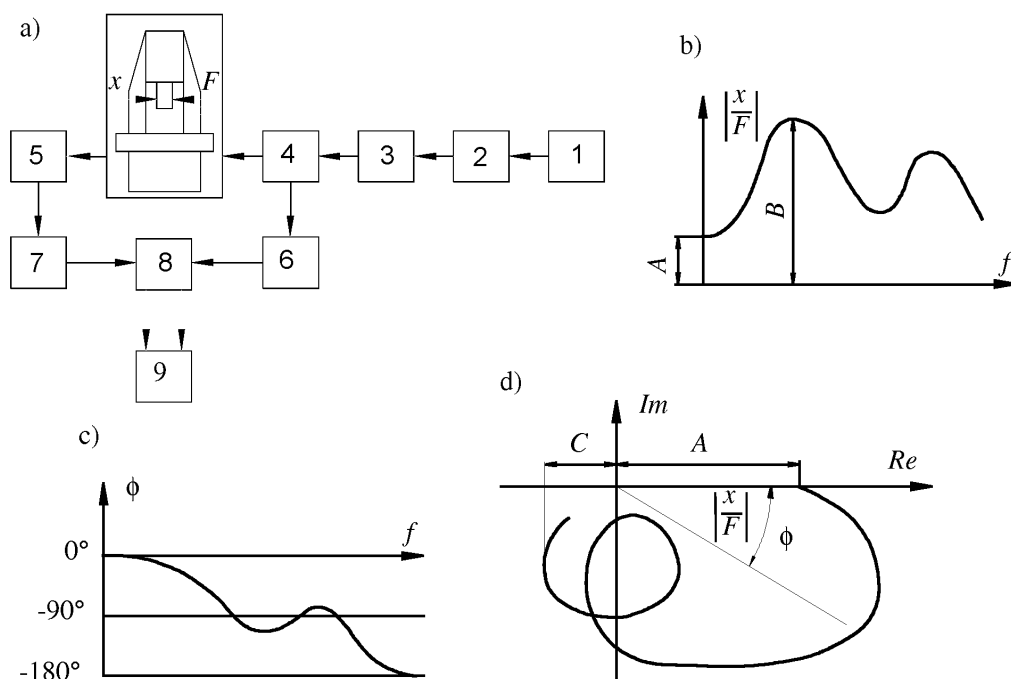
Metoda stosowana przez firmę Sunstrand (USA), przewiduje zlokalizowanie punktów pomiarów dokładności geometrycznej i dokładności pozycjonowania w części centralnej wykorzystywanej przestrzeni roboczej obrabiarki – Rys. 5.



Rys. 5. Lokalizacja punktów pomiaru dokładności geometrycznej i dokładności pozycjonowania obrabiarki

Pomiary te są przeprowadzane, w przypadku pokazanego na rysunku centrum poziomego, wzdłuż osi X, Y, Z o początku umieszczonym w środku geometrycznym prostopadłościanu, którego krawędzie odpowiadają najczęściej wykorzystywanym odcinkom prowadnic. Podatność dynamiczna obrabiarki określa jej odkształcenie pod działaniem sił zmiennych w czasie. Właściwości dynamiczne obrabiarki opisywane są przy pomocy charakterystyk częstotliwościowych podatności dynamicznej: charakterystyki amplitudowej, fazowej i amplitudowo-fazowej.

Rys. 6 pokazuje schematycznie metodę pomiarów podatności dynamicznej obrabiarki przez pobudzenie obrabiarki do drgań i pomiar przemieszczeń x jako reakcji na wymuszenie siłą F .



Rys. 6. Pomiar podatności dynamicznej obrabiarki

Analizator umożliwia zastosowanie wymuszenia nie tylko sinusoidalnego o częstotliwości f , ale także stochastycznego lub impulsowego. Sprzężenie analizatora z komputerem umożliwia natychmiastową obróbkę wyników pomiarów. Wśród istniejącego oprogramowania na szczególną uwagę zasługuje tzw. analiza modalna, umożliwiającą obliczeniowe wyznaczenie postaci drgań zespołu obrabiarki na podstawie pomiarów wg Rys. 6, dokonywanych w różnych punktach zespołu. Przedstawienie charakterystyki amplitudowo-fazowej na płaszczyźnie zmiennej zespolonej wiąże się tu z wykorzystaniem przekształcenia Laplace'a jako podstawy teoretycznej metod częstotliwościowych. Należy tu podkreślić, że dla każdego z punktów pomiarowych znaczenie praktyczne dla analizy modalnej ma dziewięć charakterystyk amplitudowo-fazowych, opisujących podatność dynamiczną dla drgań w każdym z trzech kierunków x , y , z , przy wzbudzeniu drgań również w trzech kierunkach.

W czasie pracy obrabiarki następują wzajemne oddziaływania dynamiczne pomiędzy masowo-sprężystym układem obrabiarki z jednej, a procesem skrawania i procesami tarcia z drugiej strony. Tak utworzony zamknięty układ może nie być stabilnym, tzn. powstające w nim drgania samo wzbudne mogą być do pewnej granicy wzmacniane, co wpływa bardzo niekorzystnie na trwałość obrabiarki, narzędzia i na dokładność obróbki. Bardzo orientacyjna miara skłonności do niestabilności jest wielkość C z Rys. 6 – korzystna jest jej jak najmniejsza wartość bezwzględna. Dokładniejsza analiza stabilności opiera się na kryterium Nyquista.

Rys. 6a przedstawia stanowisko badawcze do pomiarów dokładności dynamicznej obrabiarki, gdzie: (1) – generator sygnałów sterujących wzbudnikiem, (2) – wzmacniacz, (3) – wzbudnik elektrohydrauliczny, (4) – czujnik siły F , (5) – czujnik przemieszczeń x , (6) i (7) – wzmacniacze, (8) – rejestrator, (9) – analizator. Rys. 6b przedstawia charakterystykę amplitudową podatności dynamicznej, Rys. 6c –

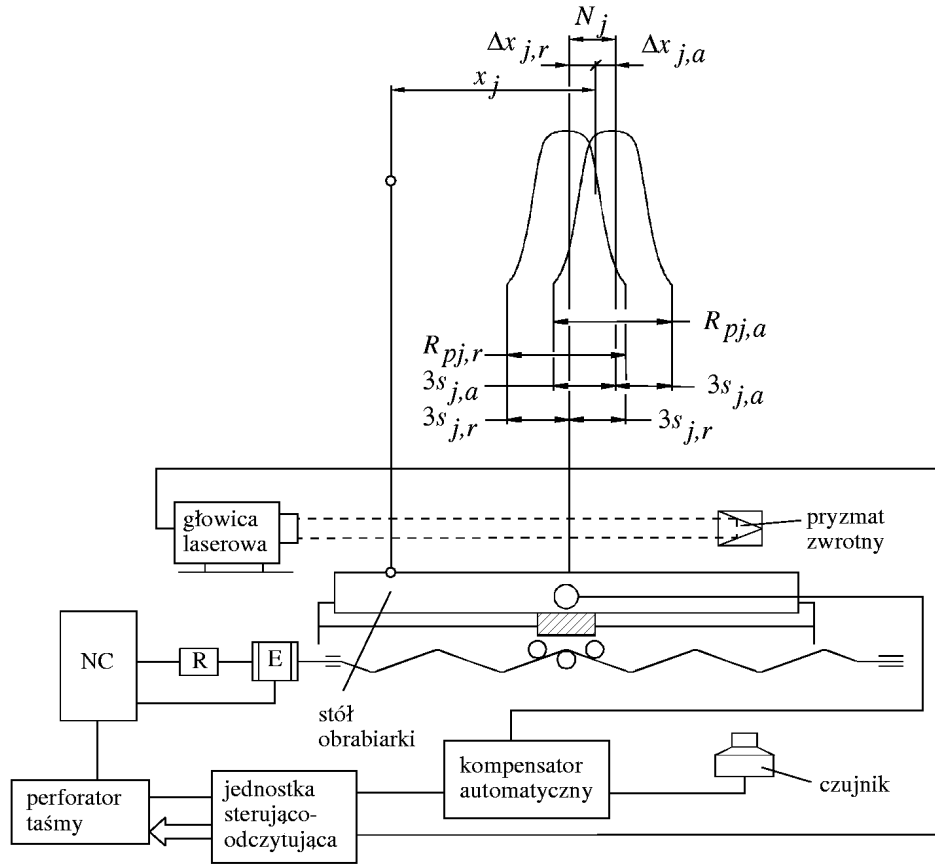
charakterystykę fazową, a Rys. 6d – charakterystykę amplitudowo-fazową, gdzie Φ – kąt przesunięcia fazowego pomiędzy siłą F i przemieszczeniem x , f – częstotliwość wymuszeń siły, A – podatność statyczna układu (odwrotność sztywności statycznej), B – podatność odpowiadająca jednej z częstotliwości rezonansowych (najmniejszej), C – największa ujemna wartość części rzeczywistej charakterystyki amplitudowo-fazowej, Im – część urojona liczby zespolonej, Re – część rzeczywista.

Odształcenia cieplne zespołów obrabiarek wpływają w znaczący sposób na dokładność obróbki. Nierównomierne nagrzewanie powoduje zmiany położenia osi wrzeciona, położenia punktu zerowego obrabiarki M , naruszenie dokładności ruchów postępowych i obrotowych, a także zakłócenia w pracy torów sprzężeń zwrotnych serwo mechanizmów. Szczególne znaczenie mają tu odształcenia części bazowych: łóż, stojaków, wrzecienników.

Pola temperatur są po rozpoczęciu pracy niestacjonarne, stabilizacja następuje po 6÷10 godz. pracy; analiza pól temperatur i odształceń jest możliwa na drodze teoretycznej (metoda elementów skończonych przy użyciu komputera) i doświadczalnej (na biegu luzem – badanie zmian dokładności geometrycznej lub w czasie próby praca – obróbka i analiza dokładności kolejnych przedmiotów). Badania doświadczalne odształceń cieplnych są bardzo pracochłonne – rzędu 10 godzin przy tych samych obrotach wrzeciona, po czym obrabiarka stygnie w ciągu 12÷16 godzin.

Sprawdzenie dokładności pozycjonowania jest przedmiotem normy PN-81/M-55551/32. Schemat stanowiska do pomiarów jest pokazany na Rys. 7, na przykładzie wykorzystania zestawu laserowego Hewlett-Packard 5526A. Pomiar polega na n -krotnym pozycjonowaniu zespołu obrabiarki w każdym z $m+1$ punktów rozmieszczonych wzdłuż sprawdzanej osi liniowej lub kątowej (w niejednakowych odstępach od siebie, aby uniknąć wpływu odchyłek powtarzających się okresowo). W każdym z $n(m+1)$ pomiarów określa się odchyłkę $\Delta x_{ji} = x'_{ji} - x_j$ jako różnicę pomiędzy rzeczywistym położeniem zespołu x'_{ji} i położeniem zadanym x_j w j -tym punkcie pomiaru; $j = 0, 1 \dots m$; $i = 1, 2 \dots n$. Indeksy wielkości są uzupełnione literami a lub r , oznaczającymi: a – dosuwanie zespołu do zadanego położenia ruchem odpowiadającym dodatniemu zwrotowi osi, r – zwrotowi ujemnemu – Rys. 7.

Rozkład wartości Δx_{ji} w położeniu j -tym jest określony przez dwie krzywe gęstości rozkładu, odpowiadające dwom zwrotom dosuwania zespołu. Wartości średnie odchyłek $\Delta x_{j,a}$ i $\Delta x_{j,r}$ są szacowane jako średnie arytmetyczne odchyłek $\Delta x_{ji,a}$ i $\Delta x_{ji,r}$. Wartość $N_j = \Delta x_{j,a} - \Delta x_{j,r}$. Średnie odchylenia $S_{j,a}$ i $S_{j,r}$ są szacowane w oparciu o rozstęp R_j wartości Δx_{ji} (dla n w granicach 5÷10) lub estymator nieobciążony średniego odchylenia kwadratowego S'_j (dla próbki $n > 10$).



Rys. 7. Stanowisko do pomiaru dokładności pozycjonowania obrabiarki

Wartości średnie odchyłek w j -tym położeniu:

$$\Delta \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_{ji} \quad (1)$$

Rozstęp i średni rozstęp w j -tym położeniu:

$$R_j = |\Delta x_{ji \max} - \Delta x_{ji \min}| \quad (2)$$

$$\bar{R}_j = \frac{1}{3} [R_{j-1} + R_j + R_{j+1}]$$

przy czym dla skrajnych położen (zerowego i ostatniego) stosuje się wzory:

$$\bar{R}_0 = \frac{1}{2} [R_0 + R_1] \quad (3)$$

$$\bar{R}_m = \frac{1}{2} [R_{m-1} + R_m]$$

Średnie odchylenia w tym położeniu:

$$S_j = \frac{1}{d_m} \bar{R}_j \quad (4)$$

przy czym wartości d_m zależą od liczby m :

m	5	6	7	8	9	10
d_m	2,326	2,534	2,704	2,874	2,970	3,078

Jeżeli liczba m dosuwów do zadanego położenia jest większa od 10, to wartość S_j należy obliczyć ze wzoru:

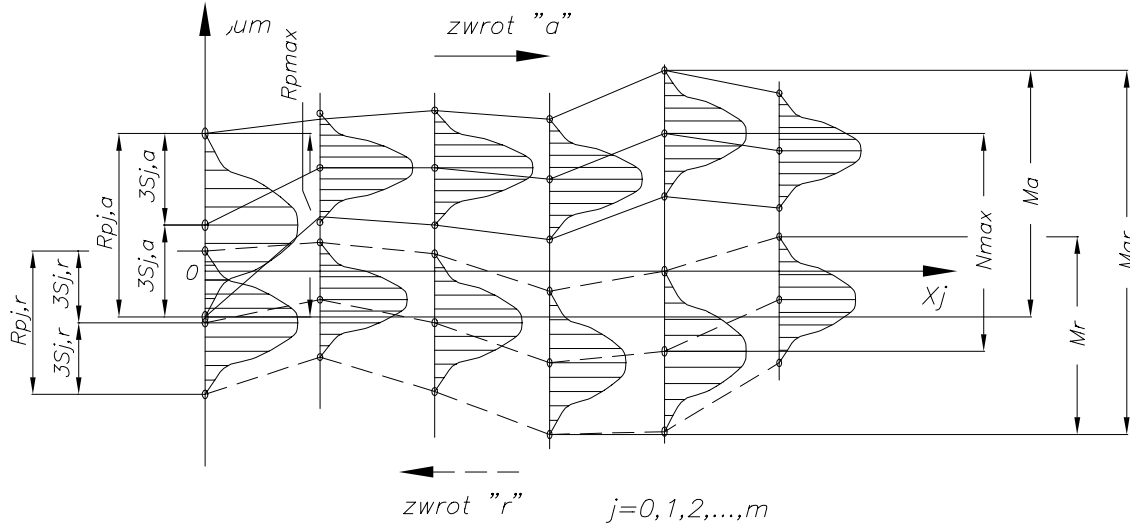
$$S_j = \frac{1}{3} [S'_{j-1} + S'_j + S'_{j+1}] \quad (5)$$

gdzie:

$$S'_j = \sqrt{S'}$$

$$S' = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\Delta x_{ji} - \Delta x_j)^2 \quad (6)$$

Wielkość $R_{pj} = 6S_j$, z dodatkowym indeksem a lub r , określana jako powtarzalność pozycjonowania – przypisana punktowi j i zwrotowi dosuwu – wskazuje z prawdopodobieństwem $P = 0.997$ granice zmienności odchyłek położenia zespołu obrabiarki podczas wielokrotnego dosuwania do zadanego położenia (indeks j) ruchem o jednym zwrocie (a lub r). Wartości $\Delta x_{j,a}$, $\Delta x_{j,r}$, $S_{j,a}$, $S_{j,r}$ nanosi się na wykres dla kolejnych $j = 0, 1, \dots, m$, co ilustruje Rys. 8, na którym pokazano również krzywe gęstości rozkładów.



Rys. 8. Wyniki pomiaru dokładności pozycjonowania obrabiarki

Na podstawie wykresu określa się:

- tolerancje pozycjonowania dla jednego zwrotu ruchu M_a lub M_r , jako statystycznie przewidywana tolerancje zadanego położenia zespołu obrabiarki w zakresie długości L lub kąta α przemieszczenia zespołu ruchem o jednym zwrocie, obliczaną wg wzoru:

$$M = \left[\max_j (\Delta x_j + 3S_j)_a \quad \text{lub} \quad \max_j (\Delta x_j + 3S_j)_r \right] - \left[\min_j (\Delta x_j + 3S_j)_a \quad \text{lub} \quad \min_j (\Delta x_j + 3S_j)_r \right] \quad (7)$$

– histerezę:

$$N_{\max} = \left| \max \Delta \bar{x}_{j,a} - \Delta \bar{x}_{j,r} \right| \quad (8)$$

– powtarzalność pozycjonowania dla jednego zwrotu ruchu, jako największą wartość rozrzutu położenia zespołu spośród obliczonych (lub zmierzonych na wykresie) dla wszystkich zadanych położzeń zespołu w zakresie długości L lub kąta α :

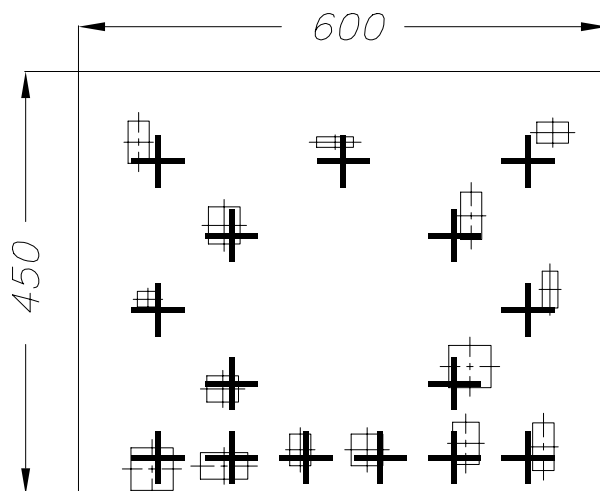
$$R_{p \max} = \max_j R_{pj} \quad (9)$$

Dla dwóch zwrotów ruchu przyjmuje się większa wartość powtarzalności pozycjonowania:

$$R_{ar \max} = \max(R_{p,a \max}, R_{p,r \max}) \quad (10)$$

Sprawdzanie dokładności drogą obróbki przedmiotów próbnych ma szczególne znaczenie, zwłaszcza przy trafnym doborze takiego przedmiotu, który byłby reprezentatywny dla przewidywanych zadań produkcyjnych. Dąży się do tego, aby przy pomocy jednego przedmiotu obrabianego uzyskać wyniki odpowiadające pobraniu próbki o zadawalającej liczności. Przykładowo, do sprawdzenia dokładności rozstawienia otworów obrabianych na centrach poziomych wykorzystuje się przedmiot wg Rys. 9 (na podstawie materiałów firmy Ludwigsburger Maschinenbau – Niemcy). Piętnaście osi otworów, o zadanych wymiarach położenia jest rozmieszczonych nieregularnie w płaszczyźnie przestrzeni roboczej centrum. W każdej osi wykonuje się dziesięć otworów o różnych średnicach i na różnych głębokościach. Pomiary rzeczywistego położenia osi przeprowadza się na współrzędnościowej maszynie pomiarowej.

Zastąpienie obrabianej części próbnej częścią wzorcowa (wałek stopniowy lub z powierzchniami krzywoliniowymi, płyta z otworem), odwodzona czujnikiem wg programu testującego, na biegu luzem obrabiarki, stanowi również stosowana formę kompleksowej oceny dokładności obróbki.



Rys. 9. Przedmiot próbny do sprawdzenia dokładności rozstawienia otworów

1.5. Dokładność obróbki osiągalna na obrabiarkach sterowanych numerycznie

Stosowanie OSN pozwala na zwiększenie dokładności obróbki i automatyzację szeregu czynności związanych z pomiarami i sprawdzaniem przedmiotu obrabianego oraz korekcją nastawienia wymiarowego obrabiarki. Na tokarkach uzyskuje się dokładność wymiarów średnic w granicach IT7÷IT6, a chropowatość powierzchni $Ra = 1,2 \mu\text{m}$ przy obróbce stali i $Ra = 0,3 \mu\text{m}$ przy obróbce stopów aluminium.

Tolerancje wymiarów długościowych przy obróbce na tokarkach wynoszą ok. 0,2 mm, osiągalne odchyłki kołowości przy średnicach ok. 150 mm ok. 0,002 mm i walcowości ok. 0,005 mm.

Na szlifierkach kłowych do wałków, ze stosowaniem kontroli aktywnej (w węższym znaczeniu – automatycznej regulacji obrabianej średnicy), można przy szlifowaniu wałków stopniowych i kontroli aktywnej każdej średnicy uzyskać IT3 – wg danych firmy Schaudt (Niemcy), chociaż typowa wartość osiągnięta w takim przypadku odpowiada IT4 (szlifierka firmy Hauni – Schaudt z CNC SINUMERIK – System 3 dla szlifierek (symbol S3G) i z głowicą pomiarową Diatronic firmy Schaudt – dostosowana do pomiarów na powierzchniach ciągłych i przerywanych, zapewnia dokładność pomiarów odpowiadającą IT3). Zastosowanie kontroli aktywnej na tylko jednym stopniu, korekcją zera i szlifowanie pozostałych stopni z wykorzystaniem tylko układu pomiaru położenia wrzeciennika ściernicy daje dokładność IT5.

Na szlifierkach bezkłowych firmy Cincinnati Milacron (USA), można – wg danych firmy – uzyskać tolerancje średnic w granicach 0,002 mm; zdolność rozdzielcza w osi X wynosi 0,00025 mm.

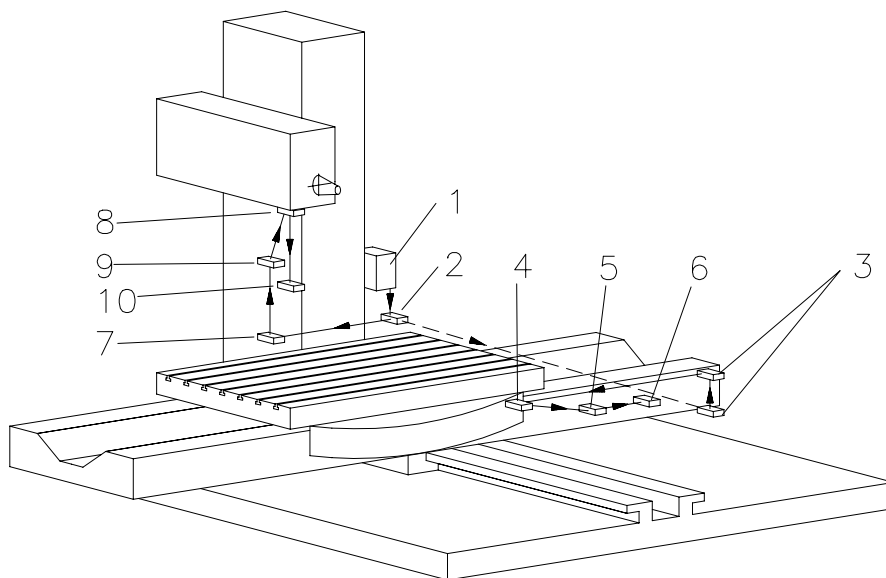
Zastosowanie laserowego układu pomiarowego w szlifierce do otworów firmy Dryant Grinder (USA), z CNC Teachable II z mikroprocesorami 16-bitowymi, pozwoliło na uzyskanie zdolności rozdzielczej 0,000025 mm. W szlifierkach współrzędnościowych spotyka się układy pozycjonowania stołu – osi X i Y – o zdolności rozdzielczej 0,0005 mm, tolerancji pozycjonowania $\pm 0,001 \text{ mm}$ i zdolności rozdzielczej układów kątowych $0,005^\circ$, a tolerancje pozycjonowania dochodzą do 0,0008 mm na długości 30 mm.

W szlifierkach do płaszczyzn spotyka się zdolność rozdzielcza układu dosuwu ściernicy 0,0002 mm, co pozwala na uzyskiwanie tolerancji ok. 0,003 mm (np. przy obróbce bloków ferrytowych głowic odczytujących pamięci magnetyczne komputerów). Obróbka części płaskich (płyty, pokrywy z otworami, rowkami, oknami i występami, czasem powierzchniami krzywoliniowymi wewnętrznymi i zewnętrznymi) z otworami IT5 i IT6 wymaga użycia frezarko-wytaczarek współrzędnościowych lub centrów frezarsko-wytaczarskich o rozdzielczości w osiach X i Y od 0,01 do 0,001 mm.

Przy obróbce korpusów maszyn podstawowe otwory pod łożyska wykonuje się na IT6 i $Ra = 2,5 \pm 0,4 \text{ } \mu\text{m}$, rzadziej na IT5 i $Ra = 0,063 \pm 0,05 \text{ } \mu\text{m}$. Odchyłki współosiowości otworów nie powinny przekraczać połowy tolerancji średnicy mniejszego otworu, a odchyłki walcowości $0,3 \pm 0,5$ tolerancji średnicy. Tolerancje rozstawienia otworów są rzędu $\pm(0,015 \pm 0,25)$, dopuszczalne odchyłki prostopadłości czoł do osi otworów $0,01 \pm 0,05 \text{ mm}$ na 100 mm promienia.

Obrabiarki do części korpusowych charakteryzuje zróżnicowana dokładność. Wiertarki NC pozwalają na uzyskanie tolerancji rozstawienia osi $\pm 0,1 \text{ mm}$. Centra frezarsko-wytaczarskie współcześnie produkowane charakteryzuje powszechnie już spotykana zdolność rozdzielcza 0,001 mm, tolerancja pozycjonowania do $\pm 0,01 \text{ mm}$ i powtarzalność pozycjonowania ok. $\pm 0,005 \text{ mm}$, obrabiarki o szczególnej dokładności mają te wielkości niższe. Np. precyzyjne centrum poziome DIXI 350 – TPA, firmy DIXI (Szwajcaria), o powierzchni palety $800 \times 800 \text{ mm}$, zapewnia tolerancje pozycjonowania prostoliniowego w osiach X, Y i Z $\pm 0,0015 \text{ mm}$ i tolerancje pozycjonowania stołu obrotowego $\pm 1,8''$. Frezarko-wytaczarki współrzędnościowe (dawna nazwa wiertarki współrzędnościowe) firm SIP, Mitsui-Seiki, Hauser i Lindner zapewniają tolerancje pozycjonowania $\pm 0,0025 \text{ mm}$ lub $\pm 0,005 \text{ mm}$ (obrabiaarki produkcyjne).

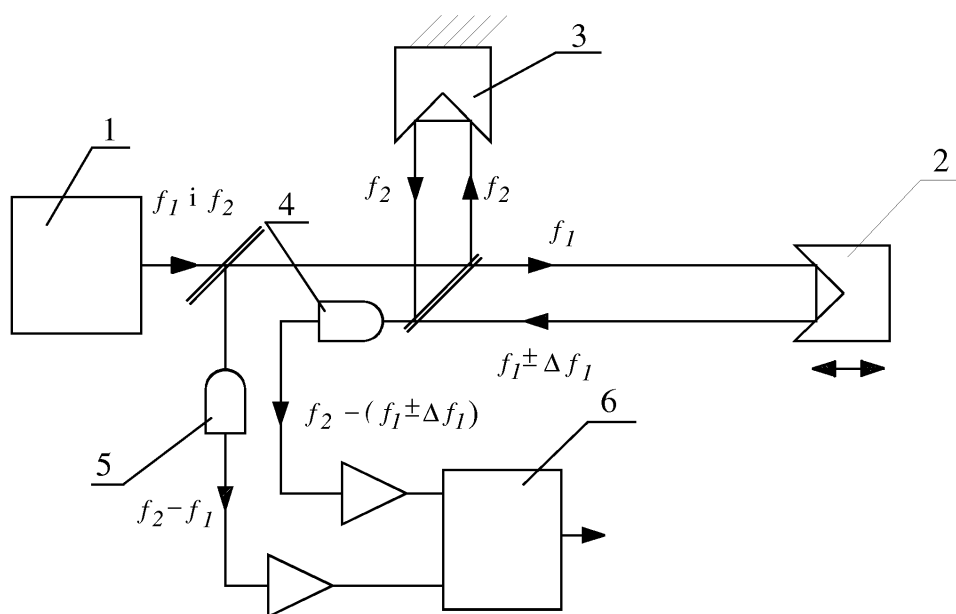
Dokładność współczesnych obrabiarek do obróbki korpusów ilustrują dane dotyczące wytaczarko-frezarki bez wysuwanego wrzeciona typu Lucas 30T, firmy Morgan Construction (USA) – Rys. 10, wyposażonej w interferometr laserowy firmy Hewlett-Packard – typu HP 550 IA – Rys. 11.



Rys. 10. Wytaczarka Lucas 30T z zamontowanym układem pomiarowym

Obrabiarka posiada stół krzyżowy (osie X i Y) i jest obrabiarką produkcyjną. Zdolność rozdzielcza serwomechanizmów w osiach X i Y wynosi 0,0001 cala (0,0025 mm), co umożliwia zgrubne pozycjonowanie, po którym operator dokonuje powolnym ruchem dokładnego pozycjonowania z wykorzystaniem interferometru, z rozdzielczością dziesięć razy większą – 0,00025 mm. Obrabiarka jest wyposażona w układ (Rys. 10) złożony z: (1) – dwuczęstotliwościowego lasera Zeemana, (2) – zwierciadła rozdzielającego wiązkę światła na dwie wiązki równoległe do osi X i Z (elementy (1) i (2) znajdują się na łożu obrabiarki). Promień równoległy do osi Z przechodzi nad stołem obrabiarki, następnie przechodzi przez dwa elementy osadzone na saniach wzdłużnych, zmieniające jego kierunek i zostaje skierowany równoległe do osi X. Zwierciadło (4), osadzone na stałe odbija promień do interferometru laserowego (5) i odbiornika optycznego (6), znajdujących się na saniach wzdłużnych obrabiarki. Sygnał o ruchu stołu w kierunku X jest przetwarzany w tych urządzeniach optycznych, a położenie stołu jest wyświetlane na pulpicie sterowania obrabiarki. Promień równoległy do osi X, wychodząc ze zwierciadła (2) pada na element (7) (znajdujący się na stojaku obrabiarki) zmieniający jego kierunek, a następnie jest kierowany wzdłuż osi Y. Zwierciadło (8), osadzone na wrzecienniku, odbija promień w dół do interferometru (9) i odbiornika optycznego (10) (osadzonych na stojaku obrabiarki). Wizualizacja położenia wrzecienika następuje tak samo, jak w przypadku poprzednim.

Zasadę pracy interferometru wyjaśnia Rys. 11 (na przykładzie pomiaru wzdłuż jednej osi). Laser (1) generuje dwa promienie światła o bliskich częstotliwościach f_1 i f_2 oraz przeciwnej polaryzacji. Promień o częstotliwości f_1 jest wydzielany drogą optyczną i kierowany do ruchomego elementu, dając promień $f_1 \pm \Delta f_1$. Promień f_2 , również wydzielony drogą optyczną, jest kierowany do nieruchomego elementu odbijającego (3), a następnie interferuje z promieniem $f_1 \pm \Delta f_1$, tworząc po przetworzeniu w elemencie (4) promień $f_2 - (f_1 \pm \Delta f_1)$, wzmacniany i przekazywany do przetwornika (6). Promienie f_1 i f_2 są również przetwarzane w przetworniku (5) na promień o częstotliwości $f_2 - f_1$, kierowany po wzmocnieniu do przetwornika (6). Przetwornik (6) wydziela sygnał o częstotliwości Δf_1 i emituje jeden impuls na przemieszczenie elementu (2) o $1/4$ długości fali promienia f_1 .



Rys. 11. Schemat interferometru laserowego firmy Hewlett–Packard

Tolerancje średnic wytaczanych otworów $\pm 0,0035$ mm osiąga centrum frezarsko-wytaczarskie pionowe HYOP firmy Burkhardt & Weber (Niemcy), dzięki układom ACG z pomiarem narzędzia; układ ACG umożliwia również wykorzystanie czujnika dotknięcia do określenia i korygowania wymiarów przedmiotu w przestrzeni roboczej obrabiarki.

2. Charakterystyka procesów technologicznych

2.1. Operacje przygotowawcze

Do podstawowych operacji przygotowawczych zaliczyć można cięcie wyrobów hutniczych (pręty, kształtowniki, rury, płyty, itp.), wykonywane przez różnego typu przecinarki, które również mogą być wyposażone w układy CNC. Operacje obróbki baz (obróbka czoł i wykonanie nakiełków z bazy zgrubnej) półfabrykatów wałów są rozszerzane o różne zabiegi wykonywane na końcach wałów: wiercenie i gwintowanie otworów, obtaczanie końców wału, wytaczanie otworów w rurach, wytaczanie rowków; a dla wrzecion i cylindrów: głębokie wiercenie i wytaczanie otworu centralnego. Niektóre z tych zabiegów mają charakter ostateczny, co zwiększa wymagania co do ich dokładności.

Zabiegi takie są wykonywane na centrach obróbki wałów z CNC. Zapewniają one m.in. umożliwienie dalszej obróbki toczeniem w jednym ustawieniu, przy zastosowaniu zabieraków czołowych.

2.2. Obróbka na tokarkach wielonarzędziowych i centrach tokarskich

Współczesną technologię wałów, wrzecion, tarcz i tulei w warunkach produkcji jednostkowej i małoseryjnej cechuje dążenie do ograniczania liczby niezbędnych operacji i ustawień w obróbce toczeniem, z równoczesnym stosowaniem dokładniejszych półwyrobów – prętów łuszczonych i ciągnionych, odkuwek z kowarek, kuźniarek, młotów i pras do kucia w matrycach i swobodnie, odlewów o podwyższonej dokładności.

Tokarki sterowane numerycznie i centra tokarskie oraz stosowane na nich narzędzia wymagają dokładnych półfabrykatów. Zbyt duży rozrzut wymiarowy półfabrykatów w ramach danej serii może stanowić poważne zakłócenie prawidłowego przebiegu procesu obróbki, dlatego wymiary materiału wyjściowego powinny być utrzymywane w granicach tolerancji, w celu zapewnienia stałej w przybliżeniu głębokości skrawania w pierwszym przejściu. Ograniczenia te można ominąć stosując obrabiarki ze sterowaniem adaptacyjnym ACC. Należy również uwzględnić niebezpieczeństwo wejścia narzędzia w przedmiot zbyt długi, jeszcze przy ruchu dosuwowym szybkim.

Do obróbki półfabrykatów niedokładnych należy bardzo starannie dobierać parametry skrawania i ostrożnie projektować drogę pierwszego przejścia narzędzia. Projektowanie kolejności zabiegów i ich przebiegu odbywa się w oparciu o ogólne zasady przyjęte dla obróbki konwencjonalnej. Jedynie technologia dokładnych otworów różni się od technologii tych otworów wykonywanych na tokarkach konwencjonalnych. Na tokarkach CNC nie zaleca się stosowania rozwiertaków, ale noże wytaczaki lub wytaczadła z osadzonymi w nich wymiennymi płytkami.

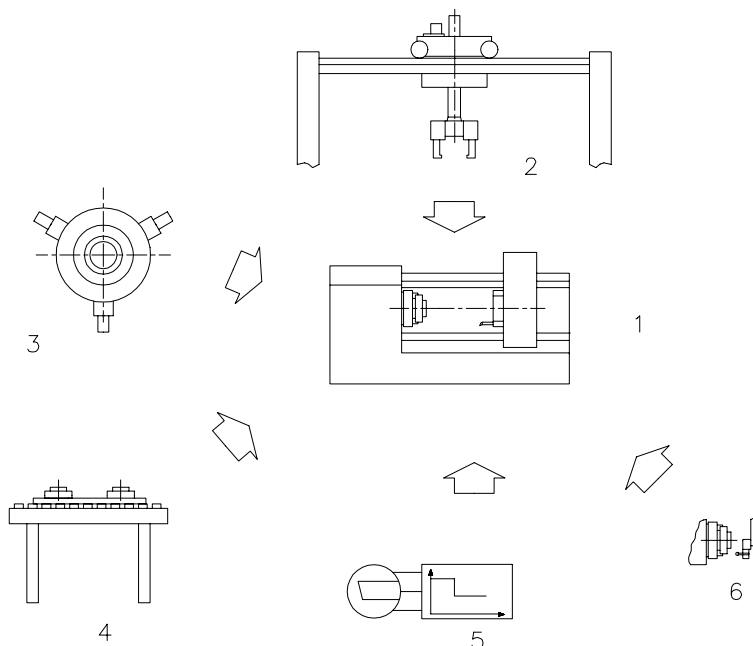
W wyniku wytaczania otworów otrzymuje się poprawną współosiowość otworu w stosunku do innych powierzchni obrabianych w tym samym ustawieniu, jak również eliminuje się ewentualne błędy pozycjonowania głowicy narzędziowej. Możliwa jest również obróbka otworów stopniowych z załamywaniem krawędzi tym samym nożem.

Biorąc pod uwagę fakt, że tokarki sterowane numerycznie odznaczają się dużą sztywnością, wysoką mocą napędu ruchu głównego oraz zastosowaniem noży z płytkami z węglików spiekanych i spieków ceramicznych mocowanymi mechanicznie, stosowane parametry skrawania mogą być wysokie. Ma to szczególnie duże znaczenie dla ekonomiki obróbki zgrubnej.

Ogólne zasady ustalenia i zamocowania przedmiotu obrabianego na tokarkach CNC nie różnią się od zasad stosowanych na obrabiarkach konwencjonalnych. Dość jednak istotnym elementem dodatkowym jest konieczność wykonania baz obróbkowych na przedmiocie przewidzianym do obróbki.

Elementy typu tuleja i tarcza winny mieć zabilioną wcześniej powierzchnię zewnętrzną i obrobioną powierzchnię czołową w celu pewnego ustalenia przedmiotu w uchwycie. Tarcze i tuleje są obrabiane toczeniem w dwóch, trzech (wydzielona obróbka wykańczająca otworu centralnego) lub czterech (oddzielona obróbka zgrubna) ustawieniach. Charakterystyczne jest wykorzystanie zarówno tokarek kłowo-uchwytowych i kłowo-uchwytowo-prętowych, jak i uchwytowych, które w parku maszynowym górują zwykle ilościowo i są budowane w znacznej różnorodności typów i odmian, w układzie czołowym (FRONTOR) lub bocznym.

Automatyzacja procesów obróbki wałów, tarcz i tulei zmierza do bezzałogowej pracy stanowisk – przekształcenia ich w autonomiczne stacje obróbkowe (ASO) i łączenia w elastyczne systemy obróbkowe (ESO). Zautomatyzowane funkcje zespołów ASO (obróbka tokarska) ilustruje Rys. 12: (1) – tokarka wielonarzędziowa; (2) – automatyczny manipulator przedmiotów obrabianych; (3) – automatyczna zmiana szczęk uchwytu; (4) – magazyn przedmiotów obrabianych; (5) – automatyczny nadzór nad pracą narzędzia; (6) – automatyczny pomiar przedmiotu obrabianego.



Rys. 12. Funkcje zespołów ASO (obróbka tokarska)

Wybór optymalnego rozwiązania obróbki części obrotowej toczeniem zależy w dużej mierze od możliwości technologicznych obrabiarek – liczby i rozmieszczenia suportów, liczby narzędzi, możliwości równoczesnej pracy suportów. Obserwuje się tendencje do zwiększania liczby narzędzi i równocześnie pracujących suportów,

przechodzenia od sterowania w dwóch osiach (jeden suport krzyżowy), poprzez trzy (dwa suporty ze wspólnym ruchem wzdłuż osi przedmiotu – os Z i niezależnymi ruchami promieniowymi – osie Y i U), do czterech (dwa suporty krzyżowe) i więcej (dodatkowe suporty odcinające, sterowanie ruchów konika i podtrzymki). Tokarki kłowe, kłowo-uchwytowe i kłowo-uchwytowo-prętowe są produkowane jako wielonarzędziowe ze skośnie do poziomu lub pionowo usytuowanymi prowadnicami. Imaki wielonożowe i głowice narzędziowe są budowane najczęściej jako 4÷12 położeniowe, a nawet 16–położeniowe. Liczba narzędzi w przypadku obrabiarki z jedną głowicą może osiągnąć podwojoną liczbę położań. W przypadku dwóch głowic i sterowania w dwóch osiach, w jednej głowicy umieszcza się narzędzia do powierzchni zewnętrznych, a w drugiej – do otworów. W najczęściej spotykanym rozwiązaniu głowic narzędziowych, równolegle osiowych, możliwe jest wykonanie z jedną głowicą (dwie osie sterowane numerycznie) lub z dwiema (2×2 osie) usytuowanymi dwustronnie, albo jednostronnie. Tokarki uchwytowe poziome, przeznaczone do obróbki przedmiotów o maksymalnej średnicy 600÷800 mm i stosunku $L/D=1\div2,5$, są budowane jako jedno-, dwu-, trzy- i czterowrzecionowe. Większość przedmiotów toczonych wymaga obróbki z dwóch stron. Bardzo pomocnym rozwiązaniem dla tokarek jest tutaj:

- stosowanie wrzeciona przechwytyjącego;
- stosowanie uchwytu podziałowego ze sterowaniem CNC o osi obrotu prostopadłej do osi wrzeciona.

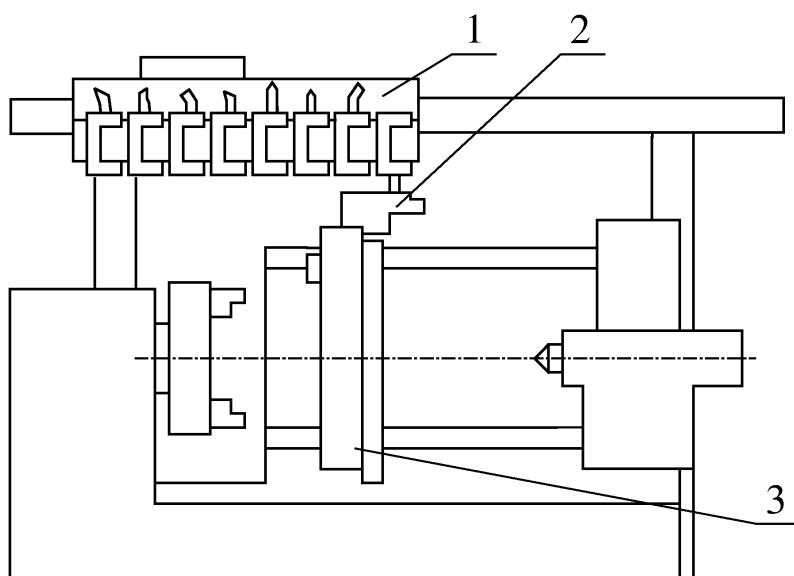
Pierwsze rozwiązanie jest stosowane dosyć często, natomiast drugie jest dotychczas mało rozpowszechnione.

Centra tokarskie są wyrazem dążenia do wykonywania dużej liczby zabiegów w jednej operacji i otrzymywania przedmiotu całkowicie obrobionego w ramach określonego stadium procesu technologicznego. Centra tokarskie tworzą dwie grupy:

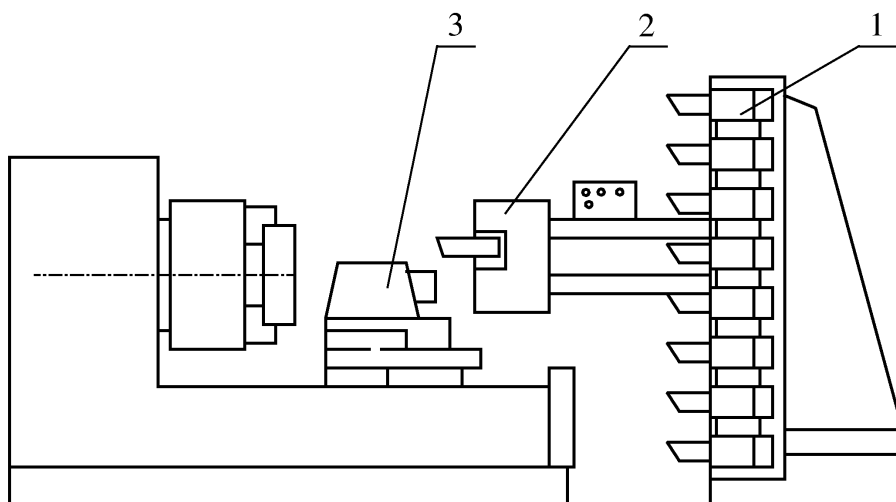
- obrabiarki z narzędziami zamocowanymi w wielopłożeniowych głowicach i imakach narzędziowych, gdy liczba dysponowanych narzędzi przekracza 12;
- centra z magazynem narzędzi zmienianych automatycznie.

Spotykane są również rozwiązania mieszane.

Centra z magazynem narzędzi posiadają magazyny bębnowe (firmy Behringer, Max Mueller, Heyligenstaedt – Niemcy) na 8÷13 narzędzi, liniowe (firma Heinemann – Niemcy – magazyn na 15 narzędzi – Rys. 13) lub łańcuchowe (firmy Heidenreich i Harbeck, Heyligenstaedt, Max Mueller – Niemcy), z magazynem ustawionym obok łoża obrabiarki – Rys. 14, lub też bezpośrednio na suporcie.

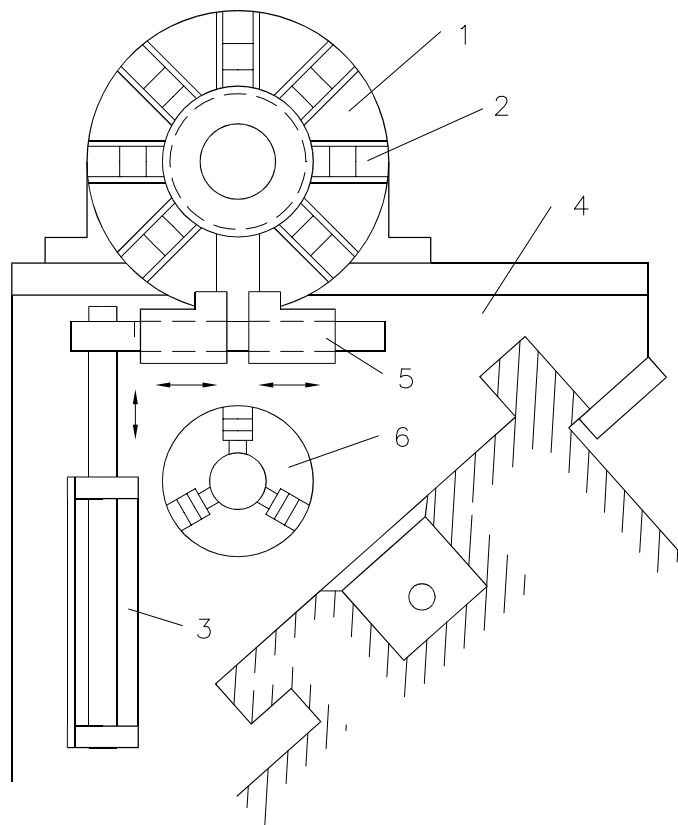


Rys. 13. Centrum tokarskie z magazynem liniowym: 1 – magazyn narzędzi, 2 – manipulator zmiany narzędzi, 3 – suport



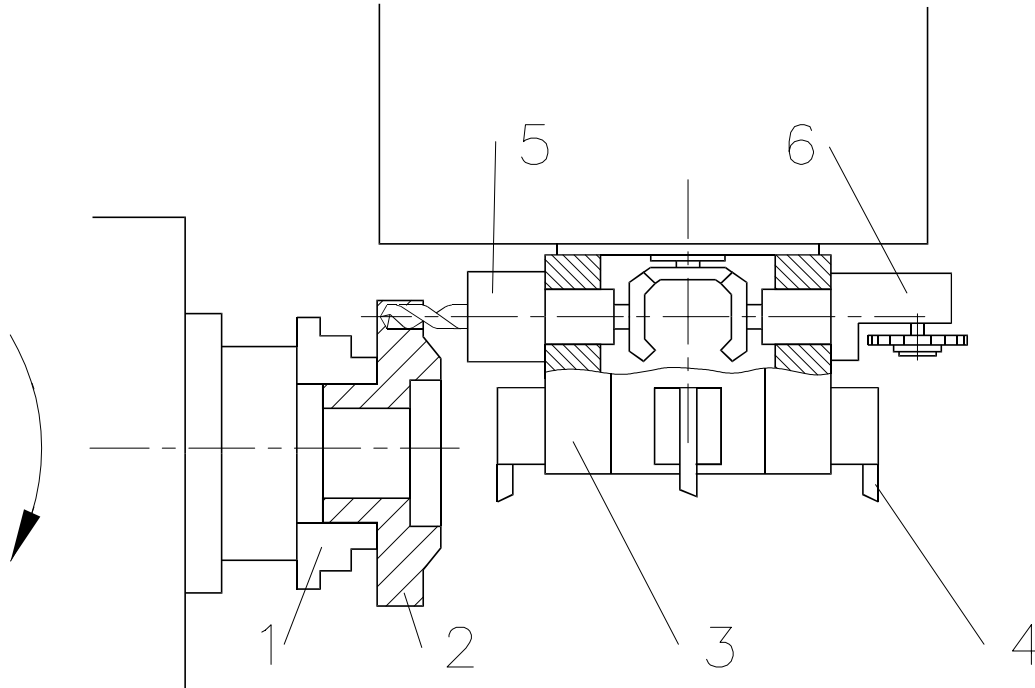
Rys. 14. Centrum tokarskie z magazynem wolnostojącym: 1 – magazyn, 2 – manipulator zmiany narzędzi, 3 – suport

Urządzenie do automatycznej zmiany szczek uchwytów centrum tokarskiego pokazuje Rys. 15. Posiada ono magazyn szczek (1) umieszczony na wrzecienniku (4) i chwytak (5) z napędem (3). Chwytak wyjmuje szczęki z uchwytu (6) i umieszcza w wolnym gnieździe magazynu, a następnie wyjmuje szczęki (2) z magazynu i umieszcza je w uchwycie (6).

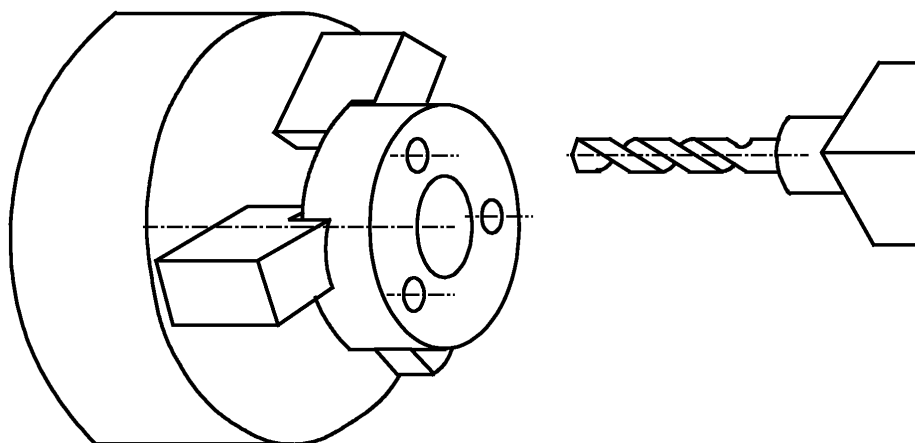


Rys. 15. Urządzenie do automatycznej zmiany szczęk uchwytów centrum tokarskiego: 1 – magazyn szczęk, 2 – szczęki, 3 – siłownik hydrauliczny, 4 – wrzeciennik, 5 – chwytak, 6 – uchwyt

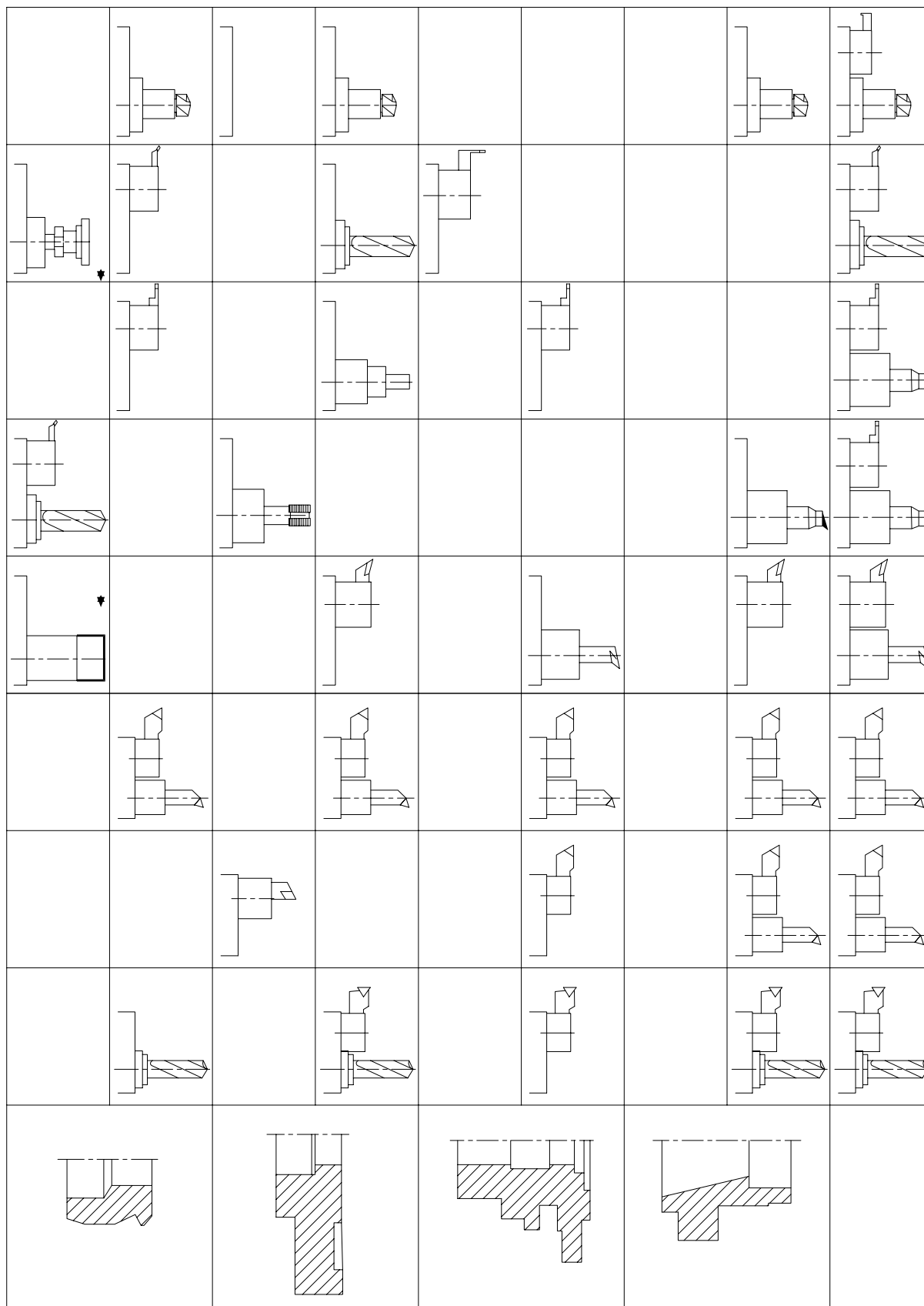
Obrabiarki wyposażone w 8÷12 narzędzi pozwalają na całkowitą obróbkę większości przedmiotów toczonych, 12÷16 narzędzi pozwala na wypełnienie prawie wszystkich zadań. Taką liczbę narzędzi może zapewnić tokarka wielonarzędziowa z jedną lub dwiema głowicami narzędziowymi. Jednak w przypadkach konieczności użycia narzędzi długich, magazynowanie ich w głowicach stwarza problemy kolizji; w takiej sytuacji centrum z magazynem narzędzi może być rozwiązaniem bardziej racjonalnym. Drugą przesłanką stosowania centrów jest produkcja bezzałogowa; magazyny narzędzi stwarzają możliwość przechowywania narzędzi zapasowych do tych samych zabiegów. Trzecią przesłanką jest obróbka rodzin części technologicznie podobnych – obróbka grupowa, przy stałym uzbrojeniu obrabiarki. Przykładem może tu być wykorzystanie tokarek INDEX G65/200 NC, firmy INDEX (Niemcy) – Rys. 16. Tokarki te mogą pracować jako automaty prętowe, albo też – po osadzeniu na suporcie rewolwerowym głowic narzędziowych dla narzędzi pracujących ruchem obrotowym (wiertła, frezy) i wykorzystaniu możliwości dokładnego pozycjonowania wrzeciona przedmiotowego (os C) – jako centra tokarskie. Rys. 18 pokazuje przykład uzbrojenia takiego centrum do obróbki grupowej rodziny 4-ch części (w nagłówku tablicy pokazano szkice przedmiotów obrabianych, tworzących grupę; w prawej, skrajnej kolumnie – uzbrojenie kolejnych pozycji głowicy rewolwerowej; pola tablicy przedstawiają wykorzystanie narzędzi przy obróbce odpowiednich przedmiotów). Rys. 17 pokazuje natomiast przykład obróbki pozaosiowej – wiercenie otworu o osi równoległej do osi wrzeciona centrum tokarskiego.



Rys. 16. Centrum tokarskie firmy INDEX



Rys. 17. Przykład obróbki pozaosiowej



Rys. 18. Uzbrojenie centrum tokarskiego firmy INDEX dla obróbki grupowej

Centra tokarskie o rozwiązaniach mieszanych pozwalają na operowanie znacznymi liczbami narzędzi, co pozwala na obróbkę bezzałogową w autonomicznych stacjach

obróbkowych (ASO) różnych przedmiotów (rodzin przedmiotów) bez potrzeby przezbrajania obrabiarki.

Do ustalania i mocowania części obrotowych mają zastosowanie: uchwyty samocentrujące, zabieraki czołowe, koniki, podtrzymki (stałe lub ruchome), wrzeciona przechwytyjące lub uchwyty podziałowe ze sterowaniem CNC o osi obrotu prostopadłej do osi wrzeciona. Tabl. 1 przedstawia różne możliwości ustalania i mocowania przedmiotów do obróbki na tokarkach SN.

Tabl. 1. Różne możliwości ustalania i mocowania przedmiotów na tokarkach sterowanych numerycznie

	1	2	3	4	5	6	7
Uchwyt samocentrujący	+	+	+	+	+	–	–
Konik	–	–	+	+	–	+	+
Zabierak czołowy	–	–	–	–	–	+	+
Podtrzymka	–	–	+	–	+	+	–
Wrzeciono przechwytyjące	–	+	–	–	–	–	–

Uwaga: Grupy 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – oznaczenie sposobów ustalenia i mocowania przedmiotów obróbki.

„+” – tak, „–” – nie.

Do obróbki określonych grup przedmiotów mają zastosowanie odpowiednie sposoby ustalania i mocowania:

- tarcze (stosunek L/D znacznie mniejszy od 1) – 1, 2;
- tuleje krótkie (L/D nieznacznie większe od 1) – 1, 2;
- tuleje długie (L/D znacznie większe od 1) – 3, 4, 5;
- walki krótkie (L/D nieznacznie większe od 1) – 1, 2;
- walki długie (L/D znacznie większe od 1) – 3, 4, 5, 6, 7;

gdzie:

L – długość obrabianego przedmiotu;

D – średnica obrabianego przedmiotu.

2.3. Obróbka na szlifierkach do wałków i otworów

Szlifierki kłowe CNC są produkowane jako: uniwersalne do produkcji jednostkowej i małoseryjnej, ze stołem skrotnym do $\pm 30^\circ$ i skrotnymi wrzeciennikami ściernicy i przedmiotu, umożliwiając one również szlifowanie otworów; produkcyjne do większych serii, z prędkością szlifowania 45 m/s i więcej; specjalne, np. do wałów wykorbionych, rozrządczych itp. Charakterystyczna dla szlifierek jest automatyczna kontrola aktywna przedmiotu obrabianego – ACG.

Sprężenie ruchów X i Z w kształtowych układach CNC w połączeniu z kątowym ustawieniem osi wrzeciona ściernicy pozwala na szlifowanie zaokrągleń oraz czół. Sterowanie kształtowe w osiach X i Z jest również wykorzystywane do obciągania ściernicy na pożądaną zarys. Firmy Schaudt i Fortuna (Niemcy), stosują również sterowane numerycznie podtrzymki przedmiotu, osadzone na łożu szlifierki naprzeciw

ściernicy, o szczekach wysuwanych ruchami sprzężonymi. Spotyka się również rozwiązania z podtrzymkami ustawionymi na stole obrabiarki – przemieszczające się wraz z przedmiotem obrabianym. Szlifierki produkcyjne do wałków mogą być wyposażone w dwie ściernice – walcową i stożkową o osi usytuowanej kątowo do szlifowania powierzchni przejściowych i czół. W układach sterowania adaptacyjnego geometrycznego ACG, przyrządy pomiarowe do kontroli aktywnej mogą być wąsko zakresowe – do pomiarów porównawczych (wtedy szlifierka może być wyposażona w jedno lub kilka takich urządzeń, nastawionych na określony wymiar – np. na szlifierce Milacron Step Grinder z CNC Acramatic 700G przewidziano możliwość ustawienia do 4 przyrządów włoskiej firmy Marposs) lub szeroko zakresowe – przyrządy pomiarowe bezwzględne (np. Multi-Finitron firmy Fortuna-Werke (Niemcy), o zakresie pomiarowym 150 mm).

Szlifierki CNC do otworów (z przedmiotem wykonującym obrotowy ruch posuwu) są budowane jako uniwersalne (do otworów walcowych, stożkowych, szlifowania czół i krótkich powierzchni zewnętrznych) i produkcyjne. Na szlifierkach tych stosuje się szeroko ściernice borazonowe, dla zwiększenia wydajności wykorzystuje się czujniki wcinania, wykrywające wzrost prądu silnika w chwili zetknięcia ściernicy z przedmiotem. Możliwe jest szlifowanie wzdłużne, oscylacyjne i wcinające; posuw przy wcinaniu reguluje układ ACC. Do obróbki powierzchni wewnętrznych i zewnętrznych przedmiotów długich (np. wrzeciona obrabiarek) stosowane są szlifierki o wydłużonym łożu, na których przedmiot obrabiany jest podpierany podtrzymką (firma Voumard – Szwajcaria), lub też szlifierki z dostawnym łożem (firma Ovebeck – Niemcy). Firma Voumard produkuje również centra szlifierskie z tarczowymi magazynami oprawek ściernic, automatycznie zmienianymi oraz obrabiarki z wielopołożeniowymi rewolwerowymi zespołami wrzecienników, uzbrojonymi w gotowe do pracy ściernice, co pozwala na automatyzację złożonych operacji szlifowania zewnętrznego i wewnętrznego.

2.4. Obróbka części korpusowych na centrach frezarsko-wytaczarskich

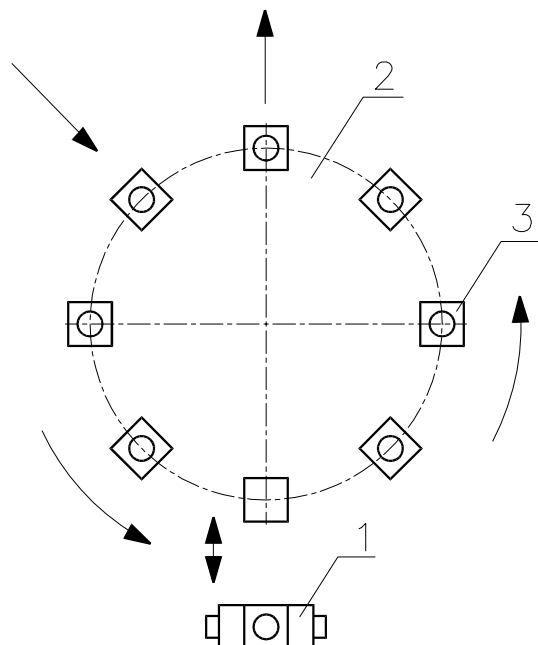
Obróbka korpusów i części płaskich na obrabiarkach CNC, a zwłaszcza na centrach frezarsko-wytaczarskich wprowadziła istotne zmiany do technologii tej klasy części. Nastąpiło wydatne zmniejszenie liczby operacji, spowodowane możliwością obróbki wielostronnej i wykorzystaniem znacznej liczby narzędzi w jednej operacji. Szczególne możliwości zmniejszenia liczby operacji pojawiają się dzięki stosowaniu centrów poziomych, szczególnie efektywnych dla obróbki wielostronnej.

Wprawdzie centrum pionowe ze stołem obrotowo-uchylnym daje równie szerokie możliwości obróbki wielostronnej jak centrum poziome, ma jednak wtedy bardzo ograniczoną przestrzeń roboczą. Problemy bazowania w pierwszej operacji (baza zgrubna) mogą być różnie rozwiązywane. Rysy traserskie są coraz częściej wynikiem automatycznego trasowania na maszynach pomiarowo-traserskich. Ustalanie wg rys na palecie technologicznej jest rozwiązaniem stosownym dla centrów paletyzowanych, chociaż pracochłonnym i uciążliwym. Automatyczne bazowanie przedmiotu przez pomiar położenia powierzchni przedmiotu jest możliwe na centrach obróbkowych przy użyciu czujnika dotknięcia wprowadzonego do wrzeciona. Analiza wyników

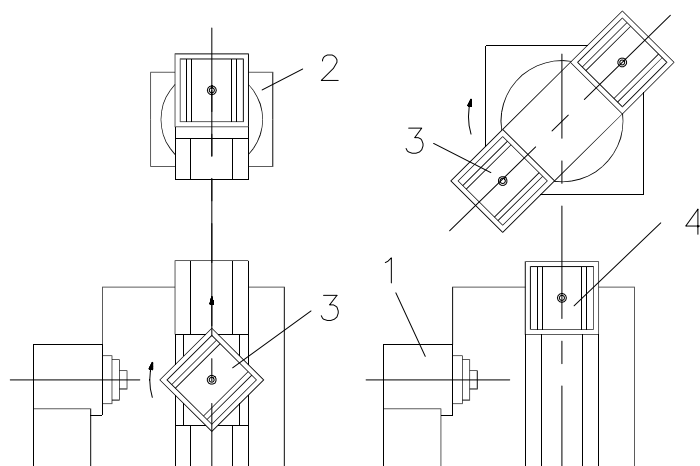
pomiarów przez CNC pozwala na ustalenie rzeczywistego położenia przedmiotu i następnie skorygowanie tego położenia przez odpowiednie ruchy stołu obrabiarki.

Obróbkę wielonarzędziową z równoległą pracą narzędzi umożliwiają centra obróbkowe zmieniające automatycznie wrzecienniki lub głowice wielonarzędziowe. Centra tego typu są stosowane przy większej skali produkcji, w przemyśle samochodowym, maszyn budowlanych i do prac ziemnych, maszyn poligraficznych, maszyn elektrycznych, przekładni zębatych, turbin, obrabiarek, silników spalinowych.

Centra frezarsko-wytaczarskie mogą być wyposażone w urządzenia do automatycznej zmiany palet uchwytych, np. Rys. 19 ilustruje pracę obrotowego zmieniacza palet. ASO z centrum frezarsko-wytaczarskim zawierają magazyny palet uchwytych – np. magazyn obrotowy przedstawiony na Rys. 20.



Rys. 19. Schemat pracy obrotowego magazynu palet uchwytych: 1 – stół centrum, 2 – magazyn palet, 3 – palety przedmiotowe

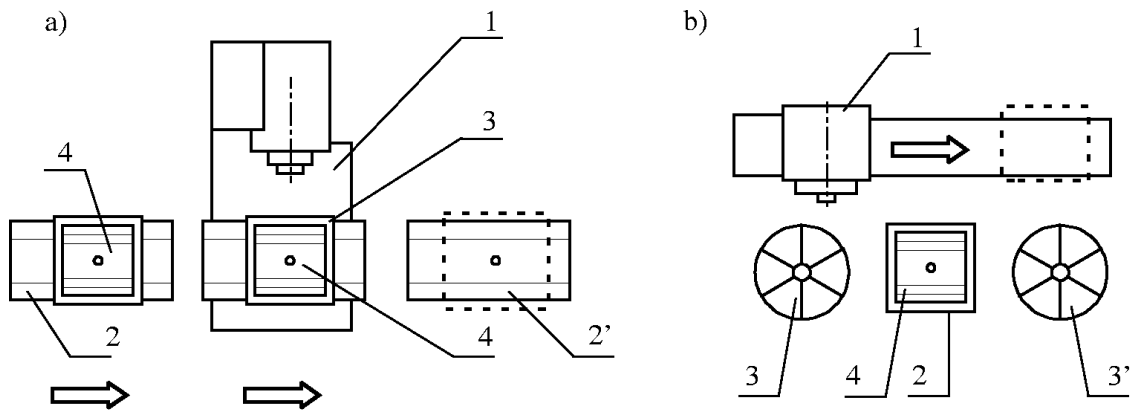


Rys. 20. Obrotowy zmieniacz palet: 1 – centrum, 2 – zmieniacz palet, 3 – paleta uchwytna z obrabianym przedmiotem, 4 – stół centrum

Na Rys. 21 pokazano dwa inne urządzenia: a – z dwoma stołami manipulacyjnymi, b – rozwiązanie z centrum z ruchomą kolumną i dwoma stołami roboczymi: (1) –

centrum, (2) i (2') – stoły manipulacyjne, (3) i (3') – stoły robocze, (4) – paleta uchwytna z zamocowanym przedmiotem obrabianym.

Korpusy przed obróbką skrawaniem na centrum obróbkowym mogą być poddane obróbce cieplnej – wyżarzaniu odpężającemu. Celem wyżarzania odpężającego jest usunięcie naprężeń jakie powstają w korpusie w wyniku nierównomiernego stygnięcia metalu przy odlewaniu czy też spawaniu. Naprężenia te muszą być usunięte przed przystąpieniem do obróbki wykańczającej, aby przy wyzwalaniu się nie powodowały zniekształceń obrabianych powierzchni. Odpężanie przebiega znacznie łatwiej, gdy zostanie zdjęta zewnętrzna warstwa materiału (naskórek). Po odpężaniu korpus musi być oczyszczony, przy czym najlepsze wyniki uzyskuje się przez piaskowanie lub śrutowanie.



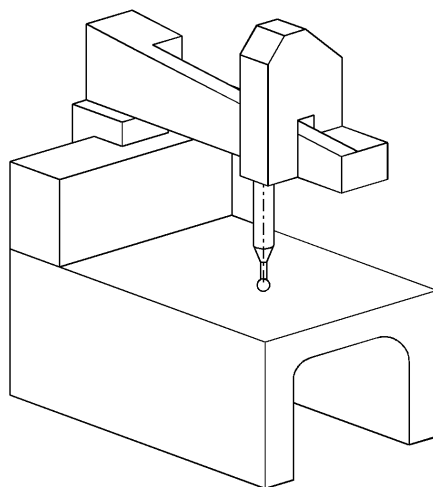
Rys. 21. Urządzenia do automatycznej zamiany palet: a – zmieniacz palet z dwoma stołami manipulacyjnymi, b – centrum z ruchomą kolumną i dwoma stołami roboczymi

Frezarsko-wytaczarskie centrum obróbkowe stwarza możliwości wielostronnej obróbki korpusu, umożliwiając takie zabiegi jak: frezowanie płaszczyzn i rowków, wiercenie, wytaczanie, rozwiercanie, pogłębianie, gwintowanie, fazowanie, nagniatanie, frezowanie planetarne.

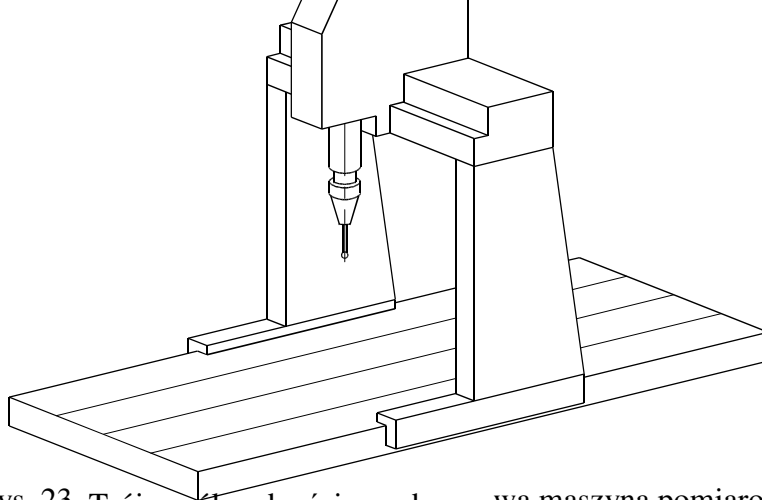
Obróbkę części typu korpus można scharakteryzować następująco:

- po ustaleniu i zamocowaniu według wykonanych baz, frezować płaszczyzny i wykonywać otwory (wiercenie otworów po uprzednim ich nawierceniu);
- otwory główne, tzn. mające podstawowe znaczenie dla funkcjonowania korpusu, np. gniazda łożyskowe, mają powierzchnie walcowe zwykle wąsko tolerowane, a oprócz tego powierzchnie kształtowe (stożki, zaokrąglenia) – każdy element kształtu obrabia się narzędziami specjalnymi;
- stosuje się podział na obróbkę zgrubną i wykańczającą;
- po obróbce zgrubnej a przed obróbką wykańczającą przedmiot powinien ostygnąć;
- technologia otworów pasowanych: obróbkę zgrubną otworów wykonuje się przez wytaczanie zgrubne, rozwiercanie zgrubne, wiercenie, frezowanie czołowe, powiercanie, frezowanie planetarne. Obróbkę wykańczającą przeprowadza się na drodze: wytaczania dokładnego lub rozwiercania dokładnego. Otwory wykonywane w pełnym materiale przed wierceniem należy nawiercać;

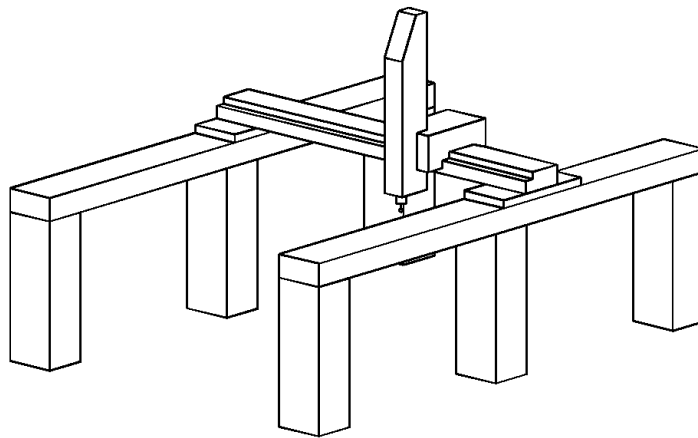
- z reguły występuje gwintowanie otworów o średnicach od kilku do 100 mm i więcej, przy czym często są to gwinty drobnozwojne. Nacinanie gwintu może być wykonane:
 - a) gwintownikiem w zastosowaniu do otworów o małych średnicach;
 - b) nożem do gwintów (funkcje G33 – G35);
 - c) frezowania frezem grzebieniowym – szczególnie dla gwintów drobnozwojnych (dotychczas wykonywano te zabiegi frezami wieloostrzowymi ze stali szybko tnącej, ostatnio ukazały się jednoostrzowe frezy z płytkami z węglików spiekanych);
 - d) frezowaniem tzw. przecinkowym z wykorzystaniem specjalnego urządzenia, niezbędne są wtedy funkcje G33, G34, G35. Metoda ta umożliwia wydajne wykonywanie gwintów, szczególnie w materiałach trudno obrabialnych.
 - Gwintowanie z reguły przeprowadza się przy końcu obróbki, co jest spowodowane m.in. koniecznością stosowania płynów obróbkowych, których największą różnorodność oferuje firma TAPMATIC.
 - w otworach często występują rowki obwodowe (do pierścieni sprężynujących), które mogą być wykonane frezowaniem planetarnym, choć znacznie wydajniej obrabia się je specjalnymi narzędziami;
 - na płaszczyznach bocznych korpusów należy niekiedy wykonać rowki prostoliniowe, równoległe, prostopadłe lub nachylone pod pewnym kątem do bazy;
 - występuje czasem konieczność wiercenia otworów skośnych;
 - w nielicznych przypadkach korpusy zawierają powierzchnie cylindryczne, na części której nacięta jest linia śrubowa.
- Po obróbce na centrum obróbkowym korpus przekazywany jest na stanowisko obróbki ręcznej (usuwanie zadziorów, czyszczenie itp.), a następnie jest malowany.
- Operacje kontroli wymiarów mogą odbywać się na automatycznych trójwspółrzędnościowych maszynach pomiarowych sterowanych numerycznie (pokazanych na Rys. 22, Rys. 23, Rys. 24).



Rys. 22. Trójwspółrzędnościowa, wspornikowa maszyna pomiarowa



Rys. 23. Trójwspółrzędnościowa, bramowa maszyna pomiarowa

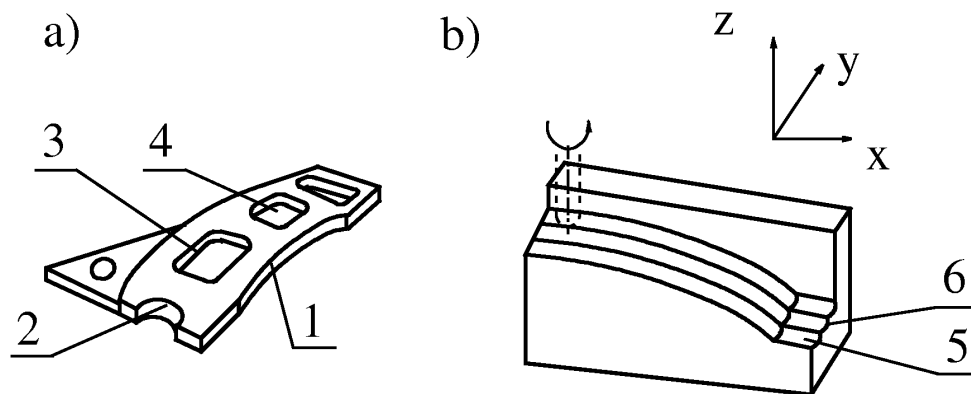


Rys. 24. Trójwspółrzędnościowa, suwnicowa maszyna pomiarowa

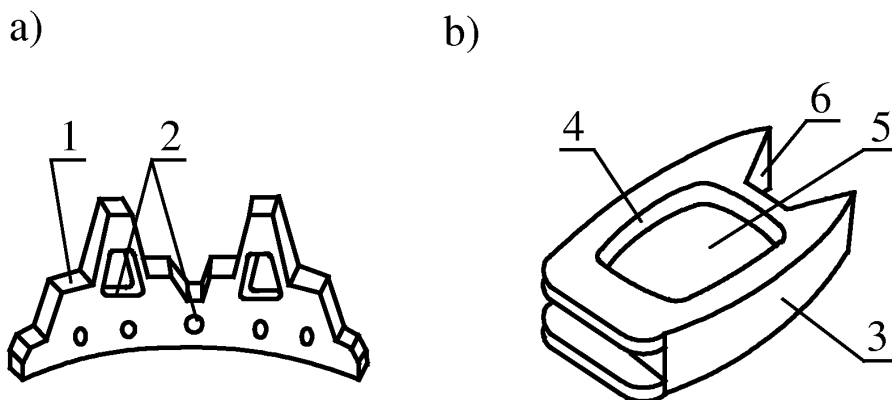
2.5. Obróbka części o powierzchniach krzywoliniowych na frezarkach CNC ze sterowaniem kształtowym

Przykłady części wymagających obróbki na frezarkach lub centrach frezarsko-wytaczarskich ze sterowaniem kształtowym w trzech osiach są przedstawione na Rys. 25. W belce z Rys. 25a obróbce podlegają: kontur zewnętrzny (1), płaszczyzna z obrzeżem krzywoliniowym (2), wybrania (3) i ich dna (4). Obróbka odbywa się przy pomocy frezów trzpieniowych. Obróbka powierzchni o podwójnej krzywiznie z Rys. 25b przebiega pasami; po obrobieniu pasa (5) na całej długości, frez przesuwa się o pewną wielkość w kierunku Y i następuje obróbka pasa (6), itd. Frez ma w tym przypadku sferyczna lub toroidalna powierzchnie działania.

Przykłady części wymagających obróbki 5C są podane na Rys. 26. W części z Rys. 26a obróbki wymaga krzywoliniowy kontur (1) i wewnętrzne obwody wybrana (2); w części z Rys. 26b – kontury zewnętrzne (3) i (6), kontury wewnętrzne (4) oraz ich dno (5). Powierzchnie (3) i (6) posiadają zbieżności.



Rys. 25. Przykłady części wymagających obróbki na obrabiarkach ze sterowaniem kształtowym w trzech osiach (3C)



Rys. 26. Przykłady części wymagających obróbki na obrabiarkach ze sterowaniem kształtowym w pięciu osiach (5C)

2.6. Obróbka korpusów i części płaskich na szlifierkach

Szlifowanie płaszczyzn korpusów i części płaskich odbywa się na szlifierkach CNC do płaszczyzn i do prowadnic. Spotykane rozwiązania odpowiadają obrabiarkom konwencjonalnym: obwodowym i czołowym, z posuwami w układzie kartezjańskim i ze stołami obrotowymi. Obok szlifowania płaszczyzn istnieje możliwość obróbki powierzchni prostokreślnych o krzywoliniowych tworzących i możliwość szlifowania głębokościowego. Szlifierki planetarne o poziomym wrzecionie umożliwiają szlifowanie otworów w korpusach o większych rozmiarach.

Obrabiarki do gładzenia (hownnice), ze sterowaniem mikroprocesorowym i adaptacyjną regulacją prędkości w zależności od mierzonego momentu na wrzecionie, są produkowane w wykonaniu jedno i wielowrzecionowym i skoku wrzeciona 2500 mm, z przeznaczeniem do obróbki ośkami diamentowymi.

3. Wyposażenie i narzędzia do pracy na obrabiarkach CNC

3.1. Uwagi ogólne

Istotną rolę w doborze oprzyrządowania i narzędzi odgrywają następujące cechy obróbki na OSN:

- tendencja do całkowitej obróbki przedmiotów w jednym ustawieniu (zamocowaniu);
- zwiększona wydajność i ekonomia obróbki;
- ograniczenie bezpośredniego nadzoru nad pracą obrabiarek;
- skrócenie ekonomicznej wielkości serii produkcyjnych;
- zwiększone wymagania odnośnie jakości produkowanych części.

Dążenie do ograniczania liczby ustawień z jednej strony decyduje o dużej różnorodności narzędzi stosowanych na poszczególnych obrabiarkach, z drugiej powoduje niejednokrotnie obniżenie sztywności układu OUPN. Na tokarkach sterowanych numerycznie i centrach tokarskich obok typowych zabiegów tokarskich coraz częściej wykonuje się takie zabiegi jak: frezowanie płaszczyzn frezami trzpieniowymi i głowicami frezowymi, frezowanie rowków, wiercenie wzdłużne pozaosiowe i wiercenie promieniowe otworów. Na wytaczarko-frezarkach sterowanych numerycznie i frezarsko-wytaczarskich centrach obróbkowych stosuje się pełną gamę obróbki frezarskiej konwencjonalnej plus frezowanie z wykorzystaniem interpolacji kołowej i śrubowej oraz obróbkę wiertarską, wytaczarską, gwintowanie czy dogniatanie. Tak duża różnorodność zabiegów oraz duża uniwersalność samych obrabiarek wymusza stosowanie różnorodnych narzędzi i rodzi problemy, zwłaszcza w mocowaniu, wymianie i magazynowaniu narzędzi.

Obniżenie sztywności układu OUPN jest spowodowane konfiguracją konstrukcyjną obrabiarek SN oraz sposobem ustalania i mocowania przedmiotów obrabianych. W przypadku tokarek ma tu niekorzystny wpływ rozbudowa wielopozycyjnej głowicy wielonarzędziowej, zwiększenie liczby suportów i wprowadzanie przyrządów do obróbki pozaosiowej. W przypadku centrów frezarsko-wytaczarskich niekorzystnie wpływa zwiększona liczba osi sterowanych numerycznie, a więc także zwiększona liczba zespołów ruchomych. Aby udostępnić możliwość obróbki poszczególnych powierzchni, często ogranicza się liczbę elementów mocujących do niezbędnego minimum. Przy ustalaniu przedmiotu korzysta się z powierzchni, nie zawsze będących najbardziej zalecanymi. Rozwiązaniem kompromisowym jest zmiana niektórych elementów mocujących po przerwaniu programu obróbkowego, co z kolei może powodować powstawanie niedokładności obrabianych powierzchni, wydłużenie czasu obróbki oraz potrzebę interwencji pracownika w celu dokonania przenocowania. Obróbka korpusów w jednym ustawieniu z trzech lub czterech stron może doprowadzić do konieczności wydłużenia niektórych narzędzi, co obrazuje opisana w końcowej części rozdziału analiza przestrzeni roboczej centrum frezarsko-wytaczarskiego.

Pomimo ciągłej względnej obniżki ceny obrabiarek sterowanych numerycznie w stosunku do obrabiarek konwencjonalnych, są to obrabiarki nadal bardzo kosztowne. Eksploatacja tych obrabiarek powinna zapewnić pracę co najmniej dwuzmianową i powinna przebiegać efektywnie, bez przerw i przy zachowaniu wysokiej wydajności

obróbki. Stąd wymagania odnośnie wysokiej wydajności i niezawodności odnoszące się do narzędzi skrawających. Ze względu na niezbyt wysokie moce napędów głównych oraz omówione powyżej zastrzeżenia odnośnie sztywności OSN co uniemożliwia obróbkę z dużymi przekrojami warstwy skrawanej, skoncentrowano się na osiągnięciu wysokich prędkości skrawania. Dlatego w powszechnym użyciu są narzędzia składane z ostrzami z węglików spiekanych, pokrytych warstwami zapewniającymi dużą odporność na ścieranie i coraz częściej z płytkami ze spieków ceramicznych. Specjalne konstrukcje wiertel i frezów z płytkami wymiennymi, w połączeniu z możliwością wydajnego chłodzenia płynami obróbkowymi, doprowadzają do coraz szerszego eliminowania narzędzi z ostrzami ze stali szybkołotnej.

Tendencje do ograniczania bezpośredniego nadzoru nad pracą obrabiarek oraz zwiększone wymagania jakości produkowanych wyrobów, w zasadniczy sposób zwiększają wymagania odnośnie niezawodności używanych narzędzi a zwłaszcza stabilności cech decydujących o długości ich eksploatacji. Ponieważ możliwości w tym względzie wydają się być ograniczone, coraz częściej zaczyna się stosować automatyzację kontroli pracy narzędzia, pośrednio mierząc geometrię obrabianych powierzchni lub zjawiska towarzyszące obróbce (wydzielanie ciepła, drgania, opory skrawania), jak i bezpośrednio kontrolując stan zużycia ostrza skrawającego. Automatyczna diagnostyka pracy narzędzia wiąże się bezpośrednio z koniecznością przystosowania ich do automatycznej wymiany przy użyciu odpowiednich manipulatorów i urządzeń pomocniczych.

Jedną z głównych zalet obrabiarek sterowanych numerycznie jest możliwość skrócenia ekonomicznie uzasadnionej długości serii produkcyjnej. Krótkie serie produkcyjne powodują konieczność częstego przebrajania obrabiarek. Stąd konieczność z jednej strony takiej konstrukcji uchwytów i narzędzi, aby można je było szybko i prawidłowo instalować na obrabiarkach, z drugiej strony zwiększenie uniwersalności narzędzi jak i uchwytów. Cechą szczególnie polecaną jest tutaj możliwość dokładnego ustawienia narzędzia na wymiar poza obrabiarką, co zmniejsza czasy przestoju obrabiarek ze względu na czynności kontrolne.

Podsumowując powyższe uwagi należy stwierdzić, że uchwyty i narzędzia stosowane na obrabiarkach sterowanych numerycznie powinny zapewniać:

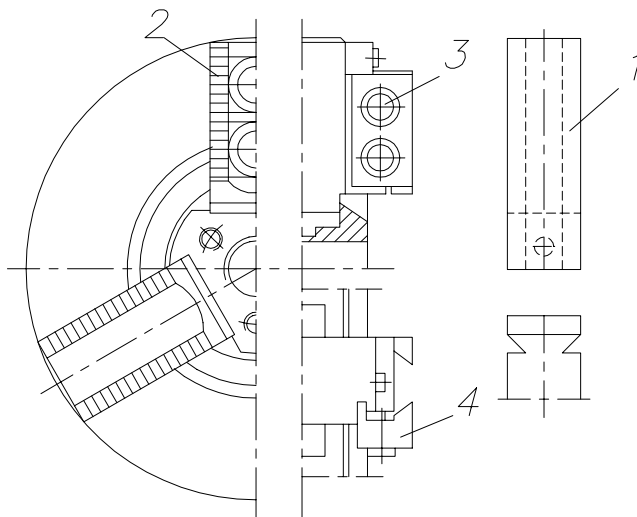
- uniwersalność;
- ekonomiczną obróbkę całego zbioru przedmiotów;
- dokładne i powtarzalne pozycjonowanie;
- szybkie i bezpieczne mocowanie;
- łatwą wymianę, możliwie zautomatyzowaną;
- szybkie i dokładne ustawienie na zadany wymiar;
- eliminację ruchów jałowych;
- niezawodność technologiczną;
- sztywność;
- stabilne okresy trwałości ostrzy skrawających i łatwą regenerację;
- wzajemną zamiennność pomiędzy różnymi typami obrabiarek;
- unifikację w zakresie zakładu produkcyjnego.

Inną wymagającą podkreślenia cechą oprzyrządowania OSN w krajowych warunkach eksploatacji jest możliwość zastosowania krajowych zamienników wyposażenia

dla narzędzi importowanych oraz możliwość ich własnego wykonawstwa w późniejszym okresie eksploatacji.

3.2. Wyposażenie tokarek sterowanych numerycznie

Podstawowym sposobem ustalania przedmiotów obrabianych na tokarkach sterowanych numerycznie jest stosowanie uchwytów trójszczekowych samocentrujących. Uchwyty dzieli się, ze względu na skok szczęk, na uchwyty o małym skoku (gdzie występują typy mocowania: klinowe, zębatkowe lub dźwigniowe) i uchwyty o dużym skoku, nazywane też spiralnymi (typ Cushmana). Najwięksi producenci uchwytów na rynku europejskim to firmy niemieckie: Gildemeister, Röhm, SMW, Forkardt oraz Rotomors (Włochy). W Polsce producentem uchwytów jest FPU Biał. Istnieje tendencja rozwojowa specjalnych uchwytów do tokarek SN, przy czym nie zawsze są to rozwiązania całkowicie zautomatyzowane (programowalne), ze względu na wysoki koszt (równający się w niektórych przypadkach cenie układu sterowania). Na Rys. 27 przedstawiono schemat jednego z rozwiązań uchwytu firmy Forkardt, najbardziej znanej na rynku polskim. Szczęki (1) miękkie lub twarde ustalane są przy pomocy szczęk bazowych (2) i mocowane śrubami (3) za pośrednictwem listwy mocującej (4).



Rys. 27. Uchwyt trójszczekowy samocentrujący (f. Forkardt)

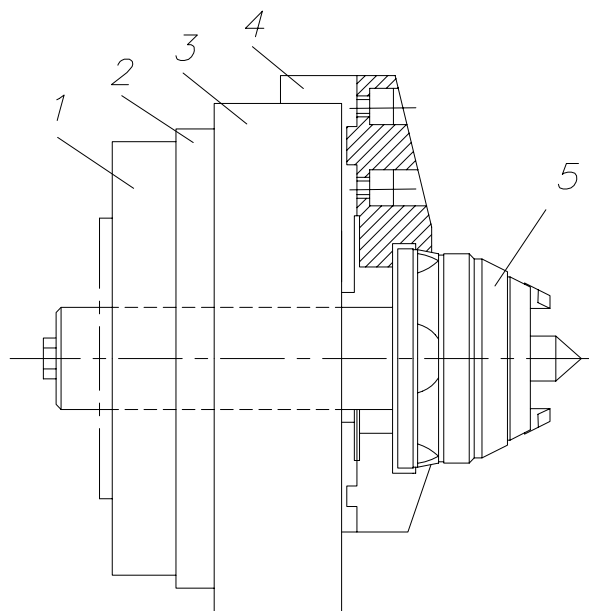
Na tokarkach sterowanych numerycznie wyposażonych w konik, podstawowym sposobem ustalania i mocowania przy obróbce wałków jest ustawienie w zabieraku czołowym z podparciem kłem konika. Do tokarek sterowanych numerycznie mogą być stosowane te same odmiany zabieraków, co do tokarek konwencjonalnych. Szczególną uwagę należy zwrócić na:

- powtarzalność ustalenia wzdłużnego przedmiotów (wpływająca na otrzymywane wymiary wzdłużne w wałkach wielostopniowych);
- kompensacje wysuwu ostrzy zabieraka (wpływająca na dokładność wynikowa centrowania wałków).

Istnieje tendencja aby zabieraki, będące na wyposażeniu danej tokarki, zapewniały stałą odległość czoła wałka od punktu M obrabiarki, co ułatwia ustawienie bazy programu (punkt W) oraz automatyczną zmian przedmiotów. Stałą odległość można

uzyskać różnymi sposobami. Jednym z nich jest zastosowanie ustawienia zabieraków za pomocą tarcz pośrednich (zrezygnowanie z chwytu stożkowego Morse'a), których różna grubość kompensuje zmienny wysięg ostrzy zabieraków różnej wielkości.

Innym rozwiązaniem jest rodzina zabieraków z hydrauliczną kompensacją wysuwu ostrzy, mających stałą odległość ostrzy od powierzchni ustalającej zabieraka. Specjalne ukształtowanie powierzchni ustalającej zabieraka i szczek uchwytu powoduje dociskanie zabieraka do powierzchni czołowej uchwytu. Przykład tego typu rozwiązania przedstawiono na Rys. 28. Rozwój tej odmiany konstrukcyjnej doprowadził do powstania zabieraków typu COMBI, zapewniających obróbkę średnic w zakresie 12÷215 mm i przystosowanych do szybkiego mocowania w specjalnych tarczach lub tulejach pośrednich albo w uchwycie. Najpoważniejszym producentem zabieraków czołowych jest firma Schmidt–Kosta (Niemcy).

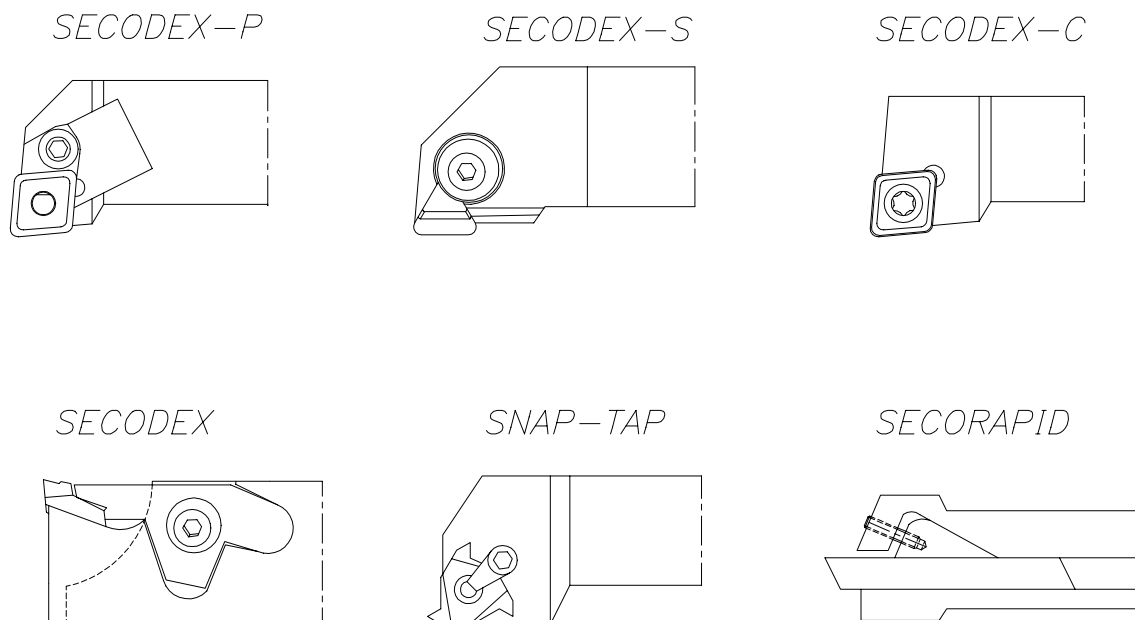


Rys. 28. Zabierak czołowy: 1 – końcówka wrzeciona, 2 – tarcza zabierakowa, 3 – uchwyt samocentrujący, 4 – prowadnice szczek uchwytu, 5 – zabierak czołowy

Trzecim istotnym przyrządem wspomagającym mocowanie przedmiotów długich są podtrzymki. Rozróżniamy tu podtrzymki automatyczne lub półautomatyczne, stałe lub ruchome. Najczęściej stosowanym wariantem jest podtrzymka automatyczna stała.

W oprawkach narzędziowych do OSN grupy tokarek występuje duża różnorodność części chwytowych. Jedną z odmian stosowanych w tokarkach sterowanych numerycznie z ręczną zmianą narzędzi są chwytaki walcowe wg wytycznych normy VDI 3425. Nie nadają się one do tokarek z automatyczną zmianą narzędzi. Bardziej korzystne ze względu na czynności automatycznego przekazywania oprawki z magazynu narzędziowego do suportu są połączenia z prowadnicami typu „jaskółczy ogon”.

Narzędzia tokarskie na obrabiarki sterowane numerycznie są wykonywane prawie wyłącznie jako składane z wymiennymi płytkami wieloostrowymi. Na Rys. 29 pokazano system mocowań płytek wymiennych znanej szwedzkiej firmy SECO-TOOLS.



Rys. 29. System mocowań płytek skrawających firmy SECO-TOOLS

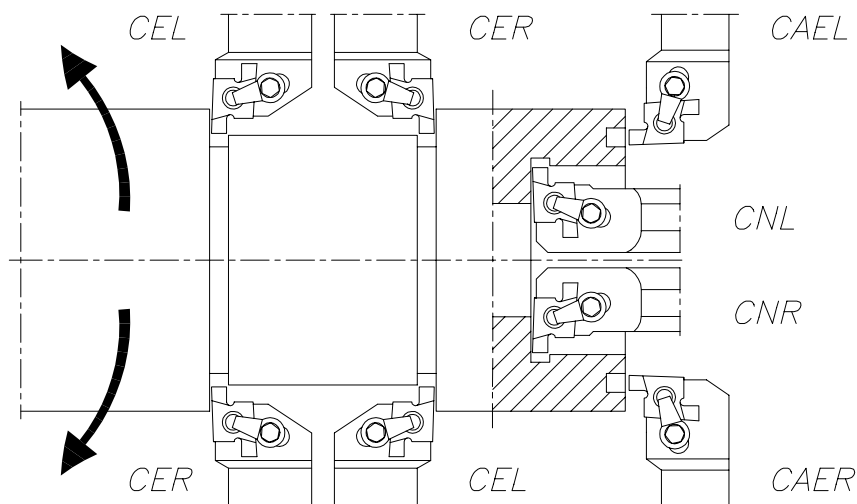
System SECODEx-P będąc rozwiązaniem najstarszym z zamieszczonych, odznacza się dużą liczbą elementów pośrednich oraz rozbudowaną konstrukcją trzonka noża, z tego względu jest on coraz mniej popularny.

System SECODEx-S, oparty na pomysłe użycia tzw. śruby „S” odznacza się znacznie większą prostotą i dostateczną pewnością zamocowania. Stosowanie pośredniej płytki dociskowej chroni płytkę skrawającą przed uszkodzeniem i zapewnia prawidłowe łamanie wirów. Z tego też względu płytka skrawająca może mieć bardzo prosty kształt. System ten jednak ze względu na dosyć duże wymiary śruby „S”, nie nadaje się do wszystkich typów narzędzi (np. narzędzi do obróbki niewielkich otworów).

Najlepszym rozwiązaniem wydaje się być system SECODEx-C, gdzie płytka jest mocowana centralnie jednym wkrętem, nie wystającym poza jej powierzchnię. Optymalny kształt gniazda wkrętu zabezpiecza przed jego uszkodzeniem. Wada jest tutaj nieco dłuższy czas przenocowania płytki (konieczność odkręcenia całego wkrętu i powtórne wkręcenie po obrocie lub wymianie płytki). Wadę tę eliminuje zastosowanie śruby z mimośrodowym łbem (względem gwintu), co umożliwia odmocowanie płytki po obrocie śruby mocującej jedynie o 180°.

System SECODEx oparty na klinowo-dźwigniowym sposobie mocowania płytek jest stosowany do mocowania płytek w nożach przecinakach, frezach tarczowych, względnie tam, gdzie nie występują siły poprzeczne do kierunku skrawania. Specjalny system SNAP-TAP do mocowania płytek kształtowych do wykonywania gwintów lub rowków, posiada takie zalety jak duża szybkość i prostota przenocowania oraz uniwersalność gniazd oprawki dla różnych zarysów ostrzy płytek. Mocowanie polega tu na docisku specjalnej łapki na dużą fazę wykonaną w otworze centralnym płytki. Dla prostych segmentów wykonanych ze stali szybko tnącej opracowano system mocowania SECORAPID oparty o zasadę działania klina. Na Rys. 30 pokazano komplet noży do wykonywania rowków, oparty na systemie mocowania SNAP-TAP. Jak wynika z rysunku, uniwersalność płytek jest całkowita. Dla zabezpieczenia wykonania wszystkich typów rowków wystarczają cztery rodzaje oprawek nożowych.

Np. dla obrabiarki z suportem tylnym: CEL, CER, CEAL i CNL. Zachowuje się przy tym jednakowy kierunek obrotów wrzeciona.

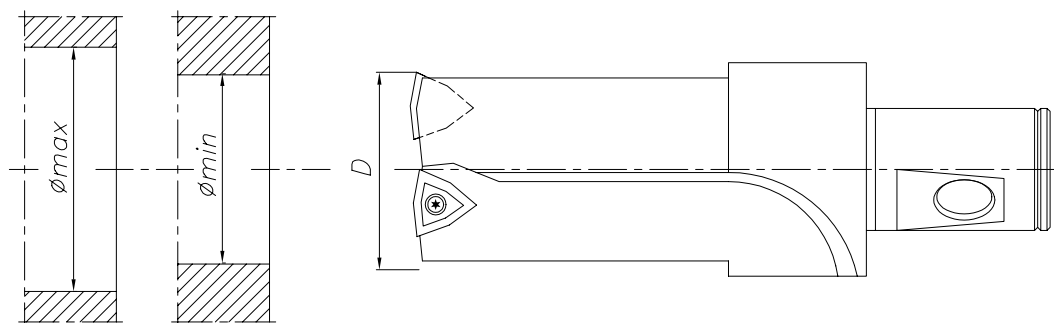


Rys. 30. Noże do wykonywania rowków, mocowane przy użyciu systemu SNAP-TAP

Wieloletnie doświadczenia w pracy narzędzi na obrabiarkach sterowanych numerycznie doprowadziło do opracowania nowych konstrukcji narzędzi, których stosowanie jest celowe tylko na takich obrabiarkach. Przykładem może tu być narzędzie Cut-Grip firmy ISCAR.

Duże zmiany w sposobie wiercenia otworów wprowadziło zastosowanie wiertła z wymiennymi płytkami. Jest to bardzo wydajny sposób obróbki, zwłaszcza dla otworów o długościach nie przekraczających trzykrotnej średnicy wiertła. Przy dłuższych otworach wymagane jest bardzo obfite chłodzenie płynem obróbkowym, że względu na wydzielanie się dużych ilości ciepła. Wiertła te odznaczają się bardzo dużą uniwersalnością. Komplet 6 wiertła (Rys. 31) zapewnia obróbkę otworów w zakresie od 19÷52 mm. Oprócz tego wiertła takiego można użyć do roztoczenia otworu na większą średnicę, można więc wykonywać otwory stopniowe w jednym (mała różnica średnic) lub w kilku przejściach.

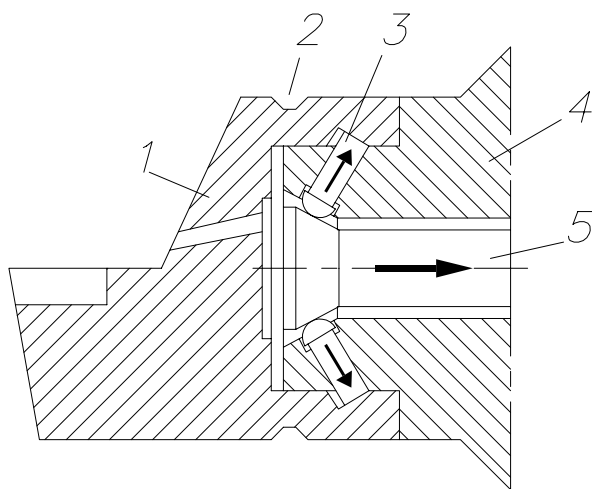
D	$\phi_{min}-\phi_{max}$
19	19-22
22	22-27
27	27-33
33	33-41
41	41-47
47	47-52



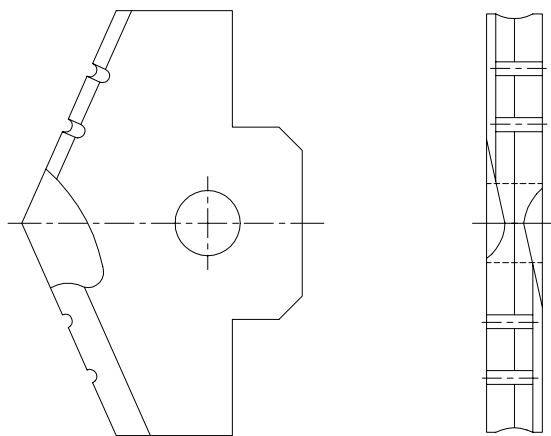
Rys. 31. Wiertło z wymiennymi płytkami

Można także wykonywać otwory stożkowe w pełnym materiale lub podczas roztaczania wstępnie wywierconego otworu. Przy długich otworach należy używać wiertel z płynem obróbkowym podawanym centralnie przez oś narzędzia, co oprócz skutecznego chłodzenia i smarowania zapewnia skuteczne odprowadzanie wiórów.

Istotną cechą współczesnych centrów tokarskich stała się możliwość szybkiej i niezawodnej, automatycznej wymiany narzędzia skrawającego. Na Rys. 32 przedstawiono sposób stosowany przez firmę Krupp–Widia w systemie Multiflex. Oprawka narzędziowa (1) stanowi stosunkowo niewielki element z naciętym rowkiem (2), służącym do chwytania łapą manipulatora podczas automatycznej zmiany. Mocowanie następuje poprzez ruch zakończonego powierzchnią stożkową ciągadła (5), w kierunku jak zaznaczono na rysunku, co powoduje ruch grzybkowych popychaczy (3) prowadzonych w korpusie (4) w kierunku odśrodkowym. Lekkie odkształcenie sprężyste elementu (1) powoduje ustalenie go na powierzchni czołowej, z równoczesnym centrowaniem powierzchnia walcowa.



Rys. 32. Mocowanie wkładek nożowych w systemie Multiflex (Krupp–Widia)

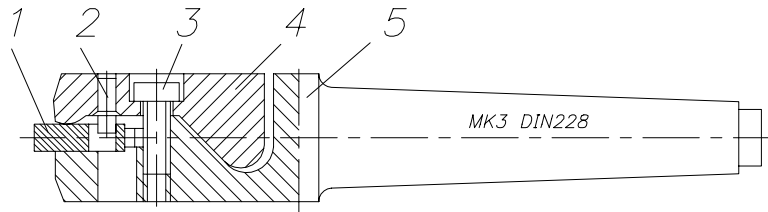


Rys. 33. Płytki do wiertła piórkowego

W Polsce do tej pory nie uruchomiono produkcji wiertel z płytkami wymiennymi z węglików spiekanych. W latach 70-tych uruchomiono w FOS Tarnów produkcję wiertel piórkowych, składających się z płytki pokazanej na Rys. 33 oraz trzpienia mocującego. Mogą one być stosowane do wstępnego wiercenia otworów przelotowych i nieprzelotowych od $\phi 28$ mm do $\phi 128$ mm i długości do 400 mm w zależności od

długości i rodzaju chwytu. Oprawki do wiertel piórkowych mają chwyt walcowy, ze stożkiem Morse'a i chwyt o zbieżności 7:24, przystosowane do bezpośredniego mocowania we wrzecionie obrabiarki.

System konstrukcji oprawki zapewnia układowi wiertło-oprawka dobrą sztywność i zapobiega zboczeniu wiertła z osi wierconego otworu. Wiertła piórkowe mają znormalizowaną geometrię ostrza. Każdy trzpień wiertarski, po zmianie płytki skrawającej, może wykonać inny wymiar otworu (3 do 6 zakresów wiercenia). Jeden ze sposobów mocowania płytek obrazuje Rys. 34. Wkręcając wkręt (3) powodujemy docisk łapą (4) płytki od góry, równocześnie dzięki wymuszonemu konstrukcyjnie przesuwowi łapy (4) w kierunku osiowym, a wraz z nią kołka (2), następuje docisk płytki do gniazda trzpienia (5).



Rys. 34. Sposób mocowania płytki wiertła piórkowego

3.3. Wyposażenie frezarsko-wytaczarskich centrów obróbkowych

W dziedzinie oprzyrządowania centrów frezarsko-wytaczarskich w największym stopniu zostały zunifikowane elementy mocowania narzędzia, choć tylko w zakresie oprawek bezpośrednich (bezpośrednio mocowanych we wrzecionie obrabiarki), gdzie zdecydowano się na stożek niesamohamowny (7:24) ISO o wielkościach 40 i 50. Przeważa wykonanie wg normy DIN69871/A lub B (Niemcy), wg normy japońskiej MAS-BT403 oraz wg normy USA ANSI B5/50.

W Polsce jako podstawowe przyjęto dwa rodzaje chwytów:

- do OSN z ręczną zmianą narzędzi – wg PN-76/M55081;
- do centrów obróbkowych chwyt wg normy japońskiej, stosowany m.in. w szeroko użytkowanych w kraju centrach HP4/5 na licencji firmy Mitsui-Seiki.

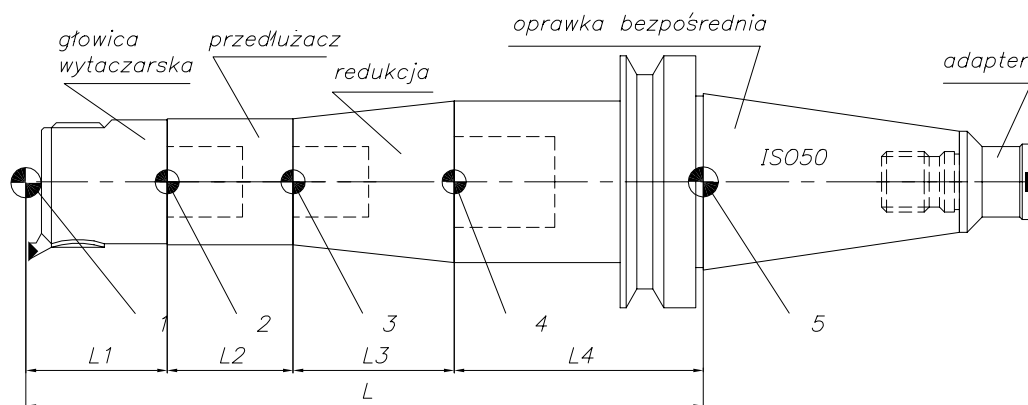
Głęboko sięgającą konsekwencją wprowadzania nowych typów maszyn jest konstrukcyjne wykonanie narzędzia. W centrach obróbkowych stosowane są co prawda w dalszym ciągu narzędzia jednoczęściowe, w których część chwytowa i część robocza występują jako integralny element konstrukcyjny, jednakże coraz częściej preferuje się modułowo skonstruowane narzędzia. Narzędzia te oparte są na zasadach konstrukcji zespołowej, składającej się z różnorodnych zunifikowanych elementów. Istotnymi modułami tego rodzaju konstrukcji zespołowych są:

- Adaptery. Są to elementy stosunkowo niewielkich rozmiarów, służące do zamocowania narzędzia zespołowego. Ich kształt zależy od rozwiązania ciągadła mocującego narzędzie. W niektórych typach obrabiarek adaptery służą także do kodowania narzędzia, a więc i jego identyfikacji.
- Oprawki bezpośrednie. Są to elementy służące do ustalania narzędzi we wrzecionie obrabiarki. Na jednym końcu oprawki znajduje się stożek niesamohamowny ISO, zgodny z gniazdem wrzeciona określonej obrabiarki. W środkowej części znajduje się kołnierz, umożliwiający wymianę narzędzia. Na

drugim końcu znajduje się modułowe sprzęgło, które jako niezunifikowane może przyjmować różne formy, u różnych producentów narzędzi. Służy ono do rozbudowy dalszych elementów modułowych.

- Oprawki pośrednie. Należą tutaj takie elementy jak: tuleje redukcyjne, przedłużacze, oprawki specjalne np. do gwintowania. Są to elementy umożliwiające ustalenie narzędzi skrawających w oprawce bezpośredniej i pozwalające na uzyskanie odpowiednich wymiarów gabarytowych narzędzia zespołowego; niektóre zapewniają bezpieczną pracę (np. oprawki ze sprzęgłem przeciążeniowym).
- Narzędzia skrawające. Różnorodność narzędzi skrawających jest bardzo duża, jako podstawowe grupy można tu wyróżnić: wiertła, frezy trzpieniowe, frezy nasadzone, głowice frezowe, rozwiertaki, gwintowniki, itp.
- Elementy mocujące i ustalające narzędzie. Są to elementy (śruby, nakrętki, wpusty, zabieraki), służące do mocowania poszczególnych modułów w jedną całość, tworzącą narzędzie zespołowe.

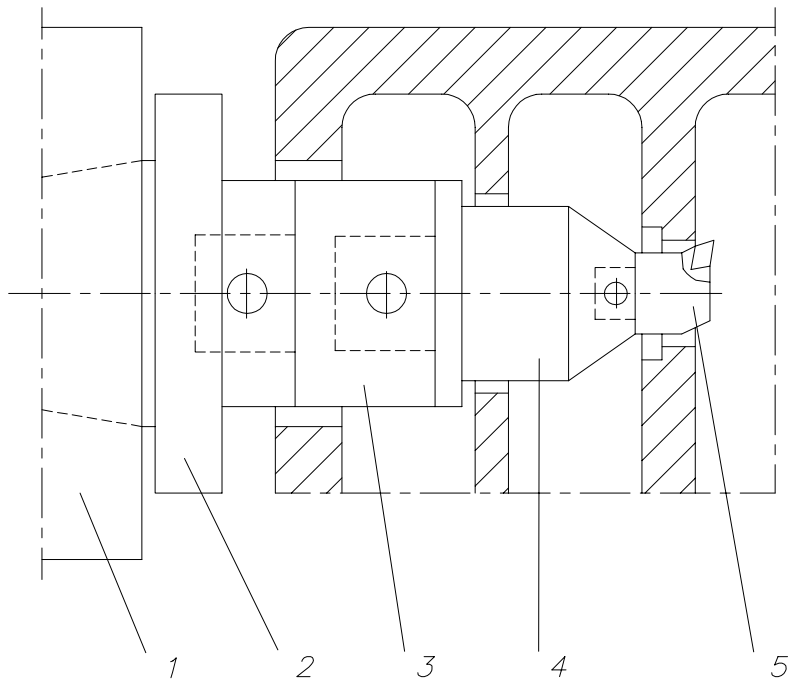
Na Rys. 35 przedstawiono analizę wymiarów długościowych narzędzia zespołowego dla frezarsko-wytaczarskiego centrum obróbkowego. W każdym elemencie (module) można wyróżnić tzw. punkt zerowy (poz.(1),..., (5)), związany z płaszczyzną odniesienia chwytu elementu oraz punkt kodowy, pokrywający się w przypadku oprawek z punktem zerowym elementu współpracującego, a w przypadku narzędzi skrawających z punktem bezpośrednio programowanym przez programistę. Długością efektywną danego elementu jest odległość od punktu zerowego do punktu kodowego elementu. Długość narzędzia zespołowego jest sumą długości efektywnej oprawki bezpośredniej, oprawek pośrednich i narzędzia skrawającego. Ta wielkość jest wprowadzana do układu sterowania obrabiarki jako poprawka długościowa narzędzia, jest ona również uwzględniana w analizie przestrzeni roboczej centrum obróbkowego jako wielkość KW (Rys. 47).



Rys. 35. Analiza wymiarów długościowych narzędzia zespołowego (modułowego)

Modułowy system konstrukcji zespołowej pozwala wykorzystać uniwersalną wszechstronność centrów obróbkowych. W czasie przygotowania pracy względnie planowania doboru narzędzi można poprzez zręczny dobór zestawień każdorazowo zespoły modułowe optymalne dla każdego zadania roboczego. Jako przykład może służyć tutaj przedstawione na Rys. 36 wytaczadło, gdzie poszczególne elementy: oprawka bezpośrednia (2), przedłużacz (3), tuleja redukcyjna (4) i głowica wytaczarska (5), zostały tak dobrane, że narzędzie jako całość optymalnie „wpisało”

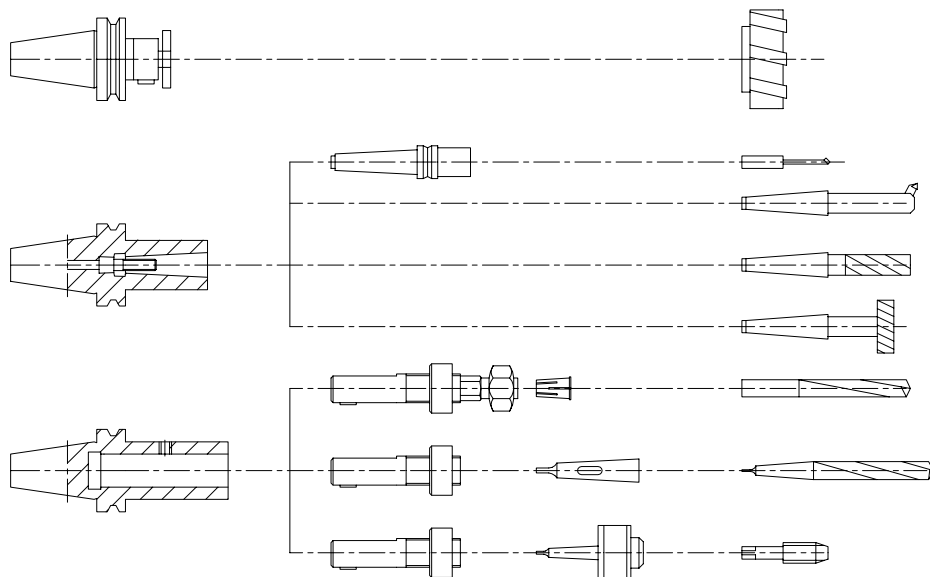
się w kontury obrabianego korpusu. W tego typu analizie należy także uwzględnić wymiary końcówki wrzeciona obrabiarki (1).



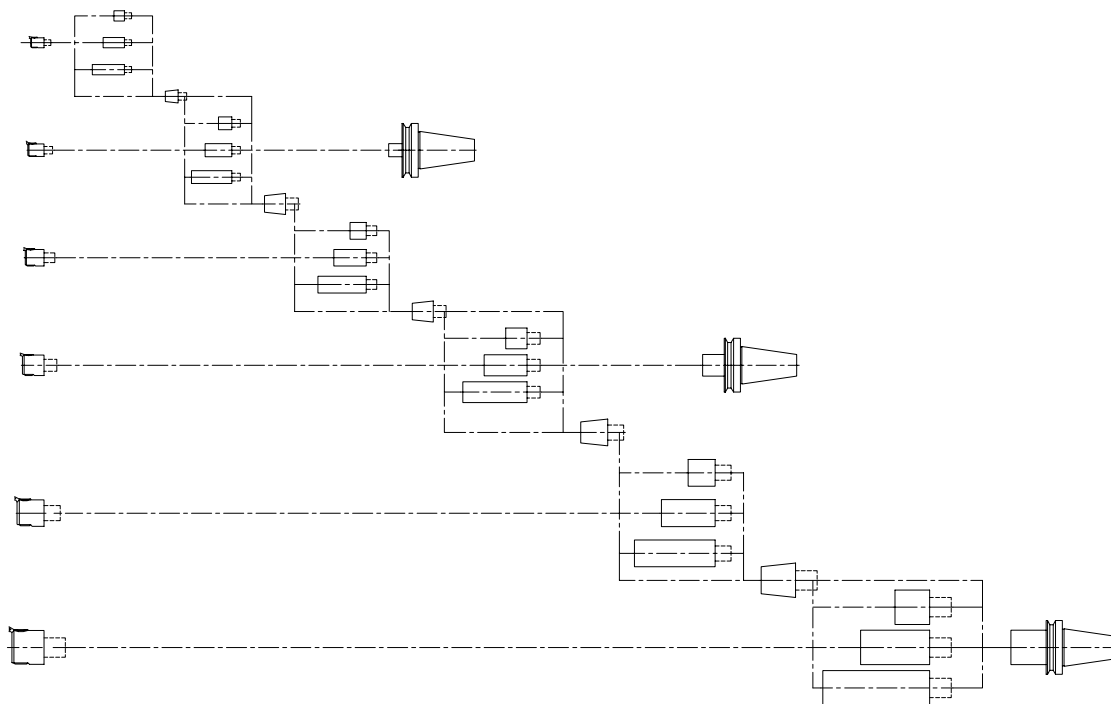
Rys. 36. Optymalny dobór elementów składowych narzędzia modułowego

Przy tego rodzaju kompletowaniu narzędzi następuje znaczne ograniczenie zapotrzebowania na narzędzia specjalne, bowiem prawie każde narzędzie można zestawić ze zunifikowanych elementów systemu narzędziowego. Dzięki temu koszty narzędzi są przejrzyste oraz nie ma ograniczeń w postaci długich terminów dostaw, w wyniku czego długość cyklu produkcyjnego nowych przedmiotów może być w istotny sposób skrócona.

Na Rys. 37 przedstawiono fragment systemu modułowego, przeznaczonego do narzędzi skrawających różnych typów. Natomiast na Rys. 38 przedstawiono system modułowy wytaczarski do wytaczania małych średnic ($\phi 18 \div \phi 150$).



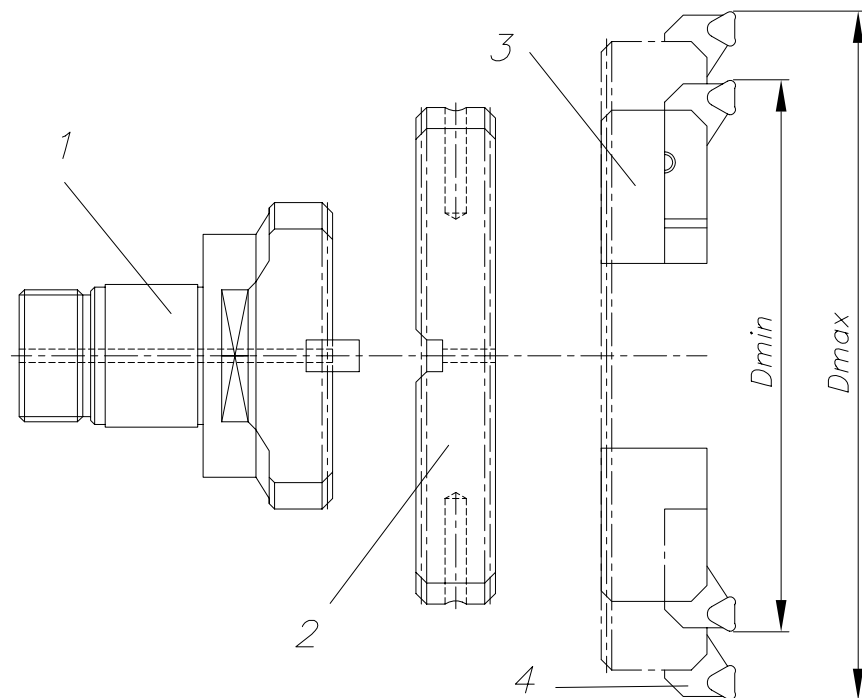
Rys. 37. Fragment systemu modułowego dla narzędzi trzpieniowych



Rys. 38. Przykład modułowego systemu wytaczarskiego

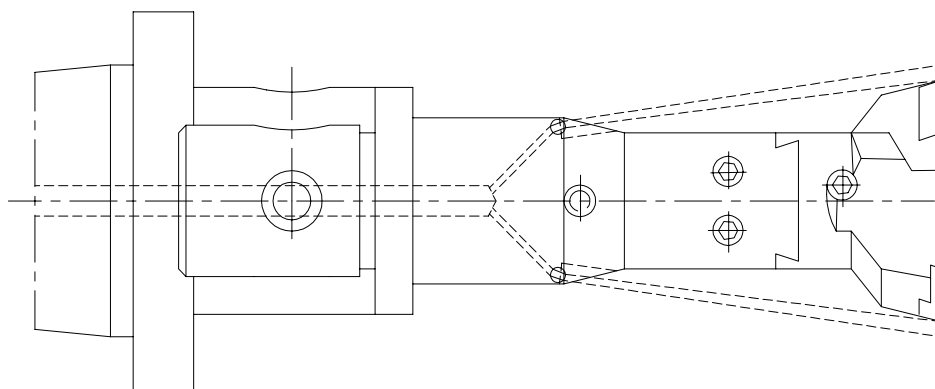
Narzędzia do wytaczania dzieli się na głowice do wytaczania zgrubnego oraz głowice do wytaczania precyzyjnego, natomiast w zależności od średnicy otworów na głowice do wytaczania małych otworów oraz głowice do wytaczania dużych otworów (powyżej $\phi 140$). Głowice do wytaczania zgrubnego są budowane jako dwunożowe, z nożami zabudowanymi cylindrycznie, ustawianymi niezależnie. Praktyka wykazała, że w przypadku przedmiotów obrabianych ze stali, stosować należy głowice do wytaczania o kącie przystawienia 90° , podczas gdy przy obróbce żeliwa sprawdziły się głowice o kącie przystawienia 70° , co zapobiega wykruszaniu się krawędzi otworu.

Głowice do wytaczania precyzyjnego służą do wytaczania otworów w klasach IT5÷IT8. Posiadają one umieszczoną w oprawce wkładkę mikrometryczną, której przykład przedstawiono na Rys. 39. Jest to konstrukcja wkładek produkowanych przez FOS Tarnów na licencji firmy Gildemeister–Devlieg.



Rys. 40. Narzędzie do wytaczania wielkośrednicowego: 1 – oprawka bezpośrednia ze złączem narzędziowym, 2 – mostek ustalający, 3 – mostek zaciskowy, 4 – sanie z zaciskami mocującymi

Szczególnie duży wpływ miał rozwój centrów obróbkowych na ukształtowanie się konstrukcji frezów i głowic frezowych. Obrabiarki te eksploatowane są często przy zmniejszonym nadzorze, stąd dużego znaczenia nabiera niezawodność pracy. Krytyczny charakter ma tutaj powstawanie wiórów i ich usuwanie. Zastosowanie płytek wymiennych z odpowiednio ukształtowanymi nieckami wiórowymi umożliwia prawidłowe zwijanie i łamanie wióra. Również prawidłowy dopływ chłodziwa na ostrze jest nieodzownym warunkiem jego sprawnej pracy. Przykład rozwiązania prawidłowego dopływu płynu obróbkowego przedstawia Rys. 41.

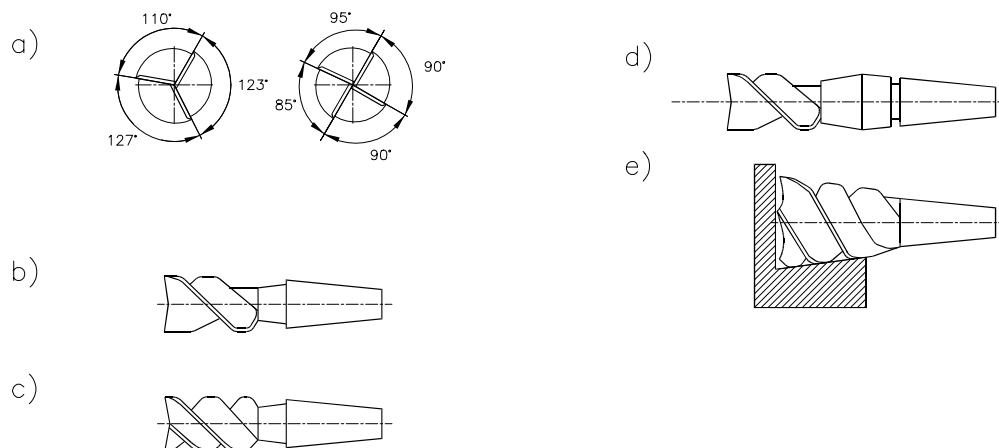


Rys. 41. Doprowadzenie płynu obróbkowego do strefy obróbki

Płytki frezów są tak umieszczone, aby uzyskać ujemny promieniowy i dodatni osiowy kąt natarcia. Daje to bardzo korzystny odpływ wiórów, małą osiową siłę skrawania, minimalną pulsację tej siły i dużą wytrzymałość krawędzi skrawającej. Dodatkowo korzystne efekty uzyskuje się przez odpowiednią kombinację geometrii ostrza, liczby zębów i nierównomiernej podziałki.

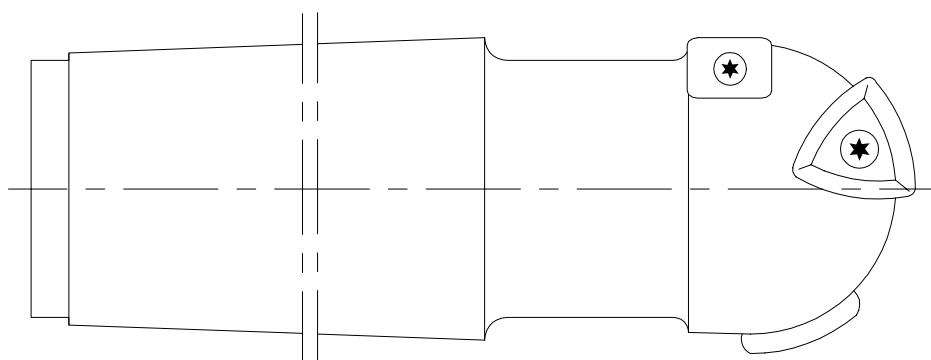
Frezy trzpieniowe, stosowane na centrach frezarsko–wytaczarskich, mogą mieć zmodyfikowaną konstrukcję – Rys. 42, przez:

- niesymetryczną podziałkę, co zmniejsza skłonność narzędzia do drgań;
- ukształtowanie ostrza umożliwiające wcinanie osiowe;
- zwiększenie sztywności narzędzia przez zwiększenie średnicy rdzenia i zmniejszenie głębokości rowków wiórowych;
- zwiększenie sztywności narzędzi, dla których wymagany jest znaczny wysięg przy dopuszczalnej krótkiej części skrawającej, przez wzmocnienie stożkowej części chwytowej;
- stosowanie frezów o stożkowej powierzchni działania do obróbki ścian pochyłych.



Rys. 42. Frezy trzpieniowe o zmodyfikowanej konstrukcji

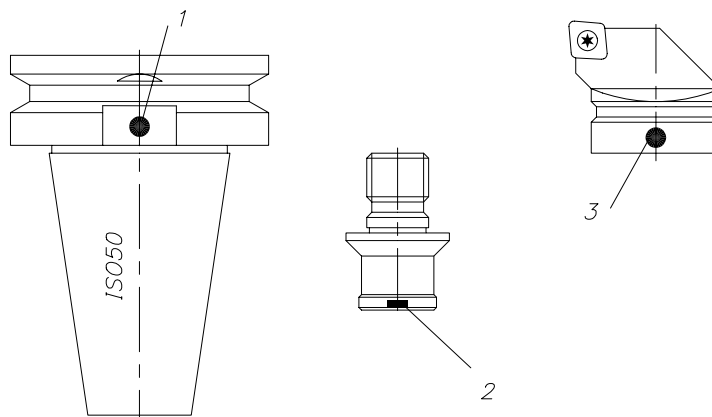
Możliwości ruchów kształtowych obrabiarki sterowanej numerycznie pozwalają na obróbkę skomplikowanych kształtów. Narzędziem pozwalającym na obróbkę kształtową na obrabiarkach 5-cio osiowych (5C) jest frez pokazany na Rys. 43. Odpowiednio uformowane, kształtowe płytki dają kulistą powierzchnię działania, co pozwala na obróbkę różnych profili.



Rys. 43. Frez o kulistej powierzchni działania

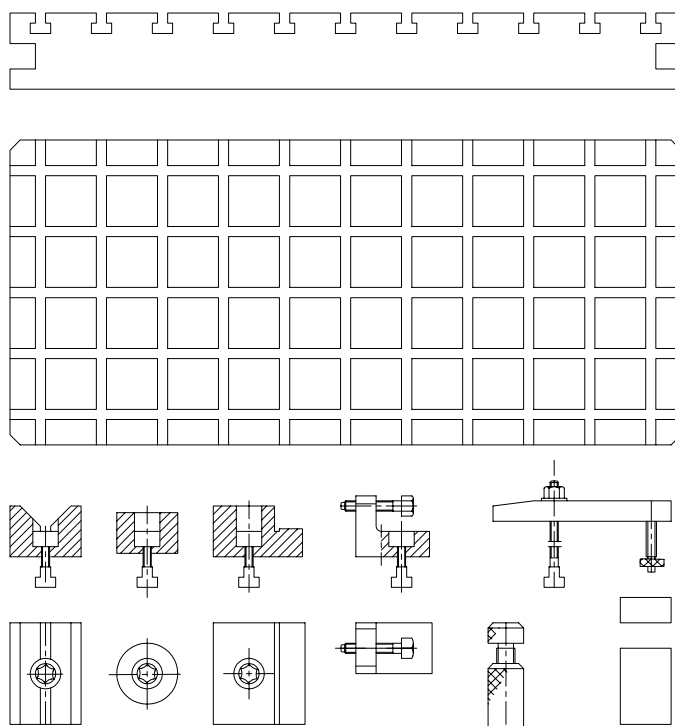
Szczególnego znaczenia nabrało w ostatnich latach skonstruowanie narzędzi do kombinowanego zabiegu wiercenie–frezowanie. Umożliwia ono wykonywanie otworów bez wstępnego nawiercania oraz rozpoczynanie frezowania w materiale pełnym bez potrzeby wstępnego wiercenia otworu. Zaletami nowej technologii są: mniejsza liczba narzędzi, zdejmowanie większego naddatku w jednym przejściu, ograniczenie ruchów jałowych.

W dobie budowy elastycznych systemów obróbkowych istotnego znaczenia nabiera kodowanie i identyfikacja poszczególnych elementów narzędzia, w celu automatycznej kompletacji, magazynowania, mierzenia, pamiętania czasów pracy itp. Wprowadza się zatem zabudowane w elementach wkładki identyfikacyjne ((1), (2), (3) z Rys. 44), umożliwiające odpowiednim urządzeniom elektronicznym na odczytywanie i zapis informacji.

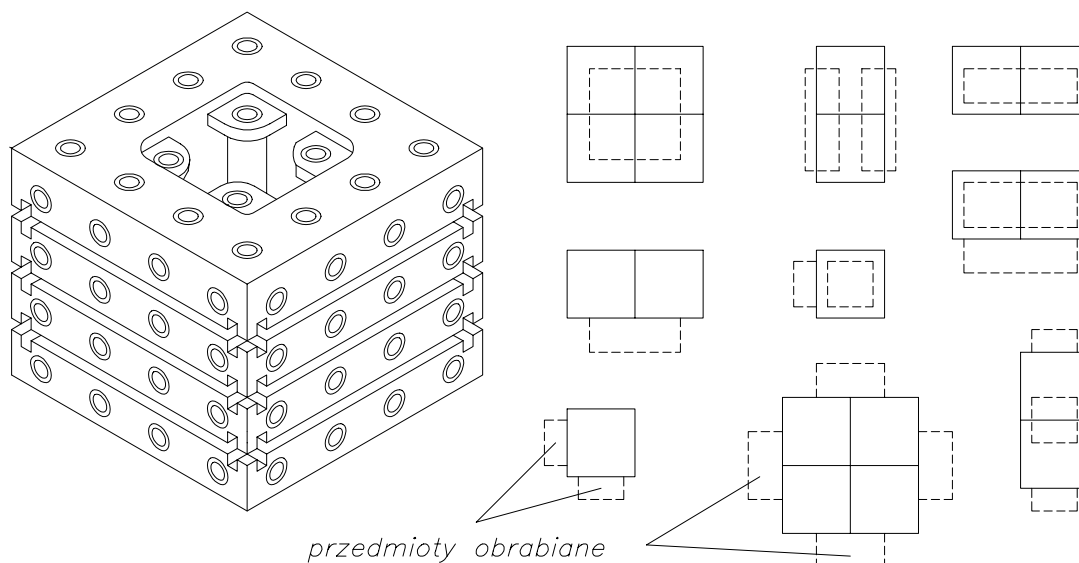


Rys. 44. Miejsca usytuowania wkładek identyfikacyjnych

Uniwersalność wyposażenia obrabiarek sterowanych numerycznie odnosi się przede wszystkim do oprzyrządowania ustalającego i mocującego przedmioty obrabiane. Wymagania takie spełniają uchwyty przedstawione na Rys. 45 i Rys. 46. Stół płaski z Rys. 45 wraz z odpowiednim zestawem elementów dociskających, ustalających, oporowych i podporowych tworzy zespół oprzyrządowania, przy pomocy którego można ustalać i mocować znaczną część produkowanego asortymentu wyrobów.



Rys. 45. Uniwersalny stół płaski ze standardowym wyposażeniem



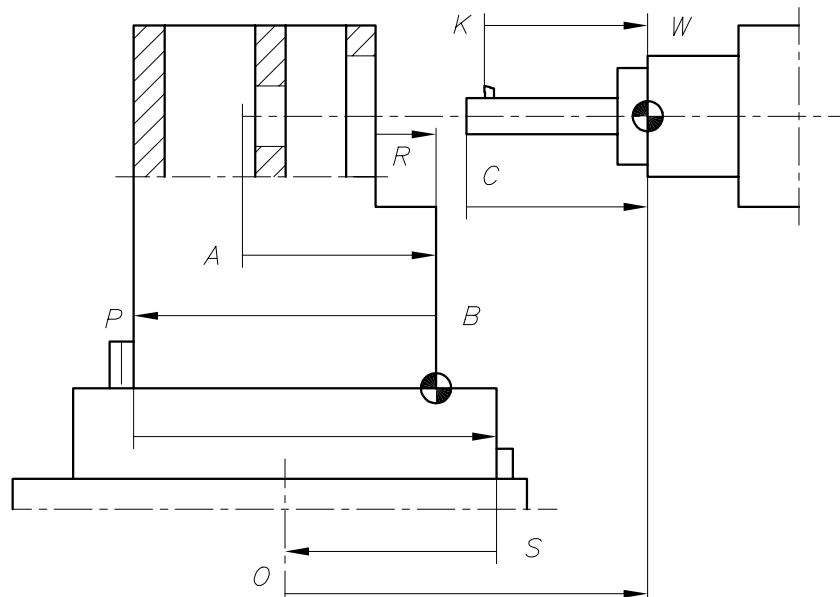
Rys. 46. Uniwersalny stół skrzynkowy

Stół skrzynkowy z Rys. 46 posiada dodatkowo tę zaletę, że może służyć jako segment większego uchwytu umożliwiającego zależnie od konfiguracji mocowanie kilku małych lub jednego dużego przedmiotu.

W niektórych przypadkach wyposaża się uniwersalne stoły w zestaw mocowań hydraulicznych. Obejmują one obszerny zbiór elementów i urządzeń: urządzenia zasilające, siłowniki, elementy mocujące, ustalające, podporowe, urządzenia sterujące i sygnalizujące, a także łączące. Do zasilania mocowań stosuje się: pompy hydrauliczne, pneumohydrauliczne, agregaty hydrauliczne z napędem elektrycznym. Spośród wielu producentów mocowań na uwagę zasługuje zestaw firm: Rämheld, Peiseler (Niemcy), Enerpac (Szwajcaria). Stosowanie uniwersalnych zestawów mocowań na OSN nie jest obecnie szeroko rozpowszechnione z tego powodu, że montaż tych urządzeń jest stosunkowo pracochłonny.

3.4. Analiza przestrzeni roboczej centrum obróbkowego

Na ostateczną długość narzędzia mają wpływ nie tylko kształt i wymiary przedmiotu obrabianego, ale także wymiary przestrzeni roboczej centrum obróbkowego (a dokładnie: maksymalna i minimalna odległość osi obrotu stołu od czoła wrzeciona) oraz uchwyt obróbkowy i jego położenie na stole obrabiarki. Zależności te obrazuje Rys. 47.



Rys. 47. Analiza przestrzeni roboczej centrum frezarsko-wytaczarskiego

Jak wynika z rysunku długość korekcyjna narzędzia KW i długość całkowita narzędzia CW powinny spełniać następujące nierówności:

$$\begin{aligned} KW &> (AW)_{\min} \\ KW &> AB + BP + PS + SO + (OW)_{\min} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} CW &< (RW)_{\max} \\ CW &< RB + BP + PS + SO + (OW)_{\max} \end{aligned} \quad (12)$$

oraz:

$$\Delta Z = (OW)_{\max} - (OW)_{\min} \quad (13)$$

gdzie:

- C – punkt wierzchołkowy narzędzia;
- W – punkt odniesienia gniazda wrzeciona;
- O – środek obrotu stołu obrabiarki;
- S – punkt ustalania uchwytów na stole;
- P – baza obróbkowa przedmiotu;
- B – baza konstrukcyjna przedmiotu;
- R – położenie płaszczyzny bezpiecznej dla danego zabiegu;
- A – punkt programowany w programie obróbkowym;
- ΔZ – maksymalny przesuw obrabiarki w osi Z.

Nierówność (11) wyraża warunek osiągnięcia przez punkt kodowy narzędzia położenia zaprogramowanego w programie sterującym. Nierówność (12) wyraża warunek maksymalnej długości narzędzia, ze względu na możliwość wymiany bez kolizji z przedmiotem.

Z powyższej analizy nasuwa się wniosek, że oczywistą zależność:

$$\Delta Z > AR \quad (14)$$

należy skorygować do postaci:

$$\Delta Z > (AR + CK)_{\max} \quad (15)$$

W przypadku obróbki korpusu z dwóch przeciwległych stron, liczba warunków zostaje podwojona i może okazać się, że nie istnieje rozwiązanie takiego układu nierówności, co uniemożliwi obróbkę korpusu w jednym mocowaniu.

4. Programowanie obróbki na obrabiarkach sterowanych numerycznie

4.1. Zagadnienia ogólne

4.1.1. Struktura programów sterujących

Wprowadzanie programu do układu sterowania odbywa się przy pomocy taśmy dziurkowanej lub taśmy magnetycznej, dysków elastycznych (dyskietek), ręcznie z pulpitu CNC (układy MDI), bezpośrednio z komputera zewnętrznego w układach DNC, a także przy pomocy instrukcji słownych. System VNC (Voice Programming for Numerical Control) firmy Threshold Technology Inc. (USA) posiada preprocesor działający jako tłumacz mowy (w technice programowania termin procesor jest używany także w odniesieniu do oprogramowania tłumaczącego z jednego języka formalnego na drugi) i umożliwia przygotowanie taśmy sterującej w oparciu o ustne instrukcje programisty. Język składa się z 89 słów i zwrotów terminologii warsztatowej, układ programowania najpierw uczy się rozpoznawać słowa wypowiedziane przez programistę.

Program sterujący składa się z bloków, czyli porcji informacji oddzielonych znakami „LF” (koniec bloku). Wśród bloków wyróżnia się bloki zwykłe oraz bloki warunkowe (poprzedzone znakiem „/”). Bloki dzieli się również na bloki główne oraz bloki proste (główne adresuje się czasami znakiem „:”). Na każdy blok składa się od dwóch do kilku słów. Słowo składa się z jednoliterowego adresu oraz liczby o formacie uzależnionym od układu sterowania. W Tabl. 2,

Tabl. 3 i Tabl. 4 podano kolejno: znaki adresowe stosowane przy programowaniu obrabiarek NC i CNC, funkcje przygotowawcze G oraz funkcje pomocnicze M. Przyporządkowanie funkcji pomocniczych od M62 do M69 należy traktować jako przykładowe.

Tabl. 2. Znaki adresowe stosowane w programowaniu obrabiarek NC i CNC

Adres	Przeznaczenie
@	Przywołanie funkcji języka kodowego CL800 (SINUMERIK)
A	Ruch obrotowy dookoła osi X
A	Kąt w programowaniu łańcuchowym i biegunowym
B	Ruch obrotowy dookoła osi Y
B	Promień lub faza w programowaniu łańcuchowym
C	Ruch obrotowy dookoła osi Z
D	Numer rejestru parametrów narzędzi
E	Druga wartość posuwu
F	Posuw
F	Przyrost skoku gwintu
F	Wartość postoju czasowego (łącznie z funkcja G04)
G	Funkcje przygotowawcze
H	Adres pomocniczy
I	Parametr interpolacji kołowej (w osi X)
I	Skok gwintu w osi X
J	Parametr interpolacji kołowej (w osi Y)
K	Parametr interpolacji kołowej (w osi Z)
K	Skok gwintu w osi Z
K	Stała programowana
L	Numer podprogramu
M	Funkcje pomocnicze
N	Numer bloku
P	Krotność wywołania podprogramu
P	Adres pośredni
R	Położenie płaszczyzny bezpiecznej
R	Odwołanie się do R-parametru
S	Prędkość obrotowa wrzeciona
S	Prędkość skrawania (dla G96)
T	Numer narzędzia
U	Drugi ruch w osi X
U	Promień w programowaniu biegunowym
V	Drugi ruch w osi Y
W	Drugi ruch w osi Z
X	Ruch w osi X
Y	Ruch w osi Y
Z	Ruch w osi Z
/	Warunkowe pomijanie bloków
%	Start programu
(Początek komentarza
)	Koniec komentarza

Tabl. 3. Funkcje przygotowawcze układów NC i CNC

Znaczenie funkcji	Kod
Ruch szybki	G00
Interpolacja liniowa z posuwem roboczym	G01
Interpolacja kołowa zgodna z ruchem zegara	G02
Interpolacja kołowa przeciwna do ruchu zegara	G03
Programowany postój czasowy	G04
Ruch szybki programowany w układzie biegunowym	G10
Ruch roboczy z interpolacją liniową programowany w układzie biegunowym	G11
Ruch roboczy z interpolacją kołową zgodną z ruchem wskazówek zegara programowany w układzie biegunowym	G12
Ruch roboczy z interpolacją kołową przeciwną do ruchu wskazówek zegara programowany w układzie biegunowym	G13
Nacinanie gwintu regularnego	G33
Nacinanie gwintu z rosnącym skokiem	G34
Nacinanie gwintu z malejącym skokiem	G35
Odwołanie kompensacji promienia	G40
Kompensacja promienia z narzędziem po lewej stronie	G41
Kompensacja promienia z narzędziem po prawej stronie	G42
Przesunięcie początku osi	G45
Powrót początku układu współrzędnych do punktu M	G53
Przesunięcie początku układu współrzędnych	G54÷G57
Pozycjonowanie dokładne	G60
Pozycjonowanie ruchem szybkim	G62
Programowanie współrzędnych w calach	G70
Programowanie współrzędnych w mm	G71
Odwołanie cykli ustalonych	G80
Cykle ustalone	G81÷G89
Programowanie absolutne	G90
Programowanie przyrostowe	G91
Ograniczenie maksymalnych obrotów wrzeciona	G92
Posuw minutowy	G94
Posuw na obrót wrzeciona	G95
Stała szybkość skrawania	G96
Ustalenie aktualnej prędkości obrotowej wrzeciona	G97
Poszukiwanie punktu referencyjnego	G99

Tabl. 4. Funkcje pomocnicze układów NC i CNC

Znaczenie funkcji	Kod
Bezwarunkowe zatrzymanie programu	M00
Warunkowe zatrzymanie programu	M01
Koniec programu	M02
Start obrotów wrzeciona – CW	M03
Start obrotów wrzeciona – CCW	M04
Zatrzymanie obrotów wrzeciona	M05
Wymiana narzędzia	M06
Załączenie pompki chłodziwa	M08
Wyłączenie pompki chłodziwa	M09
Orientowane zatrzymanie obrotów wrzeciona	M19
Kasowanie odbicia lustrzanego	M20
Odbicie lustrzane w osi X	M21
Odbicie lustrzane w osi Y	M22
Odbicie lustrzane w osi Z	M23
Koniec programu i powrót do jego początku	M30
Automatyczny wybór zakresu obrotów wrzeciona	M35
Kasowanie blokady korekcji parametrów obróbki	M48
Blokada korekcji parametrów obróbki	M49
Otwarcie podtrzymki	M62
Zamknięcie podtrzymki	M63
Luzowanie zacisku konika	M64
Zaciskanie zacisku konika	M65
Wysuw pinoli konika	M66
Wycofanie pinoli konika	M67
Zmiana palety prawej	M68
Zmiana palety lewej	M69

Układy z ręcznym wprowadzaniem danych (MDI) mogą nie posiadać czytników taśmy (np. CNC Mark Century 1050H4 firmy General Electric), natomiast mają zwykle możliwość przenoszenia programów z pamięci CNC na taśmę magnetyczną w kasie lub dysk elastyczny.

4.1.2. Programowanie ręczne i wspomagane komputerem zewnętrznym

Tzw. programowanie ręczne (manualne), w którym programista–technolog projektuje bezpośrednio w języku programowania danego systemu NC lub CNC program sterujący obrabiarki, odbywa się bez pomocy komputera zewnętrznego. Dla układów NC (pierwsze rozwiązanie układu NC powstało w Massachusetts Institute of Technology w 1952 r. dla frezarki Cincinnati Hydrotel) jest to szczególnie pracochłonne, związane z wykonywaniem dodatkowych obliczeń i żmudnym testowaniem programu na obrabiarce. Układy CNC, dominujące dzisiaj w budowie obrabiarek, wnoszą znaczne ułatwienia dla programisty – zacierają granice pomiędzy programowaniem ręcznym i wspomaganiem komputerem zewnętrznym (maszynowym, automatycznym). Tym niemniej używa się w dalszym ciągu pojęcia programowania ręcznego, w którym nie korzysta się z komputera zewnętrznego, i programowania wspomagane komputerowo – komputerem zewnętrznym. W tym ostatnim przypadku

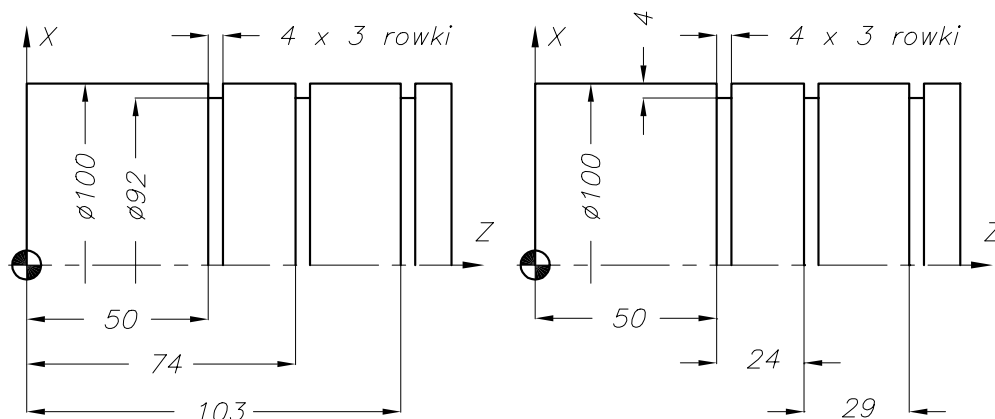
programista projektuje program źródłowy w odpowiednim języku wysokiego poziomu, np. APT lub COMPACT II, wprowadzanym do pamięci komputera i poddawanym w trybie dialogu edycji – usuwaniu błędów i wprowadzeniu zmian, a następnie przetwarzanym (tłumaczonym) przy wykorzystaniu uniwersalnego (dla danego języka) programu zwanego procesorem na program w języku pośredniczącym CL-DATA (ang. Cutter Location Data – dane o położeniach narzędzia). Jest on następnie przetwarzany przy wykorzystaniu drugiego programu zwanego postprocesorem, przystosowanego do układu sterowania obrabiarki, na program sterujący – mający format bloku odpowiadający NC lub CNC obrabiarki. Pojęcie procesora i postprocesora jest również stosowane w odniesieniu do programowania niektórych układów CNC. Szereg systemów CNC jest wyposażonych w postprocesory języka systemu APT.

4.1.3. Układ odniesienia

Programowanie absolutne oznacza przyjęcie, dla całego programu obróbki danej części lub jego fragmentu, stałego początku W układu odniesienia i podawanie w tekście programu współrzędnych punktów w tym układzie.

Programowanie przyrostowe (inkrementalne) nie wymaga określania początku układu odniesienia (bardzo istotny jest natomiast punkt startu programu) i polega na podawaniu dla kolejnego ruchu przyrostów współrzędnych w stosunku do położenia poprzedzającego ten ruch. Znak przyrostu współrzędnej wynika ze zwrotu ruchu narzędzia.

Aby móc stosować programowanie absolutne należy umieścić początek układu odniesienia w położeniu uzależnionym od sposobu ustalenia i wymiarowania przedmiotu obrabianego (lub przedmiotów w razie obróbki wieloprzecietowej) – w razie potrzeby kolejno w różnych punktach przestrzeni roboczej obrabiarki. Poniżej przedstawiono dwa fragmenty programów napisanych w układzie programowania absolutnym i przyrostowym. Przykład dotyczy obróbki rowków dla przedmiotu z Rys. 48. W zależności od sposobu zwymiarowania rysunku korzystniej jest stosować programowanie absolutne lub przyrostowe.



Rys. 48. Programowanie w układzie absolutnym i przyrostowym

programowanie absolutne

N10 G90 G0 X102 Z103
 N11 G1 X92 F.15
 N12 G4 F1
 N13 G0 X102
 N14 Z74
 N15 G1 X92
 N16 G4 F1
 N17 G0 X102
 N18 Z50
 N19 G1 X92
 N20 G4 F1
 N21 G0 X102

programowanie przyrostowe

N10 G91
 N11 G1 X5 F.15
 N12 G4 F1
 N13 G0 X5
 N14 Z-29
 N15 G1 X-5
 N16 G4 F1
 N17 G0 X5
 N18 Z-24
 N19 G1 X-5
 N20 G4 F1
 N21 G0 X5

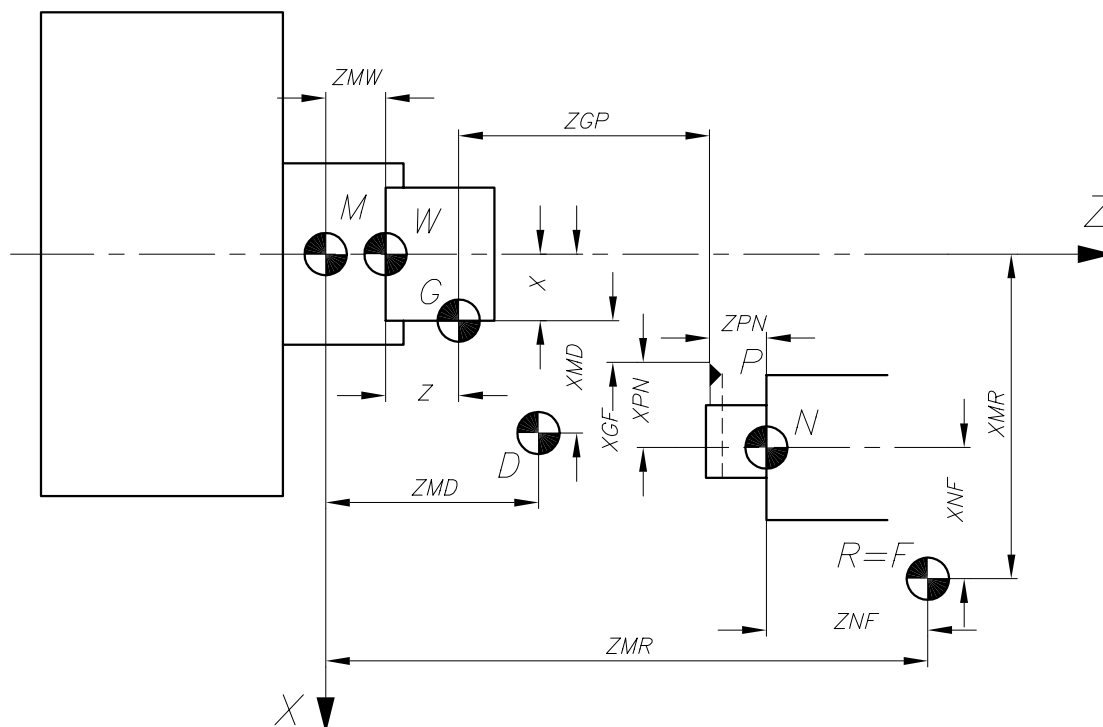
Zgodnie z PN-84/M-55251 oznaczenia osi współrzędnych i zwrotów ruchów zespołów roboczych obrabiarki są tak dobrane, aby programowanie obróbki było niezależne od tego, czy przemieszcza się narzędzie, czy przedmiot obrabiany. Układ XYZ, w którym odbywa się programowanie, jest układem kartezjańskim prawoskrętnym, odniesionym do przedmiotu obrabianego zamocowanego na obrabiarence. Dodatnie zwroty osi ruchów zespołów obrabiarki odpowiadają rosnącym wskazaniom układów pomiarowych; otrzymują one w oznaczeniach osi znak „'” (np. X'), gdy ruch wykonuje przedmiot; zwrot odpowiedniej osi odniesionej do przedmiotu (np. X) jest wtedy przeciwny.

Ruchy obrotowe mają zwykle zwroty dodatnie, ustalone wg reguły śruby prawoskrętnej: ruch A (wokół osi X), B (wokół osi Y), C (wokół osi Z). Drugi zespół ruchów prostoliniowych ma oznaczenia: U (równoległe do X), V (równoległe do Y), W (równoległe do Z); trzeci P, Q, R; a ruchów obrotowych – D, E, F.

Os Z przebiega równoległe do osi wrzeciona głównego, jej zwrot dodatni odpowiada zwiększaniu odległości między narzędziem a przedmiotem obrabianym.

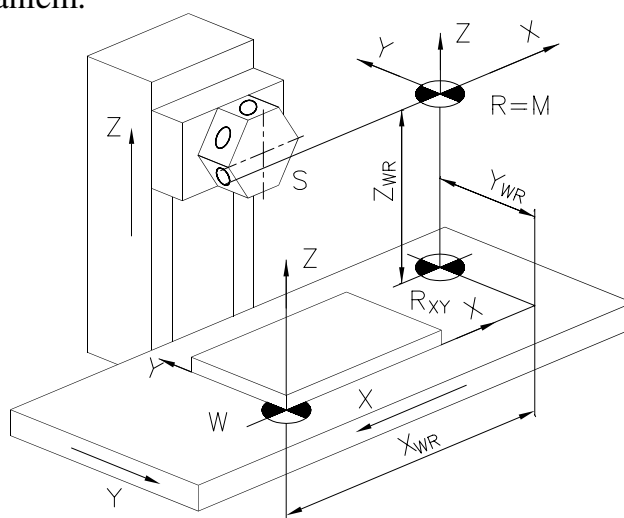
Os X przebiega poziomo lub – w tokarkach – równoległe do płaszczyzny prowadnic: w obrabiarkach z przedmiotem wykonującym ruch obrotowy jej dodatni zwrot odpowiada wycofywaniu narzędzia od osi przedmiotu; w obrabiarkach z narzędziami wykonującymi ruch obrotowy i poziomej osi Z os X ma zwrot dodatni w prawą stronę, gdy patrzy się od strony wrzeciona narzędziowego; w obrabiarkach z narzędziami wykonującymi ruch obrotowy i pionowej osi Z os X ma zwrot dodatni w prawą stronę, gdy patrzy się dla obrabiarek jednostojakowych (np. frezarka wzdłużna jednostojakowa) od wrzeciona narzędziowego na stojak i dla obrabiarek dwustojakowych – od głównego wrzeciona narzędziowego na lewy stojak (we frezarce wzdłużnej dwustojakowej kierunek osi X odpowiada kierunkowi posuwu stołu).

Rys. 49 pokazuje układ osi tokarki lub centrum tokarskiego, Rys. 50 frezarki lub centrum frezarsko-wytaczarskiego poziomego ze stołem krzyżowym, Rys. 51 – frezarki lub centrum frezarsko-wytaczarskiego pionowego, Rys. 52 – centrum frezarsko-wytaczarskich poziomego polskiej produkcji HP-4 (licencja firmy Mitsui-Seiki).

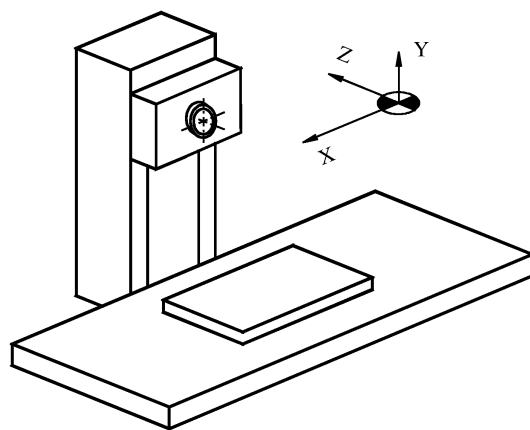


Rys. 49. Układ osi oraz punktów charakterystycznych tokarki sterowanej numerycznie

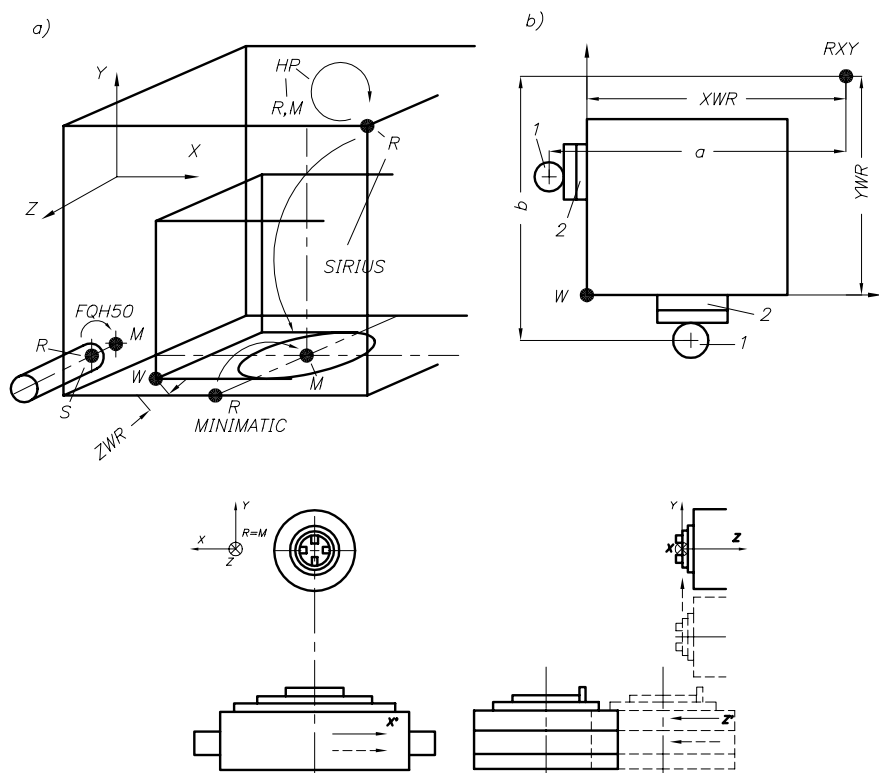
Początek układu XYZ może być wybrany w dowolnym punkcie; wygodnie jest jego pierwotne położenie wiążąc z punktem odniesienia R obrabiarki, odpowiadającym położeniu odniesienia zespołów obrabiarki (ang. home position), tzn. po zjeździe na bazę stałą (niem. Referenzpunktanfahren) – celem synchronizacji położenia zespołów obrabiarki ze sterowaniem.



Rys. 50. Układ osi oraz punktów charakterystycznych centrum frezarsko-wytaczarskiego pionowego



Rys. 51. Układ osi centrum frezarsko-wytaczarskiego poziomego



Rys. 52. Poziome centra frezarsko-wytaczarskie: a – usytuowanie punktów charakterystycznych przestrzeni roboczej, b – określenie punktu W przez pomiar położenia obrabiarki, c – centrum HP-4 (licencja firmy Mitsui-Seiki)

Punkt odniesienia obrabiarki jest określony w stosunku do przedmiotowego zespołu roboczego obrabiarki (stołu lub wrzeciona), jako punkt związany z tym zespołem (mogący przy tym leżeć poza nim) i pokrywający się, w położeniu od niesienia wszystkich zespołów obrabiarki, z punktem:

- odniesienia F zespołu narzędziowego tokarki (głowicy wielonarzędziowej, imaka) – Rys. 49;
- odniesienia S końcówki wrzeciona narzędziowego – Rys. 50.

Położenie punktów F i S lub bezpośrednio punktu R określają instrukcje programowania obrabiarek. Z położenia w punkcie R początek układu odniesienia jest przesuwany automatycznie lub drogą programowania do punktu M. Punkt M może się

pokrywać z punktem R – Rys. 50, albo też może się nie pokrywać: w tokarkach jest zwykle umieszczony w końcówce wrzeciona (Rys. 49), przesunięcie początku układu XYZ z punktu R do M następuje blokiem programu G50 $X_{MR} Z_{MR}$, gdzie wielkości x_{MR} i z_{MR} są charakterystyczne dla danego egzemplarza obrabiarki (CNC SINUMERIK 810T dokonuje takiego przesunięcia automatycznie).

W centrach poziomych SIRIUS HM3 i HM4 z CNC MCT lub MCP firmy Oerlikon-Buehler AG (Szwajcaria), punkt R zajmuje położenie jak na Rys. 52a, natomiast punkt M znajduje się w płaszczyźnie stołu i na jego osi obrotu (przesunięcie początku układu XYZ z R do M następuje automatycznie). Podobnie jest położony punkt M w centrum poziomym MINMATIC 500 z CNC FANUC 5M – Rys. 52a. Centrum poziome FQH 50 prod. CSSR z CNC SINUMERIK 550C ma punkty R i M usytuowane też tak jak pokazuje Rys. 52a. Punkt M jest nazywany punktem zerowym (zerem) obrabiarki. W przypadku programowania w języku COMPACT II oznacza się punkt M przez A i punkt W (patrz dalej) przez B.

Początek układu XYZ jest również przesuwany do punktów stanowiących początki układów odniesienia: uchwytu, przedmiotu obrabianego (często kilka kolejno wykorzystywanych punktów), programu; punkty te mogą się pokrywać lub też nie, mogą również wystąpić przypadki, gdy na stole obrabiarki znajduje się więcej niż jeden uchwyt i (lub) w uchwycie jest więcej niż jeden przedmiot (tego samego typowymiaru lub inny – ze swoimi układami odniesienia). Powyższe możliwości obejmuje ogólnie wprowadzenie punktu W – Rys. 49, Rys. 50, Rys. 52 – którego położenie względem M lub R musi być ustalone drogą pomiaru z wykorzystaniem układów pomiaru położenia obrabiarki – np. w sposób pokazany na Rys. 52b.

Przyjęcie opisanych zasad sprowadza względne ruchy narzędzia i przedmiotu do sytuacji, w której w czasie programowania można uważać przedmiot obrabiany za nieruchomy, spoczywający w układzie XYZ zaczepionym w punkcie W (punkt W może być różny w różnych fragmentach programu – jest przesuwany przy użyciu odpowiednich bloków programu), natomiast wszystkie ruchy sterowane numerycznie wykonuje narzędzie.

4.2. Programowanie układów CNC

4.2.1. Wiadomości ogólne

Rozbudowa możliwości programowania układów CNC przebiega w następujących kierunkach:

- automatyczny pomiar i zapamiętywanie wymiarów narzędzi;
- stosowanie szerokiego wyboru cykli ustalonych (ang. fixed canned cycles) i tzw. gotowych form;
- programowanie obszaru bezpiecznego (ang. safety (crash) zone programming, stored stroke limit);
- programowanie bez obliczania ekwidystanty (ang. programming the part – programowanie konturu części); automatyczne obliczanie poprawek na promień zaokrąglenia wierzchołka albo promień narzędzia; automatyczna kompensacja promienia narzędzia;
- stosowanie podprogramów (ang. subroutines, subprograms);

- programowanie parametryczne (ang. parametric programming, variable canned cycles, user macros);
- programowanie dialogowe, zwłaszcza w dialogu z wykorzystaniem grafiki komputerowej;
- rozbudowa funkcji pomocniczych w miniprocessorowych CNC, związana ze sterowaniem nadzorującym i sterowaniem pracą urządzeń peryferyjnych obrabiarki (roboty i ich urządzenia peryferyjne);
- wyposażanie języków układów sterowania obrabiarką w funkcje arytmetyczne i logiczne odpowiadające poziomowi translatorów komputerowych (np. język CL-800 dla układu SINUMERIK 810T/ME).

4.2.2. Automatyczny pomiar i zapamiętywanie wymiarów narzędzi

Jeżeli w przestrzeni roboczej obrabiarki znajduje się punkt D (co pokazuje na przykładzie tokarki Rys. 49) o znanych współrzędnych, np. x_{DM} i z_{DM} w przypadku tokarki, zmaterializowany jako punkt przecięcia się osi w polu widzenia mikroskopu osadzonego na łożu obrabiarki (pomiar półautomatyczny) lub przy pomocy czujników dotknięcia (pomiar automatyczny), to naprowadzenie punktu charakterystycznego P narzędzia na punkt D pozwala na automatyczny odczyt i zapamiętanie współrzędnych x_{MN} i z_{MN} , na podstawie których CNC oblicza x_{PN} i z_{PN} .

Przyrosty współrzędnych docelowego w aktualnie wykonywanym bloku programu punktu G, mającego w układzie przedmiotu obrabianego współrzędne x i z , wyrażają się zależnościami:

$$\begin{aligned} z_{GP} &= z_{MR} - z_{NF} - z_{PN} - z - z_{MW} \\ x_{GP} &= x_{MR} - x_{NF} - x_{PN} - x \end{aligned} \quad (16)$$

dla których, po pomiarze x_{PN} i z_{PN} , wszystkie wielkości po stronach prawych są znane. Obrabiarka wyposażona w czujniki dotknięcia dla narzędzi nie wymaga dokładnego nastawienia narzędzi na wymiar poza obrabiarką, gdyż rzeczywiste wymiary x_{PN} i z_{PN} są określone automatycznie i uwzględnione przez CNC.

4.2.3. Programowanie obszaru bezpiecznego

Programowanie obszaru bezpiecznego prowadzi do wytworzenia „bariery elektronicznej”, uniemożliwiającej narzędziu przeniknięcie przez nią (następuje zatrzymanie obrabiarki i sygnał alarmu). Obszar bezpieczny jest programowany dla tokarek jako obszar płaski o kształcie prostokąta, a dla frezarek lub centrów frezarsko-wytaczarskich jako prostopadłościan, zadawany odpowiednią funkcją przygotowawczą i wymiarami. W systemach CNC General Numeric odpowiednie bloki programu mają postać:

G22 X... Z... I... K... – dla tokarek

gdzie X i Z są współrzędnymi wierzchołka prostokąta najbliższego punktu M, a I i K – wierzchołka przeciwległego po przekątnej;

G22 X... Y... Z... I... J... K... – dla frezarek

gdzie X, Y, Z są współrzędnymi wierzchołka prostopadłościanu najbliższego punktu M, a I, J, K – wierzchołka przeciwległego po przekątnej.

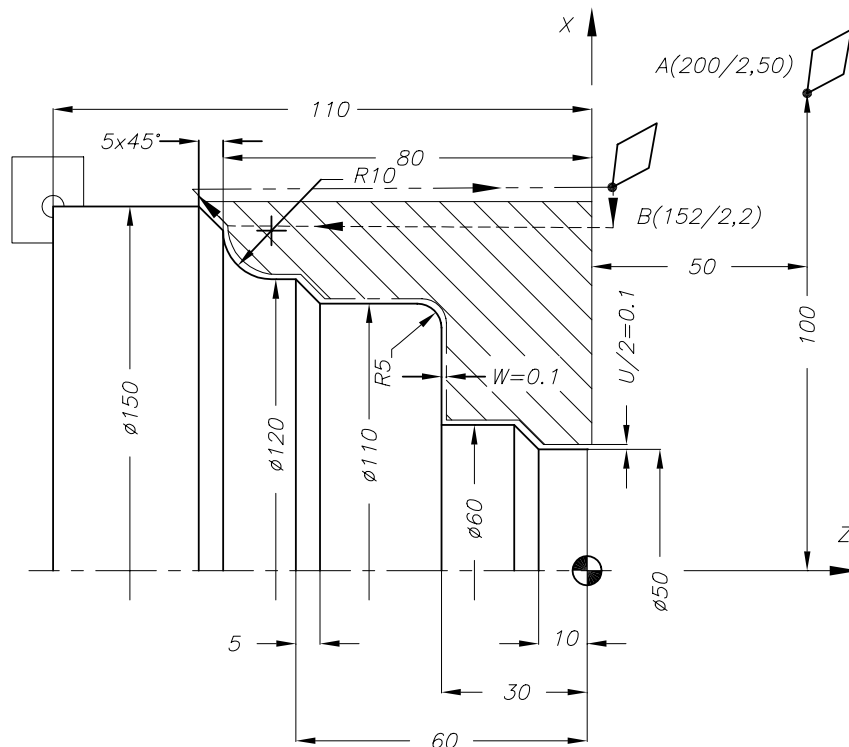
4.2.4. Cykle ustalone i gotowe formy

Cykle ustalone stanowią zbiór podprogramów umieszczonych na stałe w pamięci CNC, wywołanych i kasowanych przy pomocy odpowiednich funkcji przygotowawczych G.

Cykle proste (ang. canned cycles) tokarek i centrów tokarskich pozwalają na zaprogramowanie czterech kolejnych ruchów po linii prostej (pierwszy i czwarty szybkie, drugi i trzeci z zaprogramowanym posuwem) w jednym bloku. Obejmują one: toczenie wzdłużne i toczenie stożków o małej zbieżności, toczenie czół i stożków o dużej zbieżności, na powierzchniach zewnętrznych i wewnętrznych.

Cykle wielokrotne (ang. multiple repetitive cycles) tokarek i centrów tokarskich pozwalają na zwarte programowanie obróbki związanej ze zdejmowaniem większych nadadków z zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni oraz czół, głębokiego wiercenia i toczenia układów rowków w powierzchniach czołowych, toczenia wykańczającego konturów, toczenia układów rowków rozmieszczonych wzdłuż osi Z, nacinania w kilku przejściach gwintów pojedynczych i wielokrotnych na powierzchniach walcowych i stożkowych, zewnętrznych i wewnętrznych.

Fragment programu obróbki konturu zewnętrznego z wykorzystaniem cyklu wielokrotnego usuwania większych nadadków i cyklu toczenia wykańczającego konturu – Rys. 53 – przedstawia się następująco (CNC General Numeric):



Rys. 53. Obróbka z wykorzystaniem cyklu ustalonego

N010 G50 X0 Z0

– umieszczenie początku układu XYZ w punkcie odniesienia R obrabiarki;

N020 G95 T0300

– posuw w mm/obr, narzędzie nr 3 w położeniu roboczym;

N030 G00 G91 X-150 Z-400

– ruch szybki do punktu A;

N040 G50 X200 Z50 S1200

- przesunięcie początku układu odniesienia do punktu W, maksymalne obroty wrzeciona 1200 obr/min;
- N050 S800 M03
 - start wrzeciona w kierunku obrotów wskazówek zegara (M03), obroty 800 obr/min;
- N060 X152 Z2
 - ruch szybki do punktu B;
- N070 G96 S100 M08
 - stała prędkość skrawania na różnych średnicach (G96) na poziomie 100 m/min (S100), włączenie chłodziwa (M08);
- N080 G71 P90 Q100 U0.2 W0.1 D8
 - rozpoczęcie cyklu wielokrotnego G71, część programu zawierająca opis konturu części zaczyna się w bloku o numerze podanym pod adresem P i kończy w bloku pod adresem Q, adresy U i W zawierają naddatki na głębokość skrawania, adres F posuw;
- N090 X50
 - w rzeczywistości narzędzie rozpocznie obróbkę nie na średnicy $\phi 50$, ale w sposób pokazany na Rys. 53 (pierwsze przejście);
- N091 Z-10
- N092 X60 Z-15
- N093 Z-30
- N094 X100
- N095 G03 X110 Z-35 R5
- N096 G01 Z-55
- N097 X120 Z-60
- N098 Z-70
- N099 G02 X140 Z-80 R10
- N100 G01 X150 Z-85
- N110 G00 X200 Z50
 - skasowanie cyklu i powrót wierzchołka narzędzia do punktu A;
- N120 G97 S1100 M03
 - obroty wrzeciona 1100 obr/min;
- N130 G00 X152 Z2 M08
 - ruch szybki do punktu B, włączenie chłodziwa;
- N140 G36 S180
 - zwiększenie stałej prędkości skrawania do 180 m/min;
- N150 G70 P0090 Q0100
 - inicjalizacja cyklu toczenia wykańczającego konturu, wierzchołek narzędzia przemieszcza się po konturze opisanym w blokach N090÷N100;
- N160 G00 X200 Z50
 - skasowanie cyklu i powrót wierzchołka narzędzia do punktu A;
- N170 G50 X-150 Z-400
 - przesunięcie początku układu odniesienia do punktu R obrabiarki;
- N180 G28
 - powrót głowicy wielonarzędziowej w położenie odniesienia;
- N190 M30
 - koniec programu.

Typowe cykle ustalone frezarek i centrów frezarsko-wytaczarskich pionowych i poziomych obejmują: wiercenie (G81), pogłębianie (G82), gwintowanie (G84),

wiercenie głębokich otworów (G83) – z kilkakrotnym wycofywaniem wiertła z otworu, wytaczanie wykańczające (G86). Format bloku cyklu ustalonego w postaci ogólnej przedstawia się następująco:

N...G...G...X...Y...Z...R...P...F...M...

Pierwsza funkcja określa rodzaj cyklu (np. G83), drugą jest G98 (powrót do poziomu początkowego) lub G99 (powrót do poziomu R), X i Y są współrzędnymi punktu położenia otworu, Z określa docelowy poziom osiągniany przez narzędzie posuwem roboczym, R – poziom osiągniany przez narzędzie ruchem szybkim, P – postój narzędzia po pogłębianiu lub wytaczaniu, F – posuw, M – funkcja pomocnicza.

Narzędzie rozpoczyna ruch z położenia początkowego, zajmowanego przed rozpoczęciem cyklu, posuwem szybkim przechodzi w położenie (X, Y), następnie przemieszcza się w kierunku osi Z posuwem szybkim do poziomu R (zwykle na $0,5 \div 2,5$ mm od powierzchni przedmiotu), wykonuje sterowany ruch zależny od rodzaju cyklu ustalonego (np. głębokie wiercenie) osiągając poziom Z, wykonuje szybki lub z zaprogramowanym posuwem ruch powrotny do poziomu R (G99) lub do poziomu początkowego (G98) i powraca ruchem szybkim w położenie początkowe.

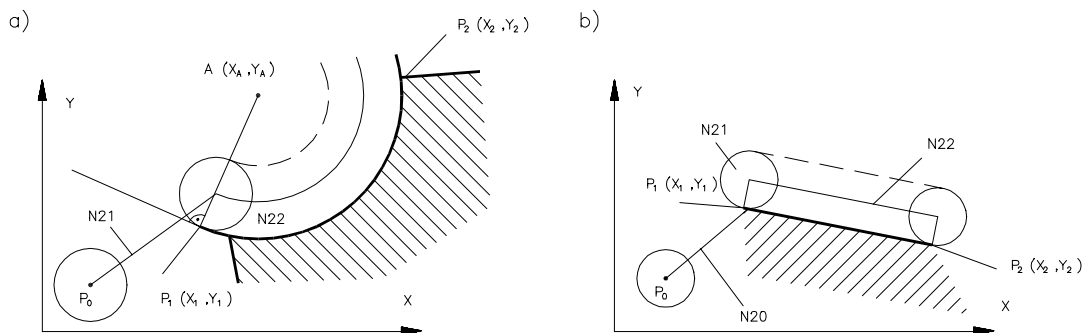
Obróbkę kilku identycznych otworów (cykl wielokrotny) programuje się albo przez podanie w kolejnych blokach współrzędnych (X,Y) tych punktów, albo też w kolejnym bloku mogą być podane przyrosty współrzędnych X i Y regularnie rozmieszczonych otworów i pod adresem L ich liczba; potem następuje skasowanie cyklu funkcją G80.

Cykle ustalone mogą być w bardzo efektywny sposób wykorzystane w połączeniu z techniką podprogramów i programowaniem parametrycznym. Tzw. gotowe formy, np. CNC T87 firmy Traub, są standardowymi elementami konturów części. W przeciwieństwie do cykli ustalonych charakteryzują się stałymi wymiarami i są wykonywane przy użyciu podprogramów wywoływanych funkcjami przygotowawczymi.

4.2.5. Programowanie bez obliczania ekwidystanty

Z Rys. 2 wynika, że eliminacje odchyłek przedmiotu obrabianego spowodowanych promieniem zaokrąglenia wierzchołka (nóż tokarski) lub promieniem narzędzia (frez) możnaby uzyskać programując ruch środka okręgu po ekwidystancie (krzywej równooddalonej) obrabianego konturu.

Programowanie bez obliczania ekwidystanty pozwala na projektowanie programu w taki sposób, jak gdyby promień zaokrąglenia wierzchołka noża tokarskiego lub promień frez był równy zeru, natomiast parametry te wprowadza się w postaci poprawek do pamięci CNC. Programowanie takie może się wiązać z wprowadzeniem dodatkowych bloków programu. Np. dla CNC-600 programowanie obróbki zarysu pokazanego na Rys. 54a odbywa się bez dodatkowego bloku:



Rys. 54. Przykłady programowania obróbki zarysu obrabianego

N21 G41 D1 Xx₁ Yy₁

– funkcja G41 oznacza, że ekwidystanta jest na lewo od konturu (z uwzględnieniem zwrotu prędkości posuwu), D1 – adres rejestru z zapamiętanym promieniem narzędzia;

N22 G3 Xx₂ Ix_A Yy₂ Jy_A

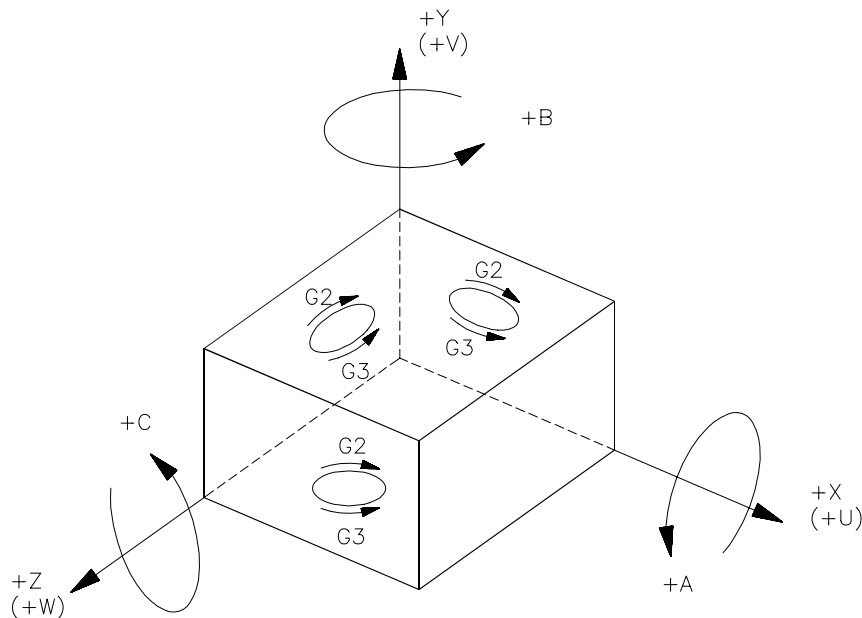
– funkcja G3 oznacza interpolację kołową w płaszczyźnie XY w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, odpowiedni zbiór funkcji przygotowawczych ilustruje Rys. 55, pod adresem I oraz J umieszcza się współrzędne środka okręgu.

Natomiast w programowaniu obróbki zarysu z Rys. 54b wprowadzenie ruchu środka narzędzia po ekwidystancie odbywa się przy pomocy dodatkowego bloku:

N20 G1 Xx₁ Yy₁

N21 G41 D1 Xx₁ Yy₁

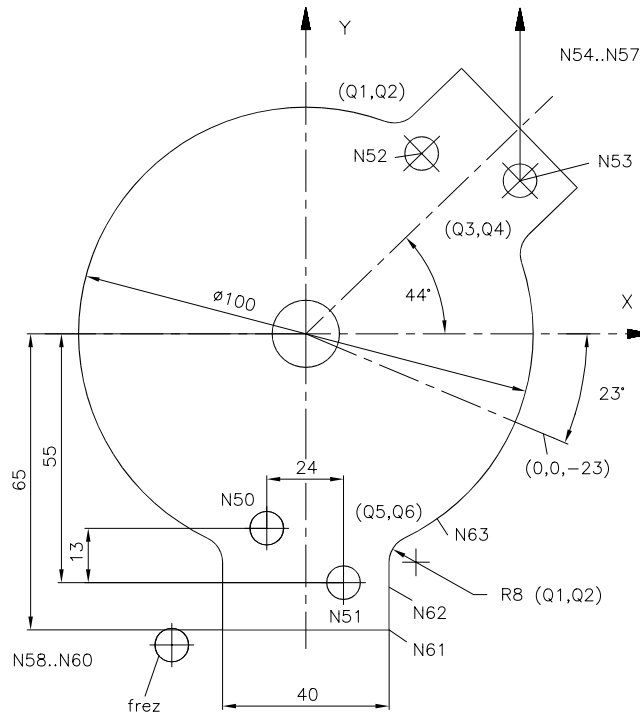
N22 Xx₂ Yy₂



Rys. 55. Funkcje przygotowawcze dla interpolacji kołowej

4.2.6. Stosowanie ułatwionych sposobów programowania konturów i zbiorów punktów

Systemy CNC pozwalają na definiowanie punktów, prostych i okręgów, wykorzystywanych w programowaniu, na podstawie wymiarów podanych na rysunku. CNC wykonuje niezbędne obliczenia współrzędnych potrzebnych do określenia parametrów ruchu narzędzia. Np. w programach dla CNC-600 (Niemcy) można w dowolnym miejscu umieścić tzw. bloki obliczeniowe, które określają parametry elementów geometrycznych, umieszczane następnie pod adresami Q i wykorzystywane w przebiegu programu. Przykładem może być fragment programu obróbki konturu z Rys. 56.



Rys. 56. Przykład obrabianego konturu

PUP,0,0,-23/-12,-42/Q1,Q2

– definicja punktu o współrzędnych (Q1, Q2) jako zwierciadlanego odbicia punktu (-12,-42) względem prostej przechodzącej przez punkt (0,0) i tworzącej kąt -23° z osią X;

PUP,0,0,-23/12,-55/SPG/Q3,Q4

– w podobny sposób zdefiniowany punkt (Q3, Q4);

N50 G0 G60 X-12 Y-42 P10,5 P11,-13.5 P12,40/L81

– wywołanie podprogramu wiercenia L81 z przypisaniem parametrom wartości P10=5, P11=-13.5, P12=40;

N51 G0 X12 Y-55 L81

N52 G0 X=Q1 Y=Q2 L81

N53 G0 X=Q3 Y=Q4 L81

N54 G0 Y150 T86 M5

– zatrzymanie wrzeciona;

N55 G32 Z M19

– zjazd na pozycję zmiany narzędzia;

N56 M6

- zmiana narzędzia;

N57 M3 S680 F520
PGK,28,0,90/0,0,58/VKL/Q1,Q2

- definicja punktu (Q1, Q2), jako tego z punktów przecięcia się prostej przechodzącej przez punkt (28,0) i tworzącej kąt 90° z osią X z okręgiem o środku (0,0) i promieniu 58 mm, któremu odpowiada mniejsza wartość współrzędnej pionowej (Y);

PGK,20,0,90/Q1,Q2,8/VKL/Q3,Q4

- w podobny sposób zdefiniowany punkt (Q3, Q4);

PKK,0,0,50/Q1,Q2,8/VKL/Q5,Q6

- punkt (Q5, Q6) zdefiniowany jako punkt przecięcia się dwóch okręgów (o mniejszym Y);

N58 G45 X20 Y-65

- programowanie obróbki bez obliczania ekwidystanty;

N59 G45 X20 Y-65

- przygotowanie ruchu narzędzia po łuku w narożu zewnętrznym;

N60 G0 D-20 Z-12
N61 G1 X20 Y-65

- frezowanie odcinka prostoliniowego;

N62 X=Q3 Y=Q4

- frezowanie odcinka prostoliniowego;

N63 G2 X=Q5 Y=Q6 J=Q2 R8

- frezowanie łuku;

L81 N1 G0 Z=P10

- podprogram wiercenia otworów;

N2 G1 Z=P11 F=P12
N3 G0 Z=P10
N4 M22

- koniec podprogramu.

4.2.7. Stosowanie podprogramów i programowanie parametryczne

Podprogramy pozwalają w pewnych przypadkach znacznie skrócić program sterujący jeżeli można je wielokrotnie wywoływać z poziomu programu głównego. W podprogramach występują ponumerowane parametry (np. w systemie SINUMERIK 810 jest możliwe użycie 100 parametrów R00÷R99), ich wartości liczbowe są określone w tekście programu głównego; możliwe są również operacje matematyczne na parametrach – programowanie parametryczne. Podprogramy są w rzeczywistości niezależnymi programami, mają swój numer i strukturę programu; są zapamiętywane i wymazywane z pamięci CNC podobnie jak programy główne. Typowe przypadki stosowania podprogramów:

- Obróbka złożonych zbiorów otworów, przy złożonym cyklu obróbki każdego z nich (np. nawiercanie, wiercenie, pogłębianie, rozwiercanie, wykonanie rowka w otworze). Umieszczenie opisu rozmieszczenia otworów w płaszczyźnie XY w podprogramie pozwala ograniczyć program główny do bloków zmiany narzędzia, startu i stopu wrzeciona, włączenia i wyłączenia pompki chłodziwa oraz odpowiednich danych dla ruchów w osi Z dla cykli stałych obróbki otworów.
- Obróbka frezowaniem złożonych konturów, wymagających zabiegów zgrubnych i wykańczających; opis konturu może być umieszczony w podprogramie.

- Obróbka powtarzających się rowków o złożonych zarysach w wałach, jeżeli nie ma do dyspozycji cykli stałych. Obróbka rowka jest w podprogramie, a program główny przemieszcza odpowiednie narzędzie do punktu startowego obróbki kolejnego rowka.

Programowanie parametryczne pozwala na stosowanie skoków warunkowych i bezwarunkowych oraz na operacje matematyczne na parametrach. Przykładowo w systemie programowania SINUMERIK 810 skoki warunkowe programuje się następująco:

@122 a b Kc jeżeli nie zachodzi $a \neq b$ wtedy skok do bloku c;
 @123 a b Kc jeżeli nie zachodzi $a > b$ wtedy skok do bloku c.

Przykład operacji na parametrach jest podany w programie parametrycznym zamieszczonym w rozdz. 4.4.

4.2.8. Dialog

Dialog w układach mikroprocesorowych CNC jest środkiem ułatwiającym bezpośrednio programowania na stanowisku pracy. W CNC Fanuc System 3T-Model F oprogramowanie systemu kolejno: wyświetla menu typowych kształtów półfabrykatów i zapytań o ich wymiary, przyjmuje dane o konturze przedmiotu wprowadzane z klawiatury i kontrolowane przez operatora na ekranie, zapytuje o dane dotyczące dokładności części i o dane potrzebne do wyboru warunków skrawania, dobiera i oblicza wszystkie warunki skrawania, pokazuje na ekranie układ odniesienia i tory ruchów narzędzi. Operator wprowadza do pamięci CNC poprawki na wymiary narzędzi.

CNC Fanuc System 6M – Model B umożliwia dialogowe programowanie obróbki korpusów na stanowisku pracy. Plansze menu obejmują zbiory otworów o różnej konfiguracji (na lii prostej, na okręgu, siatka prostokątna) oraz typowe zabiegi frezowania.

CNC Acromatic 700G (dla szlifierek) i 900MC (dla centrów frezarsko-wytaczarskich) posiadają obok niewielkiej klawiatury alfanumerycznej 9 przycisków programowanych (ang. Soft-keys, multiple function keys), wykorzystywanych przy wyborze pozycji z menu; aktualne funkcje z przycisków są określone kodem cyfrowym i – w razie potrzeby – pokazywanym na ekranie komentarzem.

4.2.9. Rozbudowa funkcji przygotowawczych

Układy CNC budowane na bazie mikroprocesorów są przeznaczone przede wszystkim dla autonomicznych stacji obróbkowych (ASO). Umożliwiają one: automatyczne wnoszenie poprawek na wymiary narzędzi i na położenie punktów odniesienia na podstawie pomiarów narzędzi i przedmiotu obrabianego (sonda pomiarowa), automatyczną kompensację odkształceń cieplnych obrabiarki, automatyczne korygowanie błędów skoków śrub pociągowych (np. w 1000 punktach w danej osi), kontrolę stanu narzędzi i identyfikację uszkodzeń narzędzi, automatyczny wybór strategii wychodzenia z sytuacji awaryjnych (sterowanie „inteligentne” lub „intelektualne”), kontrole okresów trwałości narzędzi i automatyczną wymianę

stępionych narzędzi, automatyczne centrowanie – ustawienie narzędzia w osi obrabianego otworu, współprace z urządzeniami peryferyjnymi obrabiarki.

Przykładem układu CNC z mikroprocesorami jest CNC 2000 norweskiej firmy Kongsberg, posiadający rozbudowany system trzycyfrowych funkcji przygotowawczych G, realizujących pętle programu, wywołanie i powtarzanie podprogramów, skoki bezwarunkowe do określonego bloku programu i warunkowe: wywoływanie cyklu pomiarów średnicy i długości narzędzia celem zbadania, czy wymiary te mieszczą się w polu tolerancji; kontrola mocy napędu i momentu na wrzecionie, kontrola okresu trwałości narzędzia.

4.3. Programowanie wspomagane komputerem zewnętrznym

4.3.1. Wiadomości wstępne

Wykorzystanie komputera zewnętrznego znacznie ułatwia, a często wręcz umożliwia, programowanie obróbki części o złożonych kształtach, eliminuje ręczne obliczanie toru narzędzia (ważne szczególnie dla obrabiarek NC), zmniejsza liczbę błędów w programie (rozbudowana diagnostyka, możliwość symulacji obróbki z wykorzystaniem plotera lub monitora graficznego) pozwala na wykonywanie obliczeń planistycznych, norm czasu i kosztów.

W 1955 r. rozpoczęto w Massachusetts Institute of Technology prace nad problemowo zorientowanym językiem do celów technologicznych – zwłaszcza programowania obróbki części samolotowych. W ten sposób powstał system APT (Automatically Programmed Tools), rozbudowany następnie w różnych wersjach, z których najbardziej znane to APT III i APT IV. APT nadaje się do programowania obróbki na frezarkach ze sterowaniem 2CL, 3C, 5C. Rozszerzeniami systemu APT IV jest APT V 3A, dostępny na komputerach firmy DEC, przeznaczony do programowania obróbki powierzchni krzywoliniowych (ang. Sculptured Surfaces – SS) oraz APT 140 wykorzystujący grafikę komputerowa i dialog.

Do uproszczonych wersji APT należą: MINIAPT i TELEAPT, przeznaczone do programowania obróbki 2CL. Ze względu na fundamentalną rolę systemu APT w rozwoju programowania wspomagane komputerem został on w dalszym ciągu krótko omówiony, obok niego omawiany jest nowszy system EXAPT, a także bardzo rozpowszechniony w świecie system COMPACT II.

4.3.2. Język APT

Alfabet języka systemu APT obejmuje duże litery i cyfry dziesiętne oraz znaki specjalne (np.: +, -, /, =, ., (,), ', "). Z liter i cyfr można tworzyć słowa zawierające do 6 znaków. Słownik języka zawiera ok. 400 zastrzeżonych słów, wywodzących się z języka angielskiego. Słowa dzieli się na główne i pomocnicze (modyfikatory), oddzielone pochyłą kreską. Programista może tworzyć nazwy i symbole nie pokrywające się z tymi słowami. Program źródłowy w języku systemu APT składa się z następujących części: określenie części obrabianej i obrabiarki, definicje geometryczne, definicje narzędzi, warunków skrawania i odchyłek wymiarów, instrukcje ruchów narzędzia, instrukcje przebiegu programu (pętle), instrukcje arytmetyczne.

Wybrane słowa języka systemu APT [9]:

ADJUST	nastawienie długości narzędzia;
AIR	włączenie lub wyłączenie dopływu sprężonego powietrza;
ALL	wszystkie składniki;
ANGLF	(angle function), położenie katowe promienia względem osi X;
APTLFT	program standardowy tworzący CLTAPE na podstawie FMILL programu interpolacji powierzchni;
ARC	łuk, słowo stosowane przy zbiorach punktów;
ARCSLP	(arc slope), pochylenie łuku;
AT	(w), stosowane przy zbiorach punktów;
ATANF	(arctangent function), funkcja arcus tangens;
ATANGL	(at angle), pod kątem – w stosunku do osi X, chyba że zostanie określone inaczej;
AUTO	(automatic), automatycznie;
AUTOPS	(automatic part surface), ustala powierzchnie przedmiotu jako płaszczyznę o aktualnej wartości Z równoległą do XY;
AUXFUN	(auxiliary function), funkcje pomocnicze – oznaczane kodem M;
AVOID	(pominąć), stosowane w zbiorze punktów;
BAXIS	(B-axis), oś B;
BORE	wytaczanie – powoduje cykle wytaczania w instrukcji CYCLE (dosunięcie narzędzia do r, posuw roboczy do z, wycofanie);
BOTH	jedno i drugie;
CALL	wywołuje poprzednio zdefiniowany podprogram (MACRO) i przypisuje wartość zmiennym zawartym w tym podprogramie;
CANON	(canonical form), postać kanoniczna – instrukcja definiuje element geometryczny w postaci standardowej dla ułatwienia przetwarzania danych np. postacią kanoniczną punktu są trzy współrzędne X, Y i Z; jeżeli podaje się tylko X i Y, to procesor przyjmuje Z=0 lub Z=ZSURF;
CAXIS	(C-axis), oś C;
CCLW	(counter-clockwise), przeciwnie do ruchu wskazówek zegara;
CENTER	środek okręgu, kuli;
CHECK	sprawdzenie – powoduje wydruk aktualnie wyliczonego położenia;
CHUCK	uchwyt, określa cechy uchwytu;
CIRCLE	okrąg;
CIRCUL	(circular), interpolacja kołowa w instrukcji MACHIN;
CLAMP	zaciskanie – wywołuje funkcje pomocnicze w postprocesorze w przypadku gdy jest potrzebna oddzielna funkcja zaciskania;
CLPRNT	(cutter location print), wydruk położenia narzędzia, powoduje wydruk wszystkich informacji podanych na CLTAPE;
CLRSRF	(clearance surface), powierzchnia bezpieczna – stosowana przy wycofywaniu narzędzia;
CLW	(clockwise), zgodnie z ruchem wskazówek zegara;

CODEL	(code delete), zatarcie danych – usunięcie danych z taśmy dziurkowanej;
COLLET	tulejka zaciskowa, określa cechy tulejki zaciskowej;
CONE	stożek obrotowy;
CONST	(constant), dotyczy skoku przy nacinaniu gwintu;
COOLNT	(coolant), włączenie lub wyłączenie pompki chłodziwa, rodzaj chłodziwa;
COPY	powtórzenie, CLTAPE jest powtarzana i modyfikowana przez podaną macierz określającą obrót lub przesunięcie układu współrzędnych; dane dotyczące położenia narzędzia i funkcje pomocnicze są powtarzane w różnych miejscach programu bez potrzeby przepisywania instrukcji;
COSF	(cosine function), funkcja cosinus;
COUPLE	powiązanie, synchronizuje posuw i obroty wrzeciona przy nacinaniu gwintów;
CROSS	(vector cross product), iloczyn wektorowy;
CTRLIN	(center line), linia środkowa;
CUT	skrawanie, instrukcje ruchu między instrukcjami DNTCUT i CUT nie są przesyłane do postprocesora;
DOTF	(dot function), iloczyn skalarny;
DOWN	w dół, niższe położenie wrzeciona;
DRAFT	rysunek – określa rodzaj linii, która powinna być kreślona przez ploter;
DRILL	wiercenie – powoduje szereg ruchów określonych w instrukcji CYCLE: dosunięcie wiertła do r , posuw roboczy do z , wycofanie do położenia r z prędkością posuwu, a potem przesuwem szybkim;
DSTAN	powierzchnia prowadząca styczna do powierzchni ograniczającej;
ELLIPS	elipsa określana przez punkt środkowy, długości półosi wielkiej i półosi malej oraz kąt osi wielkiej z osią X;
END	koniec, wyłączenie obrabiarki i układu sterowania;
ENDARC	(end arc), koniec łuku, w ARCSLP wskazuje kąt w końcowym punkcie obrabianego łuku;
ERROR	błąd, komentarz gdy postprocesor rozpozna poważny błąd powodujący, że wynik przetwarzania jest niemożliwy do zastosowania;
EXPF	(exponentiation function), funkcja wykładnicza przy podstawie e ;
FACE	obróbka czoła, powoduje szereg ruchów jak w przypadku DRILL, lecz z czasowym wyłączeniem posuwu narzędzia w krańcowym położeniu w celu wygładzenia powierzchni czołowej otworu;
FEDRAT	(feedrate), wartość posuwu;
FINI	(finish), koniec całego programu obróbki;
FLOOD	(flood coolant), ciecz chłodząca;

FMILL	program standardowy obliczający powierzchnię interpolowaną na podstawie siatki punktów – CLTAPE jest następnie tworzona za pomocą APTLFT;
FROM	od miejsca początku ruchu np. z aktualnego położenia narzędzia;
FUNOFY	(function of Y), funkcja Y – stosowana przy liniach płaskich stożkowych;
GCONIC	(general conic), krzywe stopnia drugiego – linie płaskie określone równaniem drugiego stopnia dwóch zmiennych: $Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0$;
GO	idź – w instrukcji wywołującej ruch;
GOBACK	(go back), wróć – określenie zwrotu ruchu, gdy odcinek toru jest pod kątem ostrym do poprzedniego odcinka;
GODLTA	(go delta), przyrostowe przemieszczenie narzędzia;
GODOWN	(go down), idź w dół – określenie zwrotu ruchu narzędzia po torze;
GOFWD	(go forward), idź naprzód – określenie zwrotu ruchu, gdy odcinek toru jest pod kątem rozwartym do poprzedniego odcinka;
GOLFT	(go left), idź w lewo – określenie zwrotu ruchu w stosunku do kierunku poprzedniego ruchu;
GORGT	(go right), idź w prawo – określenie zwrotu ruchu w stosunku do kierunku poprzedniego ruchu;
GOTO	(go to), idź do – określenie punktu;
GOUP	(go up), idź w górę – określenie zwrotu ruchu narzędzia;
GRID	szachownica – w definicji zbiorów punktów PATTERN przecięcie się dwóch zbiorów wzajemnie prostopadłych linii;
HEAD	wrzeciennik – określająca konkretny wrzeciennik obrabiarki np. lewy, prawy, główny;
HIGH	wysoki – w przypadku wyboru np. HEAD/HIGH;
HOLDER	oprawka – określa oprawkę narzędziową;
HYPERB	(hyperbola), hiperbola – określana przez podanie współrzędnych środka, długości połowy osi rzeczywistej, długości połowy osi urojonej i kąta między osią rzeczywistą a osią X;
IF	jeżeli – wprowadza instrukcje skoku warunkowego;
IN	wewnątrz – określa, że jeden okrąg znajduje się w drugim;
INCHES	cale – określa jednostki miary w instrukcji UNITS;
INCR	(increment), przyrost – w definicji zbioru punktów PATTERN określa odległość między punktami;
INCR	(increase), zwiększenie – w instrukcjach PITCH lub SEQNO (increment) przyrost; – ruch przyrostowy, dodatni, przeciwnie do ruchu wskazówek zegara w instrukcji ROTABL;
INDEX	znacznik – służy do oznaczania punktu w CLTAPE; używany łącznie z COPY i PLOT;
INDIRP	(in direction of point), w kierunku punktu – służy do określania przybliżonego kierunku w następnej instrukcji ruchu; mogą być określone punkty 1, 2 i 3 odpowiadające kolejno: powierzchni

	<p>przewodzącej, powierzchni przedmiotu i powierzchni ograniczającej;</p>
INDIRV	<p>(in direction of vector), w kierunku wektora – służy do określania przybliżonego kierunku w następnej instrukcji ruchu; mogą być określane wektory 1, 2 i 3 odpowiadające kolejno: powierzchni prowadzącej, powierzchni przedmiotu i powierzchni ograniczającej</p>
INTCOD	<p>INSERT – wstawka – oznaczenie kodowe inne niż G lub M (patrz AUXFUN i PREFUN);</p>
INTERC	<p>(interpolator speed code), oznaczenie kodowe szybkości interpolacji;</p>
INTERC	<p>(intercept), odcinek – w celu definiowania linii przez odcinki wydzielone na osiach X i Y;</p>
INTOF	<p>(intercept), odcinek – w celu definiowania linii przez odcinki wydzielone na osiach X i Y;</p>
INTOL	<p>przecięcie – stosowane do definiowania punktu lub dla wskazania zadanego przecięcia powierzchni prowadzącej z powierzchnią ograniczającą;</p>
INTOL	<p>(inside tolerance), wewnątrz przedmiotu, tolerancja na minus – działa tylko przy odcinkach zarysu programowanych jako krzywe i wówczas powoduje, że interpolujące ja odcinki prostoliniowe znajdują się wewnątrz zadanego zarysu przedmiotu; samo INTOL powoduje, że odcinki prostoliniowe znajdują się tylko po stronie przedmiotu; INTOL łącznie z OUTTOL powodują, że odcinki prostoliniowe przechodzą z jednej krzywej na drugą;</p>
INVERS	<p>odwrotnie – przy definiowaniu macierzy; zadana macierz jest odwrotna do macierzy danej; w instrukcji GOTO określającej ruch do zbioru punktów powoduje, że położenia narzędzia są w odwrotnej kolejności;</p>
IPM	<p>(inches per minute), cali na minute – w instrukcji FEDRAT lub CYCLE;</p>
IPR	<p>(inches per revolution), cali na obrót – w instrukcji FEDRAT lub CYCLE;</p>
ISTOP	<p>(interpolator stop), zatrzymanie interpolatora;</p>
JUMPTO	<p>(jump to), skocz do – przerywa kolejne wykonywanie programu obróbki przedmiotu i podaje, która instrukcja powinna być następna;</p>
LARGE	<p>duży – przy określaniu okręgu oznacza okrąg o większym promieniu;</p>
LCONIC	<p>(loft conic), płaskie krzywe czwartego rzędu – stosowane przy interpolacji i definiowane przez: 5 punktów, 4 punkty i 1 styczną lub 3 punkty i 2 styczne;</p>
LEADER	<p>część wstępna – wydziarkowanie określonej części wstępnej taśmy;</p>
LEFT	<p>w lewo – wybiera jedną z dwóch możliwości;</p>
LEFT	<p>lewy – wybiera jedną możliwość, np. HEAD/LEFT;</p>
LENGTH	<p>długość – wskazuje długość wektora lub długość narzędzia;</p>
LINCIR	<p>(linear-circular interpolation), interpolacja liniowo-kołowa;</p>
LINE	<p>linia prosta;</p>

LINEAR	liniowo – w instrukcji PATTERN wskazuje, że punkty leżą na linii prostej;
LINEAR	interpolacja liniowa;
LNTHF	(length function), długość wektora;
LOADTL	(load tool), włożyć narzędzie – do oprawki, gdy narzędzie, oprawka i głowica zostały określone jako TOOL;
LOCK	zatrzymanie wrzeciona w określonym położeniu;
LOGF	(logarithmic function), funkcja logarytmiczna przy podstawie e ;
LOOPND	(loop end), koniec pętli programu;
LOOPST	(loop start), początek pętli programu – instrukcji LOOPST i LOOPND nie można stosować wewnątrz MACRO - TERMAC;
LOW	niski – wybór możliwości np. HEAD/LOW;
MACHIN	(machine), obrabiarka – określa postprocesor dla konkretnej obrabiarki i układu sterowania;
MACRO	podprogram – pojedyncza instrukcja odnosząca się do grupy instrukcji w programie obróbki przedmiotu; po przypisaniu nazwy cała ta grupa może być przechowywana w pamięci komputera i wywoływana jako całość;
MAIN	główny – wybór możliwości np. HEAD/MAIN;
MANUAL	ręcznie – zakładanie narzędzi w instrukcji LOADTL;
MATRIX	macierz – zbiór liczb uporządkowanych w postaci prostokąta; w APT określa matematyczny związek między dwoma układami współrzędnych za pomocą 3 zestawów po 4 liczby;
MAXDP	(maximum step size), największa wartość kroku – ogranicza długość odcinków interpolacji;
MAXIPM	(maximum inches per minute), największa wartość prędkości w calach na minutę – ogranicza prędkość posuwu obliczanego przez postprocesor; stosowana również w instrukcji SPINDL;
MAXRPM	(maximum revolution per minute), największa prędkość obrotowa wrzeciona w obrotach na minutę;
MCHFIN	(machining finish), obróbka wykańczająca – informacja dla postprocesora w celu obliczenia wartości przyspieszeń;
MCHTOL	(machine tolerance), zwalnianie przed załamaniami toru narzędzia;
MILL	frezowanie – włącza cykl frezowania ze sterowaniem odcinkowym w instrukcji CYCLE;
MINUS	odejmowanie wektorów;
MIRROR	zwierciadlane odbicie – wskazuje na zwierciadlane odbicie w instrukcjach MATRIX lub COPY;
MIST	płyn obróbkowy w postaci mgły;
MODIFY	modyfikacja – w instrukcjach COPY wskazuje, że współrzędne w CLTAPE należy zmienić zgodnie z podaną macierzą;
MULTAX	(multi-axis), wieloosiowa – wskazuje, że program ma być zastosowany na obrabiarce z więcej niż trzema osiami sterowanymi; dane wyjściowe powinny określać współrzędne końca freza x , y , z oraz trzy współczynniki kierunkowe osi freza;
MULTRD	(multiple thread), gwint wielozwojowy – w instrukcji PITCH;

NEGX...	(negative X, Y, or Z), zwrot ujemny osi X, Y lub Z;
NOMORE	(no more), odwołanie – kończy działanie podanego poprzednio słowa głównego o charakterze modalnym;
NOPOST	(no postprocessor), wyłączenie postprocesora;
NOPS	(no part surface), bez powierzchni przedmiotu – stosowane przed ruchem GO do jednej powierzchni;
NORMAL	prostopadle – do powierzchni w określonym punkcie;
NORMPS	(normal to part surface), prostopadle do powierzchni przedmiotu – dotyczy usytuowania osi narzędzia;
NOX...	(no X, Y or Z), bez współrzędnych X, Y lub Z;
NUMF	(number of locations), liczba położzeń – w instrukcji PATTERN;
NUMPTS	(number of points), największa liczba punktów – odcinków interpolacji wzdłuż powierzchni prowadzącej i powierzchni przedmiotu (zwykle 200);
OBTAIN	uzyskanie – wartości z określonych wzorów i podanych zmiennych;
OFF	wyłączenie – funkcji obrabiarki;
OFFSET	przesunięcie – po INDIRP lub INDIRV powoduje ruch narzędzia do położenia przesuniętego i stycznego do powierzchni ograniczającej w punkcie przecięcia;
OMIT	pominięcie – punktów w instrukcji PATTERN;
ON	na – końcowa pozycja narzędzia w instrukcji ruchu; środkowy punkt końca narzędzia na powierzchni ograniczającej;
ON	wyłączenie – funkcji obrabiarki;
OPSKIP	(optional skip), warunkowe pominięcie – możliwość pominięcia fragmentu programu przez dodanie odpowiedniego oznaczenia kodowego na początku każdego bloku danych;
OPSTOP	(optional stop), warunkowy stop – możliwość zatrzymania w danym miejscu programu przez operatora obrabiarki; OPSTOP powoduje wydruk i wydziurkowanie odpowiedniego oznaczenia kodowego;
ORIGIN	początek współrzędnych – określa początek układu współrzędnych obrabiarki w układzie współrzędnych przedmiotu;
OUT	na zewnątrz – określa, że żaden z okręgów nie znajduje się wewnątrz drugiego
OUTTOL	(outside tolerance), na zewnątrz przedmiotu, tolerancja na plus – działa tylko przy odcinkach zarysu programowanych jako krzywe i wówczas powoduje, że prostoliniowe odcinki interpolujące są styczne do zarysu; w przypadku INTOL odcinki te są cięciami;
PARAB	(parabolic interpolation), interpolacja paraboliczna;
PARLEL	(parallel), – równoległe – zadana linia lub płaszczyzna jest równoległa do poprzednio określonej linii lub płaszczyzny;
PARTNO	(part number), numer przedmiotu obrabianego – identyfikacja programu obróbki;
PAST	za – styczny do powierzchni od dalszej strony;

PATERN	(pattern), zbiór punktów – zbiór punktów położonych na linii prostej, łuku koła lub na przecięciu linii równoległych (GRID);
PERPTO	(perpendicular to), prostopadle do – zadana linia, płaszczyzna lub wektor jest pod kątem prostym do poprzednio określonej linii lub wektora;
PITCH	skok gwintu;
PLANE	płaszczyzna;
PLUNGE	zagłębienie – ruch tulei wrzecionowej równoległe do osi wrzeciona przy wierceniu lub gwintowaniu;
PLUS	dodawanie wektorów;
POCKET	kieszeń – powoduje cykl obróbki kieszeni przez obróbkę zarysu kieszeni, a następnie usunięcie materiału wewnątrz zarysu, jedna instrukcja pozwala usunąć materiał z kieszeni, na której zarys składa się nie więcej niż z 20 odcinków prostoliniowych;
POINT	punkt;
POLCON	(polyconic surface), rodzina powierzchni stożkowych;
POSTN	(position), położenie – wrzeciennika w określonej płaszczyźnie;
PLOT	(postprocessor plot), postprocesor – wykres;
PPRINT	(postprocessor print) – wskazuje, że komentarz powinien być drukowany;
PREFUN	(preparatory function), funkcje przygotowawcze – na taśmie dziurkowanej oznaczane kodem G;
PRINT	wydruk – powoduje wydruk danych z pamięci; stosowane przy sprawdzaniu danych liczbowych np. współrzędnych środka i długości promienia okręgu; PRINT/O powoduje wydruk na następnej stronie;
PSIS	(part surface is), ustala nową powierzchnię przedmiotu;
PSTAN	powierzchnia przedmiotu styczna – do powierzchni ograniczającej;
PTNORM	(point normal), w instrukcji TABCYL stosowane do obliczania parametrów sześciennych;
PTONLY	(points only), tylko punkty – gdy zostały już wyliczone punkty toru narzędzia przerywa dalsze przetwarzanie;
PTSLOP	(point slope), – w instrukcji TABCYL stosowane do obliczenia parametrów sześciennych;
PUNCH	dziurkowanie – dziurkowanie na kartach danych geometrycznych w formie kolumn liczb dwójkowych;
QUADRIC	(general quadric surface), powierzchnia drugiego stopnia – powierzchnia opisana równaniem drugiego stopnia o trzech zmiennych: $Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Fyz + Gxz + Hxy + Qy + Rz + D = 0$;
RADIUS	promień – w definicji okręgu lub kuli wskazuje, że następna liczba określa długość promienia; W ARCSLP wskazuje na promień krzywizny;
RANDOM	dowolnie – w instrukcji PATERN wskazuje, że zbiór jest utworzony z pojedynczych punktów i wcześniej zdefiniowanych zbiorów;

RANGE	zakres – zakres posuwów; słowo stosowane łącznie z HIGH, LOW, MEDIUM lub z numerem zakresu r ;
RAPID	szybki posuw;
READ	czytanie – danych;
REFSYS	(reference system), układ współrzędnych odniesienia – umożliwia definiowanie kształtu i wymiarów przedmiotu w dogodniejszym układzie współrzędnych;
REMARK	(remarks), komentarz – dane nieprzetwarzane, drukowane w programie obróbki; zamiast REMARK można użyć \$\$;
RESERV	(reserve), rezerwacja – wydziela część układu pamięci dla wypisanych zmiennych;
RESET	nastawienie postprocesora;
RETAIN	zachowanie – w instrukcji GOTO określającej ruch w PATTERN wskazuje, że narzędzie powinno być ustawiane tylko w wymienionych położeniach;
RETRACT	(retract), wycofanie – wrzeczona do powierzchni bezpiecznej;
REV	(revolution), obroty – w instrukcji DELAY określa, że czas postoju jest podany przez liczbę obrotów;
REVERS	(reverse), odwrócenie – osi w celu obróbki przedmiotu symetrycznego;
REWIND	przewijanie – taśmy do wydziarkowanego na niej znaku n określonego wcześniejszą instrukcją TMARK;
RIGHT	prawy – określa wybór z dwóch możliwości np. HEAD/RIGHT;
RLDSRF	powierzchnia prostokreślna – powierzchnia utworzona przez połączenie liniami prostymi punktów dwóch określonych odcinków linii krzywych;
RATOB	(rotate table), obrót stołu – do określonego położenia;
ROTHED	(rotate head), obrót wrzeciennika – do określonego położenia;
ROTREF	(rotate reference system), obrót układu współrzędnych – stosowane do obrotu układu współrzędnych obrabiarki względem układu współrzędnych przedmiotu;
RPM	(revolution per minute), obrotów na minutę – w instrukcji CYCLE/TAP określa prędkość obrotową wrzeczona;
RTHETA	(radius, angle theta), promień, kąt teta – określa, że następujące dane przedstawiają współrzędne biegunowe: promień a następnie kąt;
SADDLE	suport – służy do określenia wyboru, np. HEAD/SADDLE;
SAME	to samo – w instrukcji COPY znaczy powtórzenie bez zmian;
SCALE	skala – stosowane w instrukcji MATRIX;
SELCTL	(select tool), wybór narzędzia – następne narzędzie w programie obróbki;
SEQNO	(sequence number), numer kolejny;
SETANG	(set-up angle), kąt ustawienia – w instrukcji TOOL;
SETOOL	(set tool), nastawienie narzędzia – określa odległości x , y , z od środka oprawki do końca narzędzia;
SFM	(surface feed per minute), stóp kwadratowych na minutę;
SIDE	boczne – określa wybór np. HEAD/SIDE;

SINF	(sine function), funkcja sinus;
SLOPE	pochylenie – linii, wyrażone jako tangens kąta pochylenia;
SMALL	małe – w definicji okręgu określa okrąg o mniejszym promieniu;
SPHERE	kula – cztery możliwe definicje: środek i promień; środek i punkt na powierzchni; środek i płaszczyzna styczna; cztery punkty powierzchni;
SPINDL	(spindle), wrzeciono – zakłada się obrót zgodny z ruchem wskazówek zegara, jeżeli nie określono inaczej;
SQRTF	(square foot function), pierwiastek kwadratowy;
SRFVCT	(surface vector), wektor powierzchni – określa stronę TO lub PAST powierzchni podanej w instrukcji GO TO;
START	start – w instrukcji ARCSLP określa kąt w punkcie początkowym;
STEP	stopnie – powoduje przyspieszenie wg określonych stopni do określonej prędkości posuwu;
STOP	stop – zatrzymuje obrabiarkę i czytnik taśmy; powoduje podanie funkcji M00 na taśmie dziurkowanej; stosowane dla umożliwienia zmiany narzędzia, sprawdzenia przedmiotu itp.;
SWITCH	przełączenie – zmiana palet;
SYN	(synonym), synonimy – słów APT np. XL, XLARGE; TT, TAN TO; L, LINE;
TABCYL	(tabulated cylinder), interpolacja powierzchni walcowa – określanie przez procesor ciągłej powierzchni walcowej przechodzącej przez szereg punktów, których współrzędne podano w tablicy;
TANTO	(tangent to), stycznie do – powierzchnia prowadząca styczna do powierzchni ograniczającej;
TAP	gwintowanie – w instrukcji CYCLE powoduje gwintowanie gwintownikiem;
TERMAC	(termination of MACRO), koniec podprogramu;
THICK	(thickness), grubość – obliczone położenia narzędzia są przesuwane o podaną odległość;
THREAD	nacinanie gwintu – powoduje nacinanie gwintu tylko w następnej instrukcji; stosowana po instrukcji PITCH;
THRU	(through), przez – w instrukcji ruchu GO TO w PATTERN ustala kolejność spowodowana przez OMIT, RETAIN, AVOID; w CYCLE powoduje specjalny cykl wytaczania;
TIMES	razy – mnożnik wektora ustalający skalę;
TITLES	tytuły – określa tytuły tablic i nagłówki kolumn przy wydruku;
TLAXIS	(tool axis), oś narzędzia – określa położenie osi narzędzia;
TLLFT	(tool left), narzędzie z lewej strony – w stosunku do powierzchni prowadzącej;
TLON	(tool on), narzędzie na – w stosunku do powierzchni prowadzącej;
TLONPS	(tool on part surface), narzędzie na powierzchni przedmiotu – punkt środkowy końca narzędzia porusza się po powierzchni

	przedmiotu; TLOFPS określa, że narzędzie jest styczne do powierzchni przedmiotu;
TLRGT	(tool right), narzędzie z prawej strony – w stosunku do powierzchni prowadzącej;
TMARK	(type mark), zapis na taśmie punktu odniesienia; TMARK/AUTO zapis na taśmie znaku automatycznego przewijania;
TO	do – końcowe położenie narzędzia w instrukcji ruchu;
TOLER	(tolerance), tolerancja – działa tylko na krzywoliniowych odcinkach zarysu przybliżonych odcinkami prostoliniowymi;
TOOL	narzędzie – służy do definiowania narzędzia;
TOOLNO	(tool number), numer narzędzia – powoduje zapis kodu zmiany narzędzia na taśmie dziurkowanej;
TRACUT	(transform cutter centers), transformacja toru narzędzia – za pomocą określonej macierzy; różni się od REFSYS służącego do przekształcania opisu geometrycznego oraz od COPY służącego do powtarzania i przekształcania; umożliwia wykonywanie przedmiotów o większych lub mniejszych wymiarach przez zastosowanie macierzy zmieniających skalę, np. przy wykonywaniu matryc z uwzględnieniem skurczu;
TRANS	(translate), zmiana współrzędnych – postprocesor przelicza współrzędne z układu przedmiotu na układ obrabiarki;
TRANSL	(translation), przesunięcie – w instrukcji MATRIX lub COPY wskazuje na wartość przesunięcia wzdłuż osi współrzędnych;
TRANTO	(transfer to), przesunięcie do – przerywa kolejne przetwarzanie arytmetycznej części programu;
TRAV	(traverse), przesuw – w HEAD określa szybki przesuw;
TRFORM	(transform), transformacja – w instrukcji TABCYL oznacza przekształcenie danych za pomocą określonej macierzy;
TURRET UNIT	głowica rewolwerowa – określa pozycję i przesunięcie głowicy; jednostkowy – przekształca dany wektor na wersor o tym samym kierunku i zwrocie;
UNITS	jednostki – określone, jako: INCHES, FEET, MM, CM;
UP	do góry – podnosi wrzeciono w przypadku gdy ma ono określone położenie;
VECTOR	wektor – wielkość określana przez wartość i kierunek; 10 definicji: składowe x, y, z ; 2 punkty; prostopadle do płaszczyzny; mnożenie wektora przez skalar; iloczyn wektorowy; wektor normalizowany; wartość (długość) i kąt względem płaszczyzny; równoległe do przecięcia dwóch płaszczyzn i zwrot; dodawanie i odejmowanie wektorów; kąt w stosunku do linii prostej i zwrot;
VTLAXS	(variable tool axis), zmienna oś narzędzia – wykorzystanie cechy obrabiarek z 5 osiami sterowanymi, umożliwia programiście zmianę pochylenia narzędzia w czasie obróbki;
WARNNG	(warning) – ostrzeżenie – komentarz postprocesora jeżeli wykryje możliwość błędnej interpretacji;
XAXIS	(X-axis), oś X;

XLARGE	(X large), X duże – w definicjach geometrycznych wskazuje, że zadany element znajduje się w kierunku +X;
XSMALL	(X small), X małe – w definicjach geometrycznych wskazuje, że zadany element znajduje się w kierunku -X;
XYPLAN	– (XY-plane), płaszczyzna XY – wskazuje, że wektor leży w płaszczyźnie XY;
XYROT	(XY rotation), obrót w płaszczyźnie XY – określa płaszczyznę i kąt obrotu w instrukcji MATRIX;
YAXIS	(Y-axis), oś Y;
YLARGE	(Y large), Y duże – w definicjach geometrycznych wskazuje, że zadany element znajduje się w kierunku +Y;
YSMALL	(Y small), Y małe – w definicjach geometrycznych wskazuje, że zadany element znajduje się w kierunku -Y;
YZPLAN	(YZ-plane), płaszczyzna YZ – wskazuje, że wektor leży w płaszczyźnie YZ;
YZROT	(YZ rotation), obrót w płaszczyźnie YZ – określa płaszczyznę i kąt obrotu w instrukcji MATRIX;
ZAXIS	(Z-axis), oś Z;
ZIGZAK	zygzak – stosowane w instrukcji GO TO w celu określenia ruchu w przypadku szachownicy punktów;
ZLARGE	(Z large), Z duże – w definicjach geometrycznych wskazuje, że zadany element znajduje się w kierunku +Z;
ZSMALL	(Z small), Z małe – w definicjach geometrycznych wskazuje, że zadany element znajduje się w kierunku -Z;
ZSURF	(Z surface), powierzchnia Z – definiuje płaszczyznę służącą do określenia współrzędnej Z wszystkich wprowadzonych później punktów, dla których nie podano tej współrzędnej;
ZXPLANE	(ZX plane), płaszczyzna ZX – wektor leży w płaszczyźnie ZX;
ZXROT	(ZX rotation), obrót w płaszczyźnie ZX – określa płaszczyznę i kąt obrotu w instrukcji MATRIX;

Definicje geometryczne w języku APT

● Definicje punktów – Rys. 57a:

```

P1=POINT/100,80,30; P1=POINT/CENTER, CIR1
P2=POINT/INTOF, LN2
P3=POINT/XSMALL, INOF, LN1, CIR1;
P4=POINT/YLARGE, INOF, LN1, CIR1
P5=POINT/XLARGE, INOF, CIR1, CIR2
P6=POINT/XSMALL, INOF, CIR1, CIR2
P7=POINT/CIR2, ATANGL, 220
P7=POINT/CIR2, ATANGL, -140
P8=POINT/CIR2, ATANGL, 40

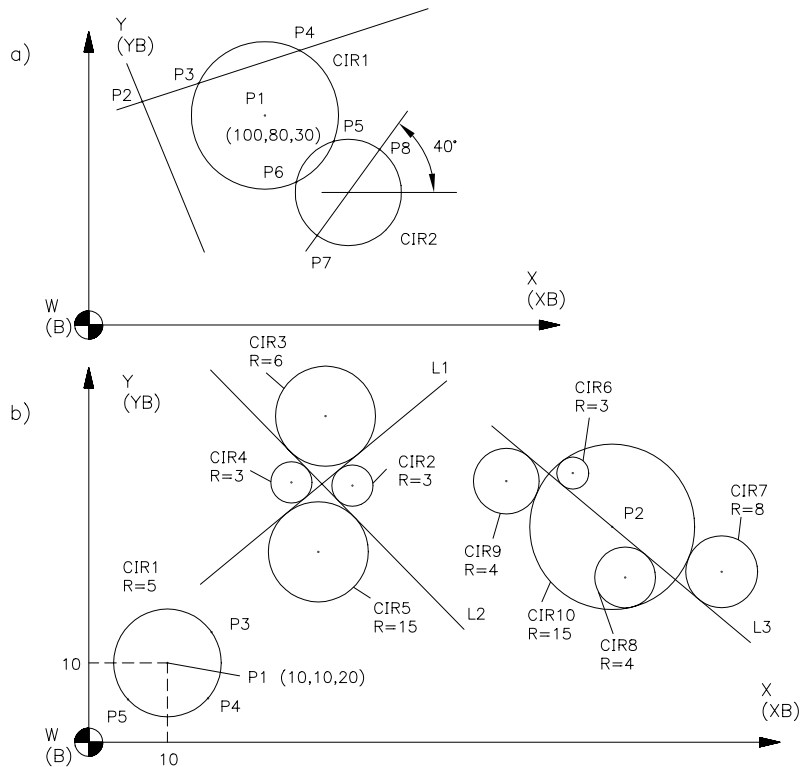
```

● Definicje okręgów – Rys. 57b:

```

CIR1=CIRCLE/10,10,20
CIR1=CIRCLE/CENTER,P1,RADIUS,5
CIR2=CIRCLE/YLARGE,L2,XLARGE,L1,RADIUS,3
CIR3=CIRCLE/XLARGE,L2,YLARGE,L1,RADIUS,6
CIR4=CIRCLE/XSMALL,L2,YLARGE,L1,RADIUS,3
CIR5=CIRCLE/XSMALL,L2,YSMALL,L1,RADIUS,15
CIR10=CIRCLE/CENTER,P2,RADIUS,15
CIR6=CIRCLE/YLARGE,L3,XSMALL,IN,CIR10,RADIUS,3
CIR7=CIRCLE/YLARGE,L3,XLARGE,OUT,CIR10,RADIUS,8
CIR8=CIRCLE/YSMALL,L3,YSMALL,IN,CIR10,RADIUS,4
CIR9=CIRCLE/YSMALL,L3,XSMALL,OUT,CIR12,RADIUS,4

```



Rys. 57. Definicje punktów i okręgów w języku APT

● Definicje linii prostych przy pomocy współrzędnych, punktów i kątów – Rys. 58a:

```

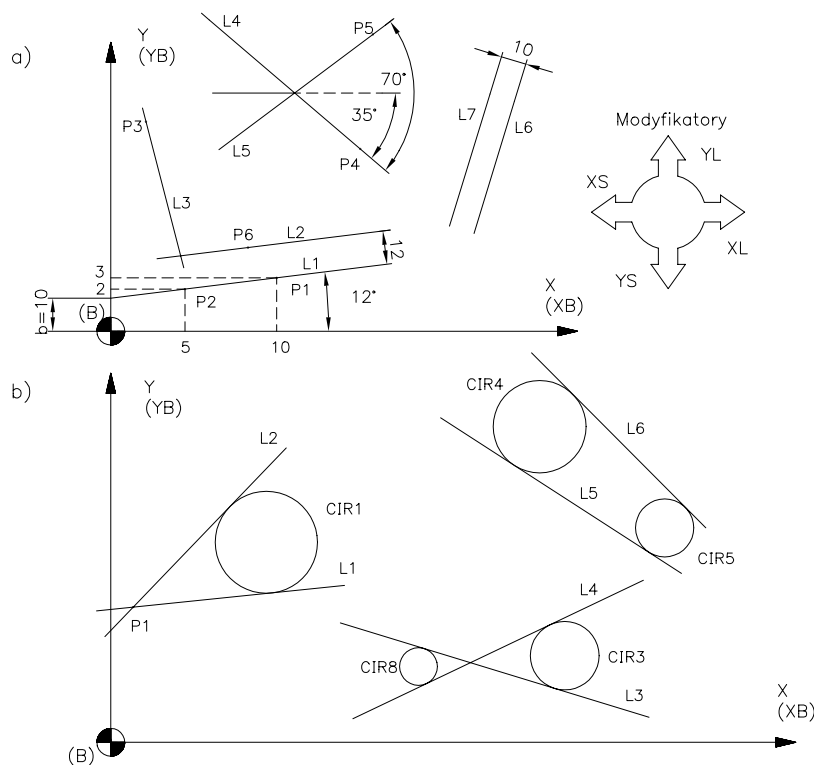
L1=LINE/5,2,0,10,3,0 lub
L1=LINE/P1,P2
lub wykorzystując równanie tej linii w postaci  $y=mx+b$ ,
gdzie  $m=(Y_1 - Y_2)/(X_1 - X_2)=0.2$ ;  $b=10$ :
L1=LINE/SLOPE,0.2,INTERC,10
L2=LINE/PARLEL,L1,YLARGE,12 lub
L2=LINE/P6,ATANGL,0,L1 lub
L2=LINE/P6,PARLEL,L1
L3=LINE/P3,ATANGL,90,L2 lub
L3=LINE/P3,PERPTO,L2
L4=LINE/P4,ATANGL,110,L5 lub
L4=LINE/P4,ATANGL,-70,L5
L5=LINE/P5,ATANGL,70,L4 lub

```

L5=LINE/P5,ATANGL,-110,L4
 L6=LINE/PARLEL,L7,YLARGE,10

● Definicje linii prostych przy pomocy punktów i okręgów – Rys. 58b:

L1=LINE/P1,RIGHT,TANTO,C1
 L2=LINE/P2,LEFT,TANTO,C1
 L3=LINE/LEFT,TANTO,C3,RIGHT,TANTO,C3
 L4=LINE/RIGHT,TANTO,C3,LEFT,TANTO,C2
 L5=LINE/RIGHT,TANTO,C4,RIGHT,TANTO,C5
 L6=LINE/LEFT,TANTO,C4,LEFT,TANTO,C5



Rys. 58. Definicje linii prostych w języku APT

● Płaszczyznę definiuje się przez:

trzy punkty:

PL1=PLANE/P1,P2,P3;

linię prostą i punkt:

PL2=PLANE/P4,L1;

punktu i płaszczyznę równoległą:

PL3=PLANE/P5,PARLEL,PL1.

Jeżeli definiowana płaszczyzna jest równoległa do płaszczyzny XY i oddalona od niej o wartość z , używa się definicji ZSURF/ z , wykorzystywanej również do określania współrzędnej z różnych form geometrycznych leżących na tej płaszczyźnie (nie podaje się wtedy współrzędnej Z dla każdej z nich oddzielnie).

Język systemu APT posiada również szerokie możliwości zwięzłego definiowania zbiorów punktów (PATTERN) na odcinkach prostych, okręgach, siatkach prostokątnych, z wykorzystaniem przesunień i odbić zwierciadlanych. Istnieją również możliwości definiowania bardziej złożonych form geometrycznych – Rys. 59:

WALEC=CYLNDR/PT1,V1,r

gdzie V1 jest wektorem leżącym na osi walca przechodzącej przez punkt PT1;
STOZEK=CONE/PT1,V1, α

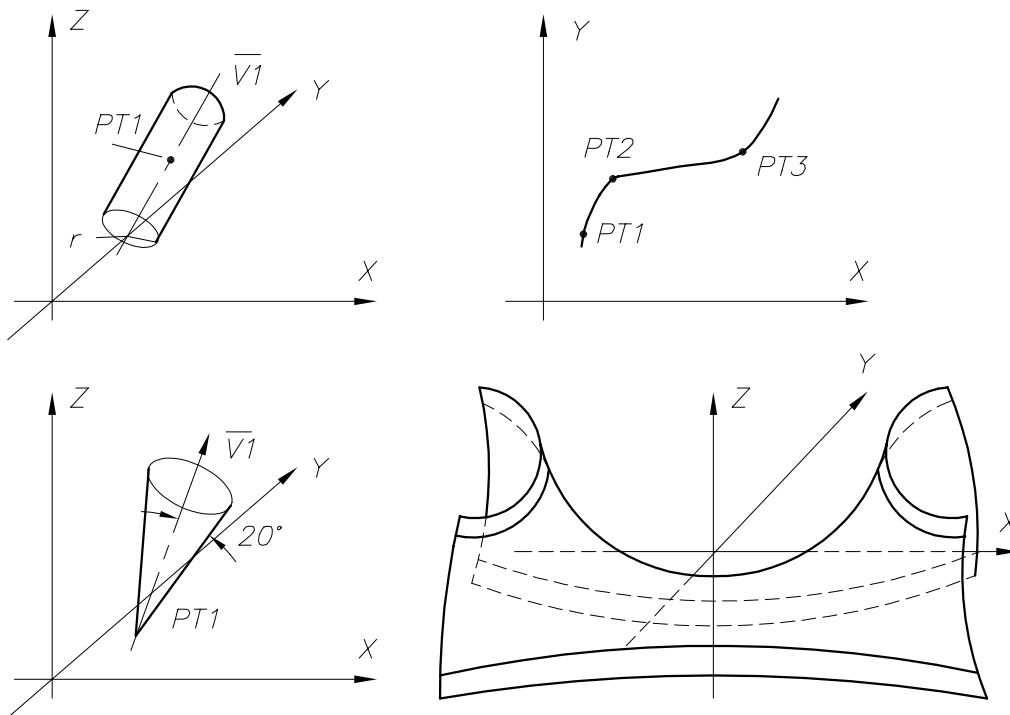
gdzie α jest półkątem rozwarcia stożka;

POW2ST=QUADRIC/A,B,C

powierzchnia drugiego stopnia o równaniu: $x^2 / A^2 + y^2 / B^2 = 2Cz$

TAB=TABCYL/NDZ,SPLINE,PT1,PT2...

słowo TABCYL oznacza tablicowany walec – powierzchnie powstającą przez przesunięcie linii tworzącej wzdłuż krzywej przestrzennej (kierownicy). Krzywa w przestrzeni jest definiowana punktami (PT1,PT2...). NDZ oznacza brak współrzędnej Z, SPLINE – modyfikator oznaczający ciągłość pierwszej pochodnej w punktach, przez które przechodzi krzywa.



Rys. 59. Definicje złożonych form geometrycznych

● Definicje narzędzi, warunków skrawania, wymiarów i odchyłek

Zawierają one słowo CUTTER i parametry geometryczne narzędzia; określenie posuwu FEDRAT/p; obrotów wrzeciona SPINDL/n, CW lub CCW; włączenie COOLNT/ON lub wyłączenie chłodziwa; słowa INTOL i OUTTOL.

● Instrukcje ruchów narzędzia – Rys. 60a:

FROM/START

INDIR/V1

GO/PAST,DS1,TO,S2

GOLFT/DS1,TO,PS2

GODOWN/DS2,TO,PS2

z punktu początkowego;

w kierunku wektora V1;

ruch z pozycjonowaniem za płaszczyzną DS1 i za płaszczyzną PS1;

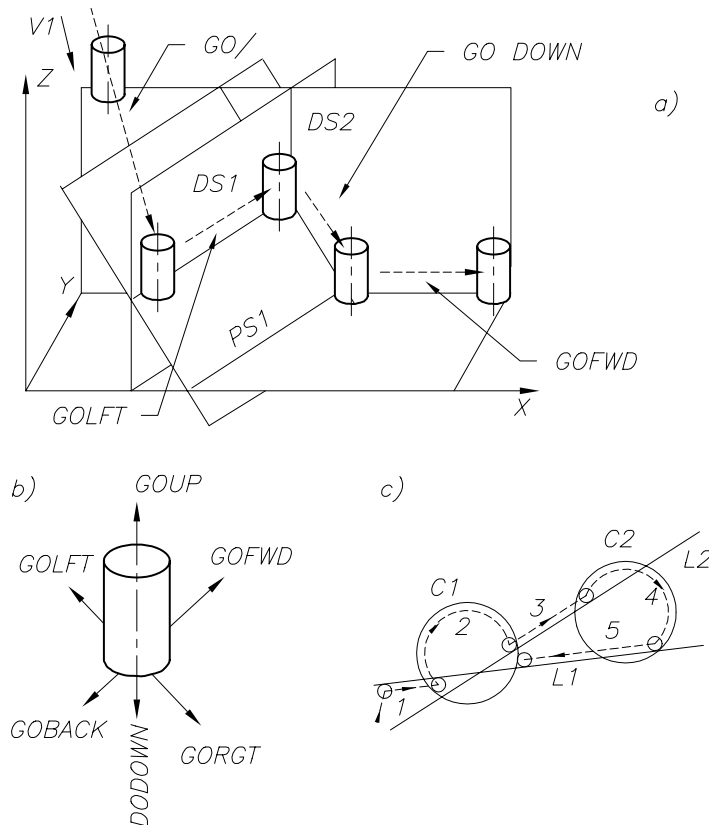
ruch w lewo (w stosunku do poprzedniego odcinka toru), stycznie do DS1 i PS1, aż do TO DS2;

ruch w dół, stycznie do DS2 i PS1, aż do PS2;

PSIS/PS2

GOFWD/PS2

powierzchnia PS2 zostaje zdefiniowana jako
powierzchnia obrobiona
ruch w przód do PS2.



Rys. 60. Instrukcje ruchów narzędzia

● Instrukcje ruchu dla narzędzia z Rys. 60b:

TLRGT,GORGT/L1

położenie narzędzia w prawo od L1, ruch w prawo, stycznie do L1;

GOLFT/C1,TO,L2

ruch w lewo, stycznie do C1, do pozycjonowania przy L2;

GOLFT/L2

ruch w lewo, stycznie do L2;

GOLFT/C2

ruch w lewo, stycznie do C2;

GORGT/L1,TO,C1

ruch w prawo, stycznie do L1, do pozycjonowania przy C1.

Rys. 60c pokazuje sposób oznaczania kierunków i zwrotów ruchów w stosunku do ruchu poprzedzającego. Narzędzie w czasie obróbki porusza się w taki sposób, że:

- jego powierzchnia działania jest styczna do PS i równocześnie styczna po lewej (TLRGT) lub prawej (TLRGT) stronie do powierzchni DS, albo też:
- jego powierzchnia działania jest styczna do PS i równocześnie leży na powierzchni DS.

Punkt końcowy narzędzia, w którym oś narzędzia przecina powierzchnię działania może być prowadzony po powierzchni PS (TLONPS), albo też nie stawia się takiego warunku (TLOFPS). Docelowe położenie narzędzia wyznacza powierzchnia CS.

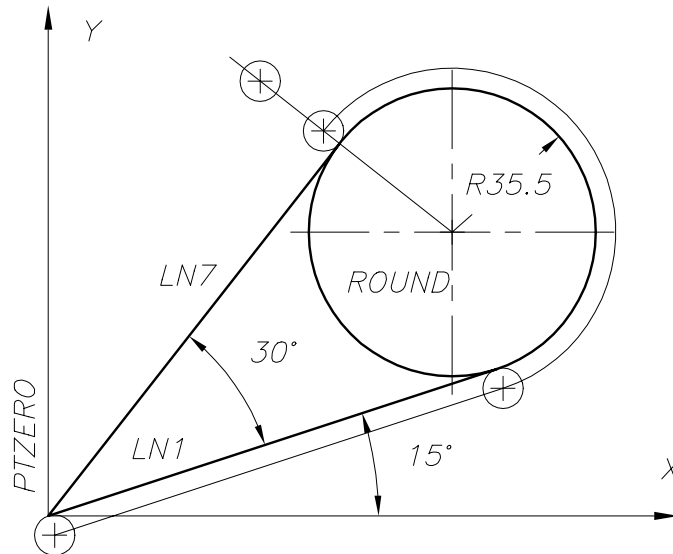
- Instrukcje przebiegu programu

W języku systemu APT istnieje możliwość wprowadzenia podprogramów, wywoływanych z programu głównego instrukcją CALL/symbol podprogramu; podprogram zaczyna się instrukcją MACRO/.. i kończy instrukcją TERMAC.

4.3.3. Przykłady programowania w języku systemu APT

Najpierw podane są proste przykłady programowania obróbki.

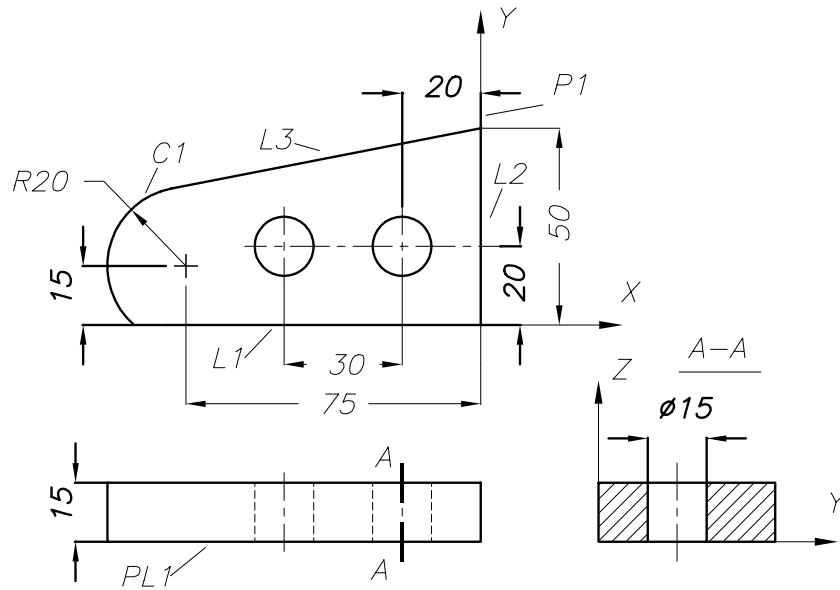
- Dla konturu pokazanego na Rys. 61:



Rys. 61. Przykład prostego konturu

```
PARTNO/PRZYKŁAD
MACHIN/FREZARKA
PTZERO=POINT/0,0,0
LN1=LINE/PTZERO, ATANGL, 15
LN7=LINE/PTZERO, ATANGL, 30, LN1
ROUND=CIRCLE/YLARGE, LN1, YSMALL, LN7, RADIUS, 35.5
INTOL/.01
OUTTOL/.01
CUTTER/16.5,.75
FROM/75, 100, 50
COOLNT/ON
FEDRAT/95
SPINDL/1150
GO/TO,ROUND,TO,(XYPLN=PLANE/0,0,1,0)
$$ 0,0,1 – składowe wektora prostopadłego;
$$ 0 – odległość od PTZERO;
GOLEFT/ROUND, PAST, LN1
GOFWD/LN1, TO, LN7
GODLTA/0,0,0,100
$$ 0,0,1 – składowe wektora kierunku ruchu;
$$ 100 – przyrost;
GOTO/75,100,50
FINI
```

- Dla frezowania konturu części z Rys. 62:



Rys. 62. Przykład obrabianego konturu

PARTNO/PŁYTKA Z OTWORAMI

MACHIN/FREZARKA

TRANSL/-120,-140,0

\$\$ Transformacja z układu współrzędnych części do układu obrabiarki

C1=CIRCLE/-75,15,0,20

L1=LINE/0,0,0,-10,0,0

L2=LINE/0,0,0,0,10,0

P1=POINT/0,50,0

L3=LINE/P1,RIGHT,TANTO,C1

PL1=PLANE/0,0,1,0

SETPT=POINT/20,-80,50

INTOL/0.01

OUTTOL/0.01

CUTTER/16.5,.75

FROM/SETPT

SPINDL/900,CW

FEDRAT/20

GO/TO,L2,TO,PL1

COOLNT/FLOOD

GORGTL2,PAST,L3

GOLFT/L3,TANTO,C1

GOFWD/C1,PAST,L1

GOLFT/L1,PAST,L2

GODLTA/0,0,1

COOLNT/OFF

FEDRAT/200

GOTO/SETPT

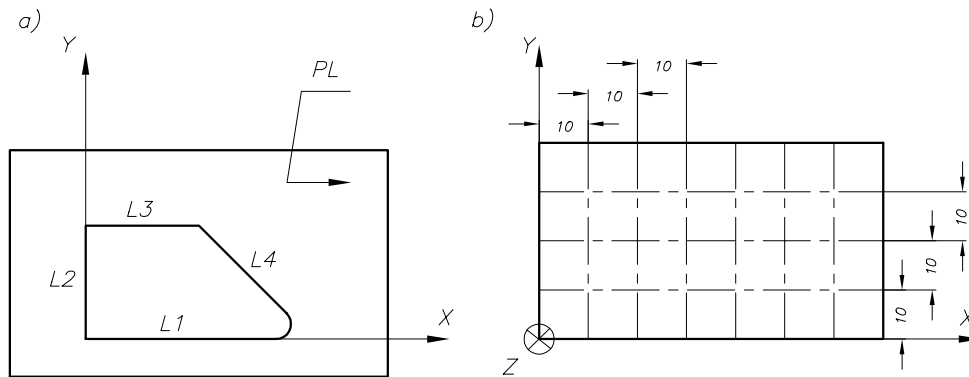
FINI

W przypadku obróbki konturów w dwóch przejściach, zgrubnym i wykańczającym, może być użyty program z podprogramem wykorzystywanym

dwukrotnie. Narzędzie definiuje się wtedy dwukrotnie, podając w pierwszej definicji średnicę powiększoną o podwojoną wartość naddatku na obróbkę wykańczającą (jest to modyfikacja wnoszona tylko do programu – w rzeczywistości narzędzie w obu przejściach ma tę samą średnicę).

Tor środka narzędzia obliczany dla pierwszego przejścia zapewni wtedy, przy użyciu narzędzia o niezmodyfikowanej średnicy, niezbędny naddatek. W drugim przejściu tor środka narzędzia zostaje już obliczony jako leżący „bliżej” powierzchni obrobionej – w odległości promienia frez.

● Dla konturu z Rys. 63a:



Rys. 63. Przykład złożonych form obrabianych

```

PARTNO/KONTUR
MACHIN/FREZARKA
$$ definicje geometryczne
.....
.....
$$ podprogram
M1=MACRO
GO/TO,L2,TO,PL
GOLF/L2,TO,L1
GORGT/L1,TANTO,C1
GOFWD/C1,PAST,L4
GOLFT/L4,PAST,L3
GOLFT/L3,PAST,L2
GOLFT/L2,PAST,L1
GOTO/SETPT
TERMAC
$$ koniec podprogramu
CUTTER/25.2
$$ rzeczywista średnica freza wynosi 25 mm
FROM/SETPT
CALL/M1
$$ wywołanie podprogramu M1 – obróbka zgrubna frezem R 25 mm
$$ z naddatkiem 0.1 mm
CUTTER/25
CALL/M1
$$ wywołanie podprogramu M1 celem obróbki wykańczającej
FINI

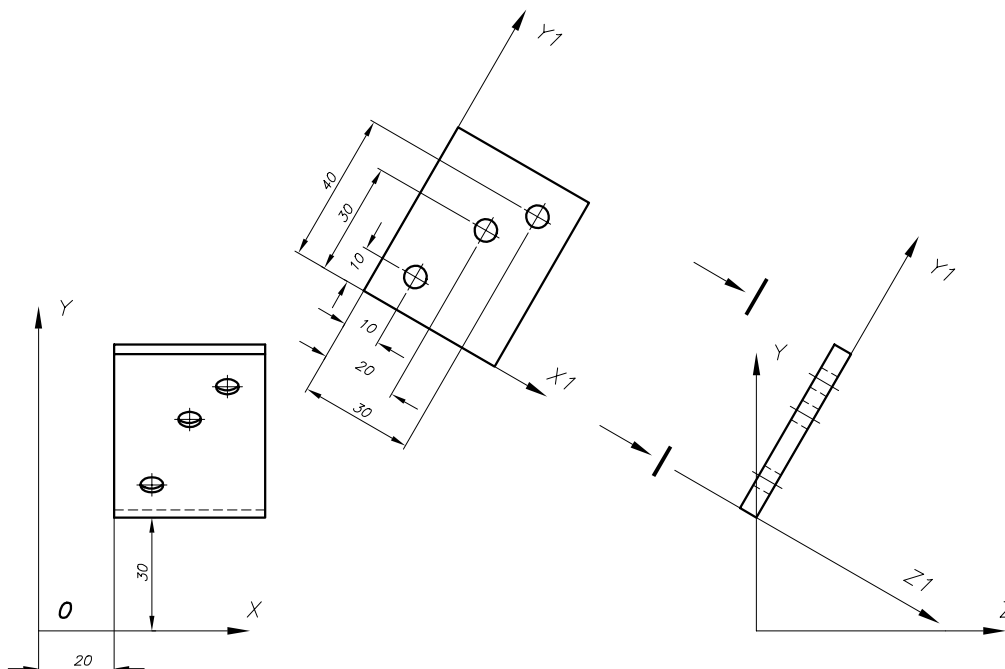
```

Użycie podprogramów może znacznie skrócić program, czego przykładem jest obróbka układu otworów w płycie wg Rys. 63b. Program zawiera tu dwa podprogramy DRL i WORK, parametry tych programów przyjmują nowe wartości za każdym razem, gdy podprogram (MACRO – makroinstrukcja, podprogram) jest wywoływany:

```
DRL=MACRO/X,Y,D
  GOTO/X,Y,10
  GODLTA/0,0,-D
  GODLTA/O,O,D
  TERMAC
WORK=MACRO/VAL
  CALL/DRL,X=10,Y=VAL,D=20
  CALL/DRL,X=20,Y=VAL,D=20
  CALL/DRL,X=30,Y=VAL,D=20
  CALL/DRL,X=40,Y=VAL,D=20
  CALL/DRL,X=50,Y=VAL,D=20
  CALL/DRL,X=60,Y=VAL,D=20
  TERMAC
CUTTER/4
SETPT=POINT/0,0,5
FROM SETPT
CALL/WORK,VAL=10
CALL/WORK,VAL=20
CALL/WORK,VAL=30
GOTO/SETPT
FINI
```

Możliwości języka APT w zakresie obróbki przestrzennej ilustrują przypadki programowania obróbki wierceniem i frezowaniem ze sterowaniem w 3 i 5–ciu osiach. Program wiercenia otworów umieszczonych na płaszczyźnie nachylonej w stosunku do płaszczyzny układu XYZ – Rys. 64 [5]:

```
TLAXIS/0,0,1
$$ os narzędzia równoległa do osi Z
$$ (0,0,1) są współrzędnymi wektora osi Z
MAT1=MATRIX/YZROT,30
$$ definicja macierzy transformacji układu odniesienia przez
$$ obrót o 30° wokół osi X
TRANSL/20,30,0
$$ transformacja układu odniesienia przez przesunięcie o wektor
$$ (20,30,0); obie transformacje pozwalają na programowanie obróbki
$$ otworów w układzie X1,Y1,Z1, natomiast procesor obliczy torę ruchów
$$ narzędzi w układzie XYZ, co sygnalizuje w programie instrukcja:
TRACUT/MAT1
GOTO/10,10,1
$$ ruch narzędzia do punktu nad pierwszym otworem
CALL/DRILLM
$$ wywołanie podprogramu obróbki otworu
GOTO/20,30,1
CALL/DRILLM
GOTO/30,40,1
CALL/DRILLM
TRACUT/NOMORE
```



Rys. 64. Wiercenie otworów w płaszczyźnie pochylonej

Frezowanie nachylonej płaszczyzny na frezarce 3C wymaga przejść położonych dostatecznie blisko siebie – Rys. 65a, w odległości [5]:

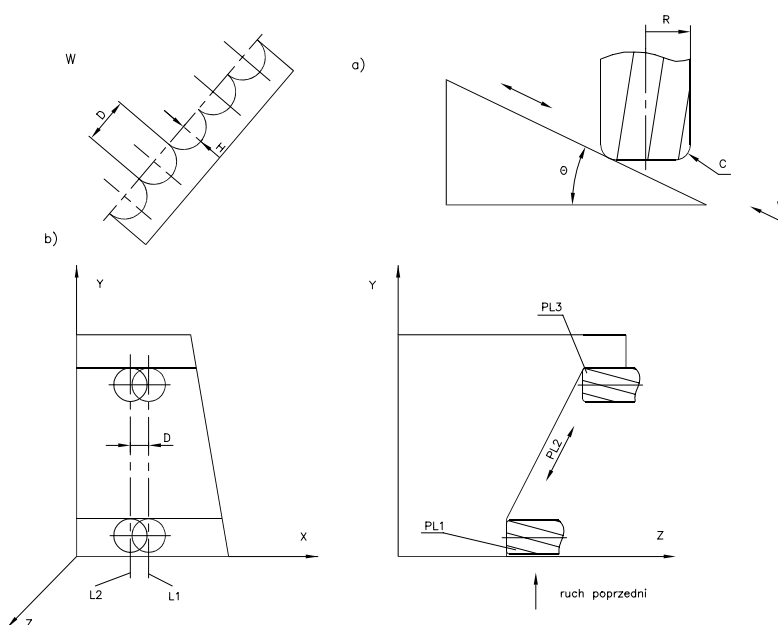
$$D = 2a \frac{\sqrt{b^2 - y^2}}{b} \quad (17)$$

gdzie: $a = R - C + C \sin \theta$

$b = a \sin \theta$

$y = b - H$

a H jest dopuszczalną teoretyczną wysokością mikronierówności. Program obróbki dla dwóch sąsiednich przejść – Rys. 65b:



Rys. 65. Frezowanie pochylej płaszczyzny na frezarce 3C

PSIS/PL1

\$\$ płaszczyzna PL1 zostaje zdefiniowana jako powierzchnia obrobiona
TLON,GODOWN/L1,TO,PL2

\$\$ os narzędzia na linii L1, ruch w dół w kierunku osi narzędzia

\$\$ z pozycjonowaniem na płaszczyźnie PL2

PSIS/PL2

GOUP/L1

\$\$ ruch w gore, po linii L1

TLLFT,GOLFT/PL3

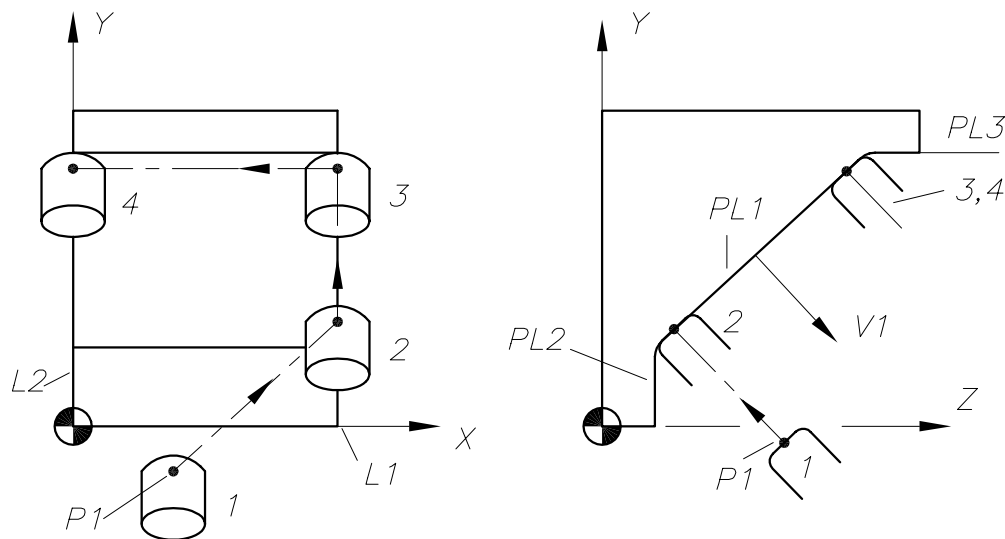
\$\$ narzędzie po lewej stronie PL3, ruch w lewo,

\$\$ stycznie do PL3

TLON,GODOWN/L2,TO,PL1

\$\$ narzędzie na linii L2, ruch w dół po L2, do PL1

● Frezowanie nachylonej płaszczyzny na frezarce 5C (Rys. 66) [5]:



Rys. 66. Szkic do programowania frezowania płaszczyzny nachylonej na frezarce 5C

Przed rozpoczęciem obróbki narzędzie jest pozycjonowane prostopadłe do płaszczyzny PL1:

V1=VECTOR/PERPTO,PL1

PSIS/PL1

TLAXIS/V1

GOTO/P1

GO/ON,L1,PL1,PL2

TLON,GOLFT/L1

TLLFT,GOLFT/PL3,ON,L2

oś narzędzia równoległe do V1;

ruch w położenie 1;

ruch w położenie 2, pozycjonowanie stycznie do L1, PL1 i PL2;

ruch w położenie 3, koniec narzędzia porusza się po L1;

ruch w położenie 4, stycznie do PL3, narzędzie po lewej stronie PL3, do pokrycia się końca narzędzia z L2.

4.3.4. Język COMPACT II

System COMPACT II jest wdrażany od końca lat 60-tych przez firmę Manufacturing Data System International (MDSI,USA) i należy obecnie do najbardziej rozpowszechnionych w świecie (zwłaszcza w Niemczech i USA). Jest uważany za prostszy od APT, może być wykorzystywany dla różnych maszyn technologicznych sterowanych numerycznie: tokarek i centrów tokarskich, frezarek, wiertarek, centrów frezarsko-wytaczarskich, maszyn do wycinania strumieniem tlenu i strumieniem fotonów, wycinarek elektroerozyjnych. Tłumaczenie programu źródłowego na sterujący odbywa się podobnie jak w APT – przy użyciu uniwersalnego procesora i odpowiedniego postprocesora. Testowanie programu i edycja odbywa się w trybie dialogu z wykorzystaniem grafiki komputerowej – ploterów lub monitorów graficznych. Stosowane w dalszym ciągu symboliczne oznaczenie punktów, linii prostych i okręgów są typowe dla języka COMPACT II (do rysunków na których podane są symbole języka APT, rysunki są uzupełnione typowym dla COMPACT-u oznaczeniem początku układu odniesienia przedmiotu B i osi XB, YB, ZB). Struktura programu źródłowego jest podobna jak w języku APT, definicje narzędzi i warunków skrawania oraz instrukcje ruchów narzędzi i przebiegu programu są objaśnione w podanych dalej przykładach.

Wybrane słowa języka systemu COMPACT II [8]:

ABSO1	programowanie absolutne;
ATCHG	automatyczna zmiana narzędzia;
BASE	określenie położenia początku układu XB, YB, ZB;
CNTR	środek okręgu;
CCW	ruch przeciwnie do kierunku obrotów wskazówki zegara;
CON	włączenie chłodziwa;
CUT	posuw roboczy;
CW	ruch zgodnie z kierunkiem obrotów wskazówek zegara;
D	definicja;
DO	wykonać;
DRAW	kreślenie rysunku na ploterze;
END	koniec programu;
F	punkt końcowy konturu;
GL	długość narzędzia;
ICON	kontur wewnętrzny;
IDENT	identyfikacja przedmiotu obrabianego;
IN	wielkości na wejściu;
INCH	wymiary w calach;
INIT	zadanie systemu wymiarowania (calowy, metryczny);
LOC	położenie;
MACHIN	obrabiarka;
METRIC	wymiarowanie w systemie metrycznym;
MOVE	ruch szybki;
MMPM	mm/min;
NO	brak ruchu;

OCON	kontur zewnętrzny;
ON	po;
OUT	wielkości na wyjściu, styczność zewnętrzna;
PALLET	automatyczna zmiana palety;
PAR	równolegle;
PAST	za;
PER	prostopadle;
R	promień okręgu;
PRM	obr/min;
S	punkt początkowy konturu;
SCALE	podziałka rysunku;
SETUP	nastawienie obrabiarki;
STK	naddatek na obróbkę wykańczającą;
TD	średnica narzędzia;
TO	do (np. położenia stycznego do podanej linii);
TOOL	narzędzie

● Definicje punktów – Rys. 57a:

DPT1,100XB,80YB,30ZB
DPT1,CIR1/CNTR
DPT2,LN1,LN2
DPT3,LN1,CIR1,XS
DPT4,LN1,CIR1,YL
DPT5,CIR1,CIR2,XL
DPT6,CIR1,CIR2,XS
DPT7,CIR2,140CW
DPT8,CIR2,40CCW

● Definicje okręgów – Rys. 57b:

DCIR,PT1,5R
DCIR1,PT3,PT4,PT5
DCIR2,LN1/3YS,LN2/3XL,3R
DCIR3,LN1/6YL,LN2/6XL,6R
DCIR4,LN1/1.5XS,LN2/1.5YS,3R
DCIR5,LN1/7.5YS,LN2/7.5XS,15R
DCIR7,LN3/4YL,CIR10/4XL,8R
DCIR9,LN3/4.5YS,CIR10/4.5XS,4R

● Definicje linii prostych przy pomocy współrzędnych, punktów i kątów – Rys. 58a:

DLN1,PT1,PT2
DLN2,LN1/12YL
DLN2,PT1,PARLN1
DLN3,PT3,PERLN2
DLN4,PT4,PARX/35CW
DLN5,LN4,ROTXY-70CW lub
DLN5,PT5,PARX/35CCW
DLN6,LN7/10XL

- Definicje linii prostych przy pomocy punktów i okręgów – Rys. 58b:

DLN1,PT1,CIR1,YS
 DLN2,PT1,CR1,YL
 DLN3,CIR2,YL,CIR3,CROSS
 DLN4,CIR2,YS,CIR3,CROSS
 DLN5,CIR4,YS,CIR5
 DLN6,CIR4,YL,CIR5

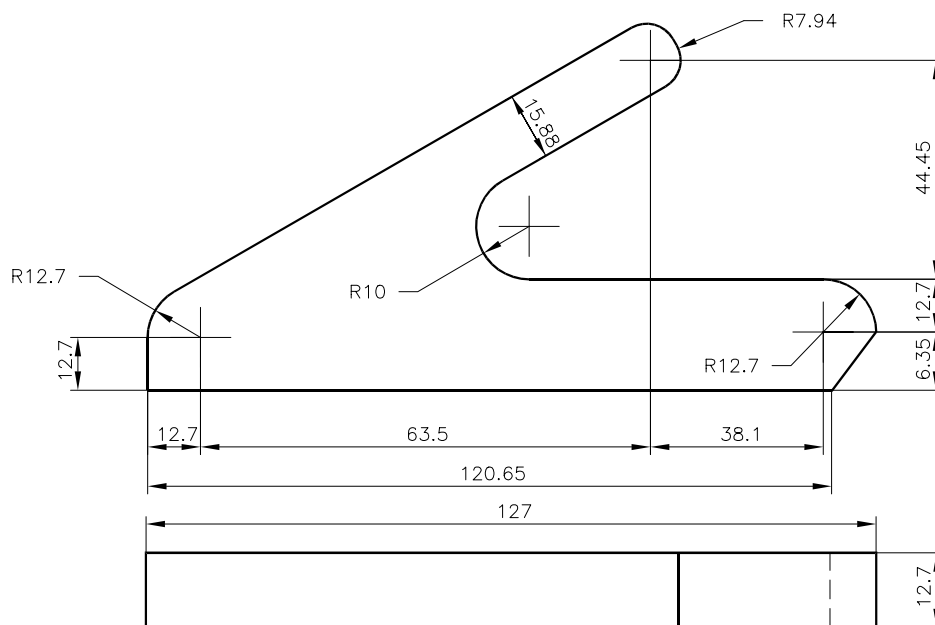
4.3.5. Przykłady programowania w języku COMPACT II

Program w języku COMPACT II składa się z czterech rodzajów instrukcji:

1. Określenia części obrabianej i obrabiarki – znajdują się na początku programu.
2. Definicji geometrycznych.
3. Definicji narzędzi i warunków skrawania.
4. Instrukcji ruchów narzędzi.

COMPACT II jest prawie całkowicie bezformatowym językiem. Oznacza to, że wyszczególnione instrukcje w punktach 2÷4 mogą być wzajemnie przemieszane i że kolejność informacji częściowych w obrębie poszczególnych instrukcji jest dobierana dowolnie.

- Program obróbki części z rys. Rys. 67 przedstawia się następująco:



Rys. 67. Przykład obrabianego konturu

W pierwszym wierszu każdego programu COMPACT II wyszczególniona jest obrabiarka, na której dana część ma być obrabiana:

MACHIN,FREZARKA

W celu szybkiej identyfikacji części można w drugim wierszu podać oznaczenie narzędzia, numer części lub informacje identyfikacyjna – nazwę lub podobną informację:

IDENT,KATOWNIK

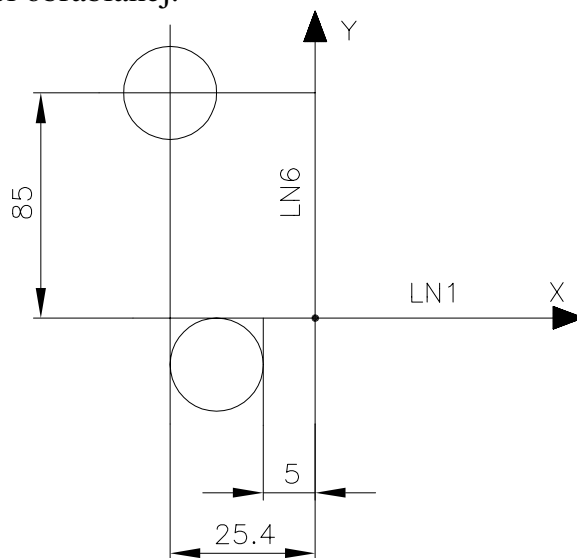
W instrukcji SETUP ustalone zostaje położenie punktu zmiany narzędzia w odniesieniu do absolutnego punktu zerowego obrabiarki. W analizowanym poniżej przykładzie punkt ten położony jest w osi X na wysokości zera, a w osi Y na wysokości 85 mm. W osi Z leży on na wysokości 250 mm w celu zachowania wystarczającego odstęp bezpieczeństwa. W programie zapisuje się to następująco:

SETUP,0LX,85LY,250LZ

Przed rozpoczęciem opisu geometrii części ustala się punkt zerowy narzędzia – Rys. 68. Ponieważ wymiarowanie części obrabianej rozpoczyna się od lewego rogu, punkt ten przyjmuje się jako bazę w następującej instrukcji:

BASE,25.4XA,25.4YA,0ZA

W instrukcji tej dane XA, YA i ZA oznaczają odniesienie do punktu zerowego obrabiarki w trzech osiach. Liczba przed każdą z tych trzech danych podaje odstęp bazy od punktu zerowego w kierunku danej osi. Wymiary te są następnie uwzględniane przy mocowaniu części obrabianej.



Rys. 68. Ustalenie punktu zerowego narzędzia

Dopiero teraz można rozpocząć opis geometrii obrabianego przedmiotu, powołując się każdorazowo na wymiary zgodne z rysunkiem oraz na ustalony już punkt bazowy. Dolna krawędź części obrabianej jest oznaczona jako linia 1 – Rys. 68. Leży ona w osi X i jest zdefiniowana w następujący sposób:

DLN1,YB

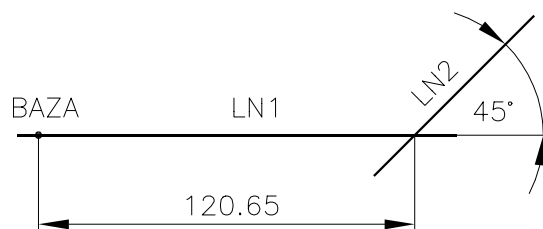
Pierwsze słowo oznacza: „Define Line 1” tj. „zdefiniowanie linii 1”. Przez YB zostaje określone, że linia, patrząc w kierunku osi Y, przebiega na wysokości 0 od punktu bazowego. Ponieważ nie podano żadnej wartości X oznacza to, że linia ta biegnie równoległe do osi X, a skoro odstęp Y wynosi 0 więc linia ta pokrywa się z osią X.

Następnie zdefiniowana będzie linia 2. Linia ta zgodnie z Rys. 69 przechodzi pod kątem 135° przez punkt leżący na osi X, jednakże oddalony od bazy o 120.65 mm. Jak definiuje się kąt w języku COMPACT II pokazuje Rys. 70.

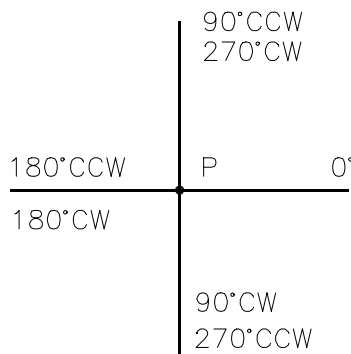
Promień biegnący na prawo od punktu P w poziomie przyjmuje się jako 0°. Przejście w dół o 90° w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara w programie oznacza się 90CW (90° Clock Wise). Następne przesunięcie o 90° oznacza się

180CW, a kolejne 270CW. Przejścia w kierunku przeciwnym oznacza się CCW (Counter Clock Wise). Definicja linii 2:

DLN2,120.65XB,YB,45CCW



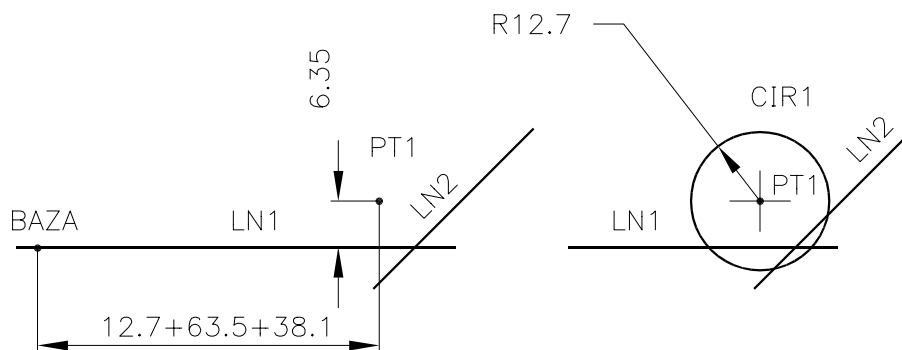
Rys. 69. Definicja linii LN1, LN2



Rys. 70. Definicja kąta w języku COMPACT II

Z kolei definiuje się punkt 1 (Rys. 71):

DPT1,12.7+63.5+38.1XB,6.35YB,ZB



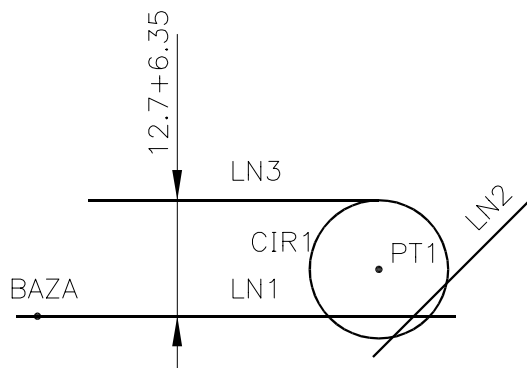
Rys. 71. Definicja punktu PT1 i okręgu CIR1

Pierwsze słowo oznacza tutaj „Define Point 1” czyli „definiowanie punktu 1”. Definicja okręgu o promieniu 12.7 winna teraz nastąpić za pomocą punktu 1 jako punktu środkowego oraz podania promienia 12.7 mm. Pierwszym słowem w tej instrukcji jest DCIR z dołączonym numerem okręgu. DCIR oznacza: „Define Circle” czyli „definicja okręgu”:

DCIR1,PT1,12.7R

Kolej teraz na zdefiniowanie linii położonej równolegle do osi X i leżącej w odległości 12.7+6.35 mm od niej – Rys. 72. Odpowiednia definicja ma postać:

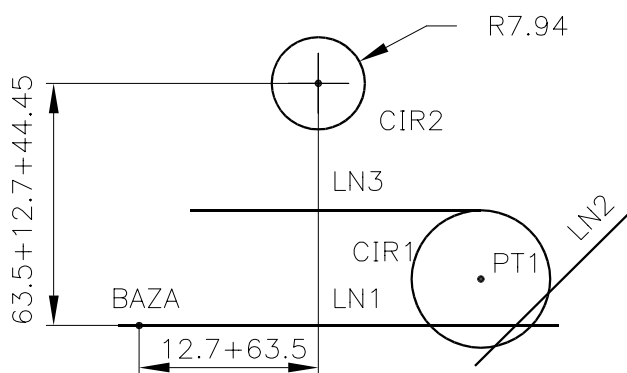
DLN3,19.05YB



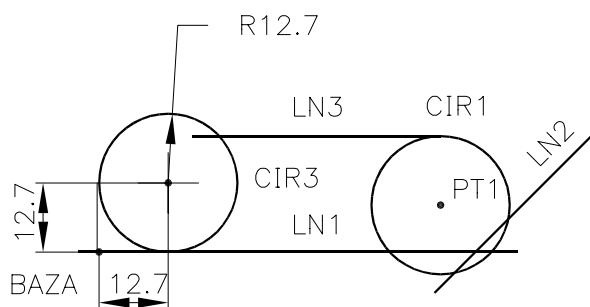
Rys. 72. Definicja linii LN3

Wycinek okręgu znajdujący się w środku ramion kąta nie musi być definiowany. Średnica freza, za pomocą którego ma być obrabiany łuk wynosić będzie 20 mm. Żądany promień $R=10$ mm powstaje więc automatycznie po wejściu narzędzia w środek kąta. Określone zostaną teraz pozostałe dwa okręgi znajdujące się w zarysie obrabianego profilu. Nie będą jak poprzednio oddzielnie przeprowadzone obliczenia współrzędnych punktu środkowego lecz współrzędne te włączone zostaną do definicji koła. Dla okręgu 2 położonego na końcu górnego ramienia wygląda to następująco (Rys. 73):

DCIR2,12.7+63.5XB,6.35+12.7+44.45YB,7.94R



Rys. 73. Definicja okręgu CIR2



Rys. 74. Definicja okręgu CIR3

Posługując się tą samą metodą określamy okrąg nr 3 (Rys. 74):

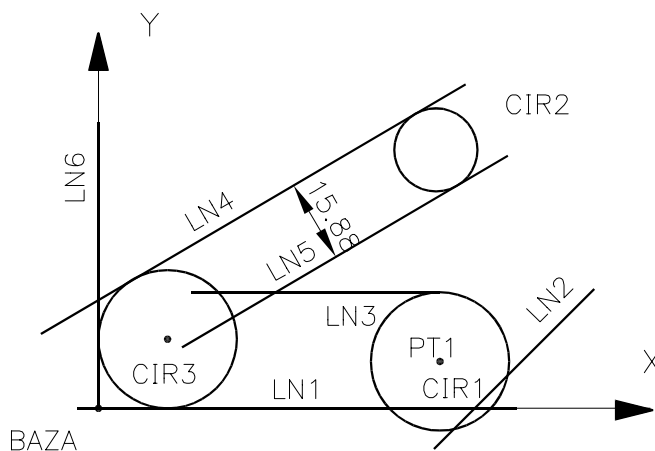
DCIR3,12.7XB,12.7YB,12.7R

Dopiero teraz można zdefiniować zewnętrzną linię ograniczającą górne ramie. Linia ta (linia nr 4) leży stycznie na okręgach 2 i 3 – Rys. 75. Przedstawia się to następująco:

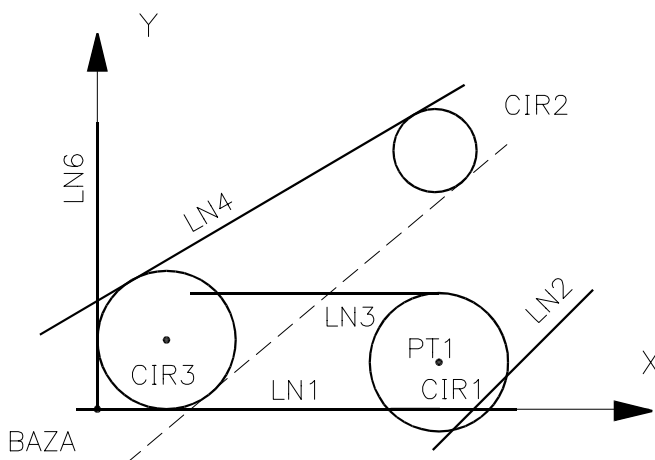
DLN4,CIR2,CIR3

Istnieją dwie linie – Rys. 76 – wobec tego należy podać, którą z obu możliwości mamy na myśli. Odnosimy się przy tym do osi X lub Y. Z rysunku wynika, że na myśli mamy te z obu możliwości, dla której wartość Y jest większa w odniesieniu do wymienionego w pierwszej kolejności okręgu. A zatem definicja brzmi:

DLN4,CIR2,YL,CIR3



Rys. 75. Definicja linii LN4 i LN5



Rys. 76. Definicja linii LN6

Druga linia tworząca ramię biegnie równolegle do linii; odstęp obu tych linii wynosi 15.88 mm. Przesuwając linię 4 o 15.88 mm można skonstruować linię 5. Określając jej kierunek stwierdzamy że „X rośnie”, a więc definicja pozycji X brzmi:

DLN5, LN4/15.88XL

Na koniec do zdefiniowania pozostała linia 6 (Rys. 76). Definicję tworzymy podobnie jak dla linii 1 z tą różnicą, że wykorzystana jest inna oś:

DLN6,XB

Zdefiniowane zostały zatem wszystkie elementy geometryczne części obrabianej. Wskazano również różne możliwości definiowania linii, punktów i okręgów. Kolejnym etapem będzie wywołanie i opisanie narzędzia do frezowania. Odbywa się to za pomocą następującej instrukcji:

ATCHG, TOOL1, GL200, TD20, 900RPM, 230MMPM, CON

Poszczególne elementy posiadają następujące znaczenie:

ATCHG: Automatic Tool CHanGe – automatyczna zmiana narzędzia

TOOL1: narzędzie nr 1

GL200: Gage Lenght 200 mm – długość narzędzia 200 mm

TD20: Tool Diametr 20 mm – średnica narzędzia 20 mm

900RPM: 900 Revolution Per Minute – 900 obr/min

230MMPM: 230 MM Per Minute – posuw 230 mm/min

CON: COoling On – włączanie środka chłodzącego

Opisane w ten sposób narzędzie musi być doprowadzone ruchem szybkim do pozycji obróbki, od której winien się rozpocząć przebieg frezowania:

MOVE,OFFLN1/YS,10ZB

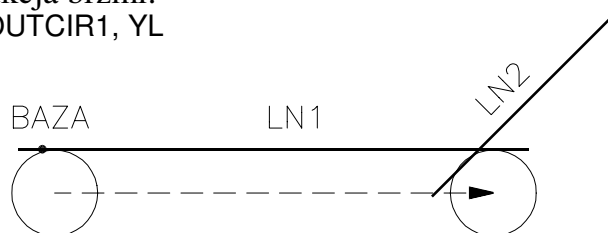
Przez MOVE następuje ruch szybki z pozycji zmiany narzędzia. Kolejne dane określają, dokąd przesuwa się frez. OFFLN1 wskazuje, że punkt końcowy ruchu leży „na zewnątrz linii 1”. Za pomocą modyfikatora wyznaczona zostaje strona linii 1, po której winien zatrzymać się frez. Jest to określone przez „YS”, co oznacza „Y Small”, a więc stronę, po której Y jest mniejsze. Przez OFFLN1/YS jest więc jednoznacznie wyznaczony ruch wzdłuż osi Y. Za pomocą OFFLN6/5XS określony zostaje teraz ruch wzdłuż osi X. Dosuw narzędzia następuje na zewnątrz linii 6 i to po tej stronie, po której jest „X small” czyli „wartość X jest mniejsza”. Frez nie może wejść bezpośrednio na linię 1 lecz musi być uwzględniony dobieg wielkości 5 mm. Realizuje się to przez podanie 5XS. OFFLN6/5XS oznacza zatem, że narzędzie winno być dosunięte po stronie „X Small” z odstępem 5 mm od linii 6. Przez 10ZB ustalony zostaje również Dosuw do osi Z. Przy uwzględnianiu uchwytu narzędzia, frez porusza się nad powierzchnia stołu na wysokości 10 mm. Ustalony został zatem dosuw narzędzia ruchem szybkim. Może więc rozpocząć się obróbka.

Najpierw frez porusza się równolegle do linii 1, aż do przekroczenia linii 2 – Rys. 77. Odpowiednia instrukcja W COMPACT II brzmi:

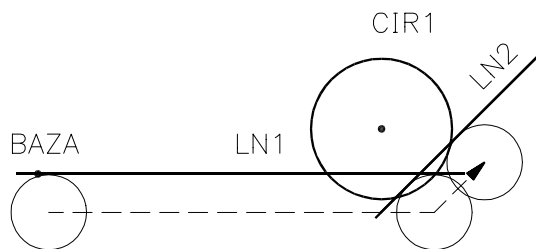
CUT PARLN1,PASTLN2

CUT (skrawanie) wyzwala ruch z określona uprzednio prędkością posuwu. Ruch ten powinien przebiegać równoległe do linii 1, (PARLN1) do przekroczenia linii 2 (PASTLN2). Teraz frez musi podążać za linią 2 (PARLN2), aż na zewnątrz okręgu 1 (CUTCIR1) – Rys. 78. Istnieją dwa punkty przecięcia linii 2 i okręgu 1. Żądany punkt przecięcia musi być określony przez dodatkowe podanie YL („Y Large” – Y większy), w związku z tym frez przesunie się do punktu przecięcia, przy którym wartość Y jest większa. A zatem instrukcja brzmi:

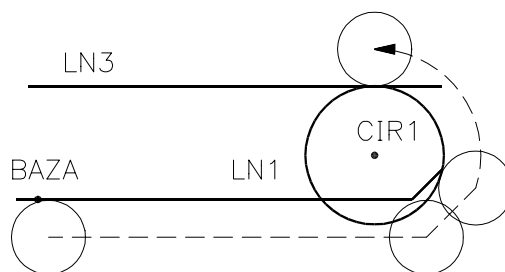
CUT PARLN2, OUTCIR1, YL



Rys. 77. Określenie ruchu narzędzia wzdłuż linii LN1



Rys. 78. Określenie ruchu narzędzia na zewnątrz okręgu CIR1



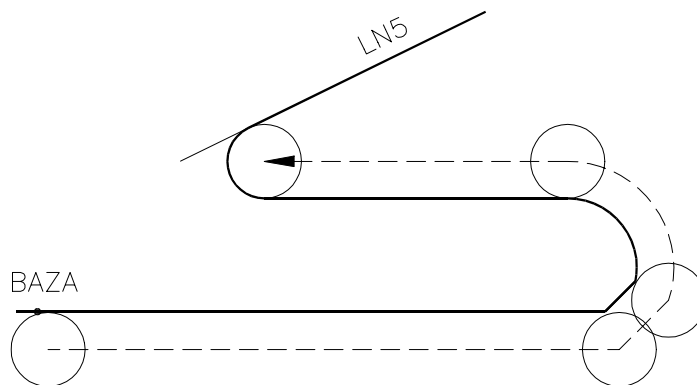
Rys. 79. Obejście okręgu CIR1

Następnie frez musi obejść kontur zdefiniowanego uprzednio jako CIR1 okręgu – Rys. 79. W języku COMPACT II określa się to jako OCON („Out CONtouring”) CIR1. Winno to nastąpić ruchem przeciwnym do ruchu wskazówek zegara czyli „Counter ClockWise” (CCW). Ruch winien rozpocząć się w miejscu („LOCation”), na którym skończony został ostatni ruch S/LOC/. Ruch ten winien kończyć się (Finish) tam, gdzie okrąg 1 tworzy punkt z linią 3 F/TANLN3/, a więc instrukcja ta brzmi:

OCON,CIR1,CCW,S/LOC/,F/TANLN3/

Frez musi się teraz poruszać równoległe do linii nr 3 aż do (TO) linii 5 – Rys. 80. Powstaje przy tym kontur okręgu w środku obu ramion kąta, ponieważ promień freza i promień konturu części są identyczne:

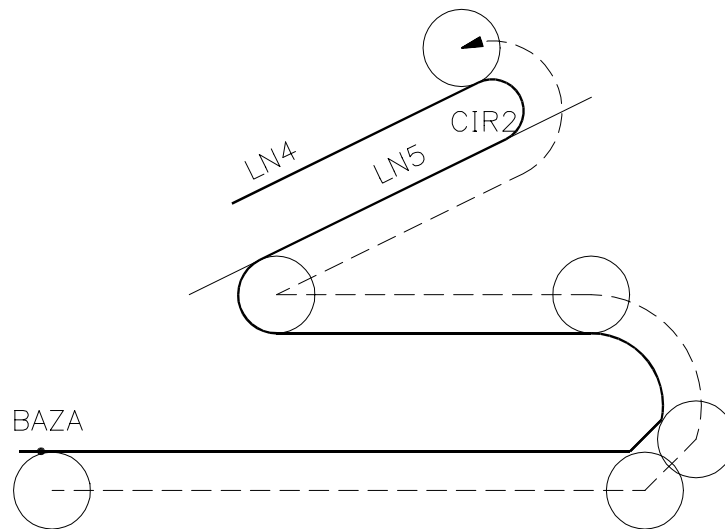
CUT,PARLN3,TOLN5



Rys. 80. Ruch równoległy do linii LN2 aż do linii LN5

Narzędzie porusza się następnie równoległe do linii 5 – Rys. 81. W COMPACT II można teraz określić następny krok obróbki tj. obejście okręgu 2, równocześnie z definicją tego ruchu. Instrukcja tego ruchu nazywa się OCON, a przebiega on po okręgu 2 S/TANLN5/. Ruch kończy się tam, gdzie linia 4 jest styczna do koła 2 F/TANLN4/:

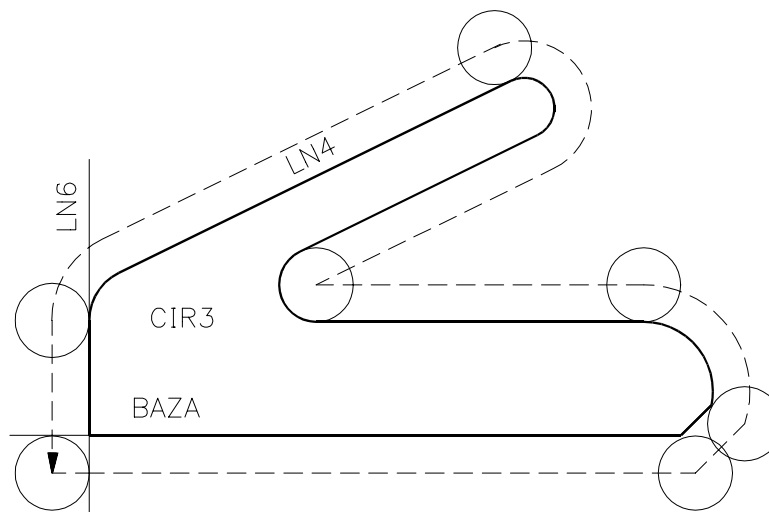
OCON,CIR2,CCW,S/TANLN5/,F/TANLN4/



Rys. 81. Ruch równoległy do linii LN5 i obejście okręgu CIR2

Podobnie przebiega kolejny krok programu – Rys. 82. Odpowiednia instrukcja wygląda więc następująco:

OCON,CIR3,CCW,S/TANLN4/,F/TANLN6/



Rys. 82. Obejście okręgu CIR3

Celem ukończenia frezowania, frez musi się jeszcze przesunąć równoległe do linii 6 (LN6), aż do przejścia linii 1 – Rys. 82, co w COMPACT II oznacza się:

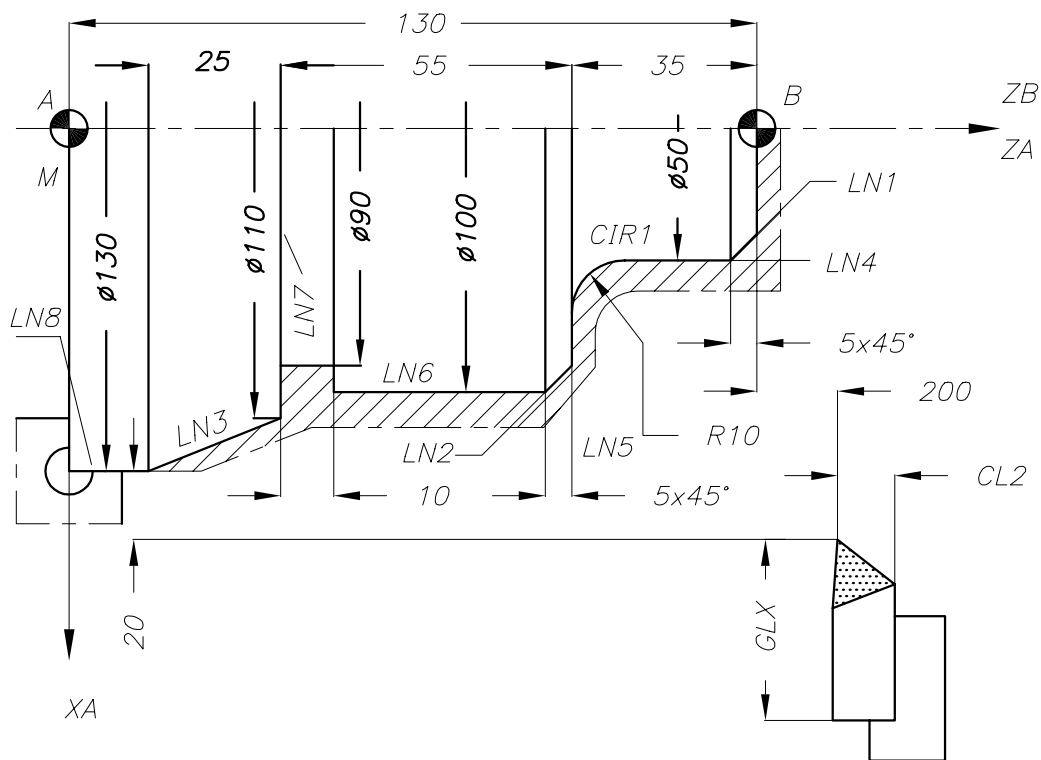
CUT,PASTLN1

Program zapisany w języku COMPACT II zakończony zostaje instrukcja END. Kompletny program dla elementu przedstawionego na Rys. 67 będzie miał postać:

```
MACHIN, FREZARKA
IDENT, KATOWNIK
SETUP, 0LX, 85LY, 250LZ
BASE, 25.4XA, 25.4YA, 0ZA
DLN1, YB
DLN2, 120.65XB, YB, 45CCW
DPT1, 12.7+63.5+38.1XB, 6.35YB, ZB
DCIR1, PT1, 12.7R
DLN3, 19.05YB
```

DCIR2, 12.7+63.5XB, 63.5+12.7+44.45YB, 7.94R
 DCIR3, CIR2, YL, CIR3
 DLN5, LN4/15.88XL
 DLN6, XB
 ATCHG, TOOL1, GL200, TD20, 900RMP, 230MMPM, CON
 MOVE, OFFLN1/YS, OFFLN6/5XS, 10ZB
 CUT, PARLN1, PASTLN2
 CUT, PARLN2, OUTCIR1, YL
 OCON, CIR1, CCW, S/LOC/, F/TANLN3/
 CUT, PARLN3, TOLN5
 OCON, CIR2, CCW, S/TANLN5/, F/TANLN4/
 OCON, CIR3, CCW, S/TANLN4/, F/TANLN6/
 CUT, PASTLN1
 END

● Przykład programowania obróbki na centrum tokarskim – Rys. 83:



Rys. 83. Przykład obróbki na centrum tokarskim

Dane pierwszej instrukcji identyfikują postprocesor i część obrabianą:

INIT,METRIC/IN,METRIC/OUT,BASE,XA,130ZA

SETUP,ABSO2,RPM2500,X65+20+2+60,Z130+200

ABSO2 – powoduje pojawienie się w programie sterującym słowa G50 po każdej zmianie narzędzia, oznaczającego programowanie absolutne.

Instrukcje geometryczne:

DLN1,ZB,40D,45CCW

LN1 – prosta przechodząca przez punkt na prawym czole przedmiotu, na $\phi 40$, pod kątem 45° do osi Z.

DLN2,100D,-35-5ZB,45CCW

DPT1,110D,-55-35ZB

DPT2,130D,-25-55-35ZB

DLN3,PT1,PT2
DLN4,50D
DLN5,-35ZB
DLN6,100D
DLN7,-55-35ZB
DLN8,130D
DLN9,ZB

Linie proste równoległe do osi Z programowane przez podanie średnicy, prostopadłe do osi Z przez podanie ZB.

DCIR1,LN5/10ZL,LN4/10XL,10R

Okrąg określony przez położenie środka O promienia.

CUT,PARLN3,OFFLN8/XL
MOVE,OFFLN9/3ZL

Szybki ruch;

Definicja narzędzia i warunków skrawania dla toczenia rowka:

ATCHG,TOOL3,OFFSET,GLX75,GLZ25, (cont)
TLR,CCS/OFF,25MPM,RPMD90,0.1MMPR

Procesor obliczy obroty $n=1000.25/\pi.90$;

Instrukcje ruchów narzędzia przy toczeniu rowka:

MOVEC,OFFLN3/2XL,OFFLN7/ZL
CUT,90D

Toczenie rowka do średnicy $\phi 90$.

CUT,OFFLN3/2XL,PARLN7

Powrót posuwem roboczym do położenia z instrukcji MOVEC.....

Definicja narzędzia i warunków skrawania przy toczeniu gwintu:

ATCHG,TOOL4,OFFSET4,GLX80,GLZ25,TLR,20MPM,RPMD100
THR(skok),S(LN5/8ZL),F(LN7/.3ZL),(cont)
MID(LN6/....XS),MAD(LN6),DEG...(cont)
SDPTH0.2,FDPH0.2,2SP/0.025,BDLP2,CYC4/OFF,CO

Definicje narzędzia i warunków skrawania dla obtaczania czoła:

ATCHG,TOOL1,OFFSET1,BLX60,GLZ25,TLN2,0.2MMPR,100MPM
MOVEC,OFFLN1-10XL,OFFLN9/ZL

Słowo MOVEC (move to cut) oznacza ruch szybki z automatycznym zwolnieniem do posuwu roboczego przed punktem podanym w instrukcji: 10,, przed linią LN6, na linii ZB=0.

Instrukcje ruchów narzędzia przy toczeniu czoła:

CUT,ONLN(XB),CSS/ON

Ruch narzędzia po linii LN9, CSS (Constant Surface Speed) – stała prędkość obwodowa, utrzymywana w ciągu przejścia (do pewnej średnicy).

CUT,1X,1Z

Odskok narzędzia od powierzchni obrobionej.

Definicja narzędzia i warunków skrawania dla toczenia konturu części:

ATCHG,TOOL2,OFFSET2,GLX60,GLZ25,TLR1.2,0.4MMPR,100MPM

Instrukcje ruchów narzędzia przy toczeniu konturu:

MOVEC,OFFLN1/XL,OFFLN9/3ZL
CUT,PARLN1,OFFLN4/XL,CSS/ON
ICON,CIR1,S(TANLN4),F(TANLN5),CCW
CUT,PARLN5,OFFLN2/XL
CUT,PARLN2,OFFLN6/XL
CUT,PARLN6,OFFLN7/ZL
CUT,PARLN7,OFFLN3/XL

4.3.6. System EXAPT

O ile system APT stwarza bardzo szerokie możliwości opisu form geometrycznych płaskich i przestrzennych, to równocześnie zakres wykorzystania komputera do wspomagania czynności związanych z projektowaniem technologii ogranicza się do sterowania ruchami podanymi w programie narzędzi i warunków skrawania wg zaprogramowanych przebiegów i zabiegów.

W 1963 roku rozpoczęto w TH Aachen i TU Berlin prace nad systemem, który określono jako rozszerzony podzbiór APT, oznaczając go skrótem EXAPT (EXtended subset of APT). System ten wykorzystuje podstawy i reguły budowy języka APT, ma równocześnie znacznie rozszerzoną stronę technologiczną. Początkowo powstały trzy części systemu: EXAPT 1 – dla wiertarek i frezarek ze sterowaniem punktowym i odcinkowym, EXAPT 2 – dla tokarek ze sterowaniem kształtowym, EXAPT 3 – dla frezarek ze sterowaniem kształtowym 2CL, od strony geometrycznej porównywalny z systemem ADAPT. Z początkiem lat 70-tych powstał system EXAPT 1.1 przeznaczony dla centrów frezarsko-wytaczarskich, ułatwiający programowanie obróbki z wykorzystaniem głowic wytaczarskich i umożliwiającą obróbkę kształtową. Współcześnie rozwijane są formy tego języka odpowiednie zarówno do przetwarzania wsadowego jak i do dialogu: EXAPT MO1 BASIC-EXAPT – system uniwersalny, EXAPT MO2 – pozwalający na daleko posuniętą automatyzację projektowania operacji tokarskich dla tokarek ze sterowaniem numerycznym w dwóch i czterech osiach, EXAPT MO3 – przeznaczony do programowania obróbki na centrach frezarsko-wytaczarskich, frezarkach i wiertarkach, EXAPT 3D EXAPT MO4 – przeznaczony do programowania obróbki powierzchni krzywoliniowych na frezarkach 5C.

System EXAPT umożliwia automatyczny dobór narzędzi skrawających, warunków skrawania, cykli zabiegów obróbki powierzchni elementarnych, automatyczny podział naddatku na obróbkę na podstawie zaprogramowanego kształtu półfabrykatu i przedmiotu po obróbce. Taki zakres automatyzacji czynności technologicznych wymaga założenia bazy danych obejmującej: narzędzia skrawające, materiały obrabiane, warunki skrawania, obrabiarki i uchwyty.

W języku systemu EXAPT można opracować programy źródłowe obróbki rodzin części technologicznie podobnych technika podprogramów. Istnieje możliwość symulacji przebiegu operacji na ekranie monitora (symulacja graficzno-dynamiczna), co jest szczególnie ważne w przypadku produkcji jednostkowej i małoseryjnej i przedmiotów obrabianych o złożonym kształcie i długich czasach obróbki, kiedy testowanie programów sterujących bezpośrednio na obrabiarce jest kłopotliwe i nieekonomiczne.

Język EXAPT może być stosowany w systemach DNC, może być również stosowany w systemach CAD i CAD/CAM.

ANBEV	(angle of bevel), kąt fazy;
ARC	łuk;
AT	przyrosty;
ATN	(arc tangent function), funkcja arcus tangens;
ATNGL	(at angle), pod kątem;
AVOID	pominać;
BEFORE	przed;
BEGIN	początek;
BEHIND	za;
BEVEL	faza naroża;
BLANCO	(blank contour), zarys przedmiotu surowego;
BLIND	(blind hole), otwór nieprzelotowy;
BORE	(boring), wytaczanie;
CALL	(call sub-program), wywołanie podprogramu;
CCLW	(counter-clockwise), przeciwnie do ruchu wskazówek zegara;
CDRILL	(center drilling), nawiercanie;
CENTER	środek;
CHUCK	uchwyt;
CIRCLE	okrąg;
CLAMP	(clamping plane), płaszczyzna mocowania;
CLDIST	(clearance distance), odległość bezpieczna;
CLPRNT	(cutter location print), wydruk położenia narzędzia;
CLW	(clockwise), zgodnie z ruchem wskazówek zegara;
CONT	(contouring), toczenie kształtowe;
CONTUR	(contour), zarys przedmiotu;
COOLNT	(coolant), chłodziwo;
CORED	wstępnie odlany otwór;
CORREC	(correction of cutting parameters), korekcja parametrów skrawania;
COSINK	(countersinking), pogłębienie stożkowe;
COUPLE	synchronizacja posuwu z obrotami wrzeciona w celu nacinania gwintu;
CROSS	poprzeczny;
CSPEED	(cutting speed), szybkość skrawania;
CSRAT	(cutting speed ratio), wartość szybkości skrawania;
CUT	(mechaning position call-up), skrawanie, wywoływanie miejsca obróbki;
CUTLOC	(location of cut), położenie miejsca obróbki;
DEPTH	głębokość;
DIA	(diameter), średnica;
DIABEV	(diameter of bevel), średnica fazy naroża;
DIAMET	(diameter), średnica;
DRILL	wiercenie;
FDSTOP	(feed stop), zatrzymanie posuwu;
FEDRAT	(feedrate), posuw;

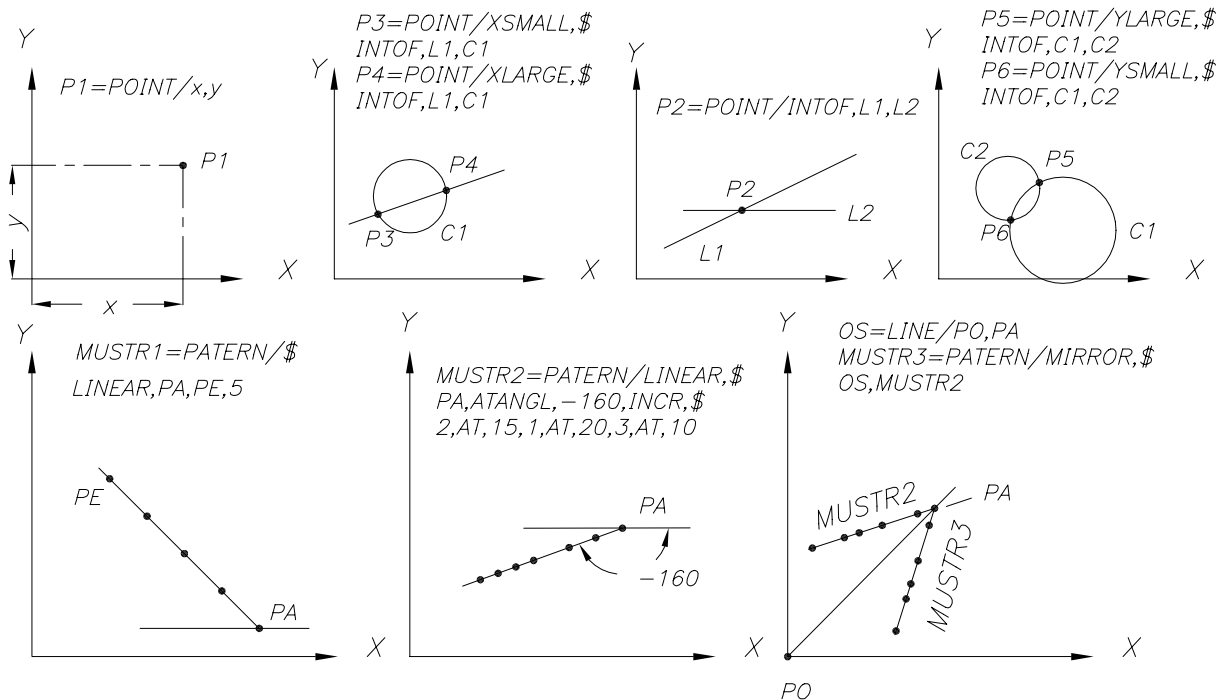
FEED	(feedrate), posuw;
FIN	(finishing), obróbka półwykańczająca;
FINE	(fine finishing), obróbka wykańczająca;
FINI	(program end), koniec programu;
FROM	z, od;
FWD	(forward), naprzód;
GO	idź;
GOBACK	(go back), wróć;
GODLTA	(go delta), przemieszczenie przyrostowe;
GOFWD	(go forward), idź naprzód;
GOLFT	(go left), idź w lewo;
GORGT	(go right), idź w prawo;
GOTO	(go to), idź do;
GROOV	(grooving), toczenie rowków;
IF	(if – conditional jump), jeżeli – skok warunkowy;
IN	(inside), wewnątrz;
INCR	(increment), przyrost;
INCH	cal;
INSERT	(insert control commands), włączanie rozkazów sterujących;
INTOF	(intersection of), przecięcie;
INVERS	(inverse – numbering or clamping), odwrotna numeracja lub zamocowanie;
JUNPTO	(jump to – unconditional jump), skok bezwarunkowy;
LEFT	lewy;
LFT	(left), lewy;
LINE	linia prosta;
LINEAR	liniowo;
LONG	(longitudinal), wzdłużny;
LOOPND	(loop end), koniec pętli programu;
LOOPST	(loop start), początek pętli programu;
MACHDT	(machine tool data), dane charakterystyczne obrabiarki;
MACHIN	(machine), obrabiarka;
MACRO	(subroutine), podprogram;
MATERL	(material), materiał;
MIRROR	(mirror image of point pattern), zwierciadlane odbicie zbioru punktów;
ORIGIN	(origin of workpiece coordinate system), początek układu współrzędnych przedmiotu;
OUT	(outside), na zewnątrz;
OVSIZE	(oversize), naddatek;
PARLEL	(parallel), równoległe;
PART	przedmiot obrabiany;
PARTCO	(finished part contour), zarys przedmiotu obrabianego;
PARTNO	(part number), numer przedmiotu obrabianego;
PATERN	(point pattern), zbiór punktów;
PERPTO	(perpendicular to), prostopadle do;
PITCH	(thread pitch), skok gwintu;

PLAN	(plan surface), płaszczyzna;
POINT	punkt;
PRINT	wydruk;
RADIUS	promień;
RANDOM	(random linking of point patterns), łączenie zbiorów punktów;
RAPID	(rapid traverse feedrate), przesuw szybki;
RE	(reverse), odwrócenie;
REAM	(reaming), rozwiercanie;
REMARK	komentarz;
REV	(revolutions), obroty;
RGT	(right), prawy;
RIGHT	prawy;
ROUGH	zgrubna;
ROUND	zaokrąglenie;
SAFPOS	(safe positions), położenie bezpieczne;
SEMI	(semi-machined), częściowo obrobiony;
SINK	(counter boring), pogłębianie;
SISINK	(core drilling), obróbka rozwiertakiem zdzierakiem krętym;
SMOOTH	gładki;
SO	(single operation), pojedynczy zabieg;
SPEED	(cutting speed), szybkość skrawania;
SPINDLE	(spindle speed), prędkość obrotowa wrzeciona;
SPIRET	(spindle retraction), wycofanie wrzeciona;
SQRT	(square root function), pierwiastek kwadratowy;
STAN	(setting angle), kąt ustawienia narzędzia;
STOP	stop;
SURFIN	(surface finish), chropowatość powierzchni;
TAP	(tapping), gwintowanie;
TAT	(tapping type), rodzaj gwintu;
TERMAC	(termination of macro), koniec podprogramu;
TERMCO	(terminaton of contour), koniec zarysu;
THREAD	(threading), nacinanie gwintu;
TIMES	razy;
TOLPO	(tolerance of position), tolerancja położenia;
TOOL	narzędzie;
TOOLNO	(tool number), numer narzędzia;
TRAFO	(transformation of point pattern), transformacja zbioru punktów;
TRANS	(translate coordinates), przesunięcie współrzędnych przedmiotu;
TRANSL	(translate linearly), przesunięcie liniowe;
TURN	(turning), toczenie;
UNMACH	(unmachined), nieobrobiony, pełny;
WORK	(work call), wywołanie obróbki;
XLARGE	(X large), w kierunku rosnącej wartości X;
XSMALL	(X small), w kierunku malejącej wartości X;
XYROT	(rotation in XY plane), obrót wokół osi Z;
YLARGE	(Y large), w kierunku rosnącej wartości Y;
YSMALL	(Y small), w kierunku malejącej wartości Y;

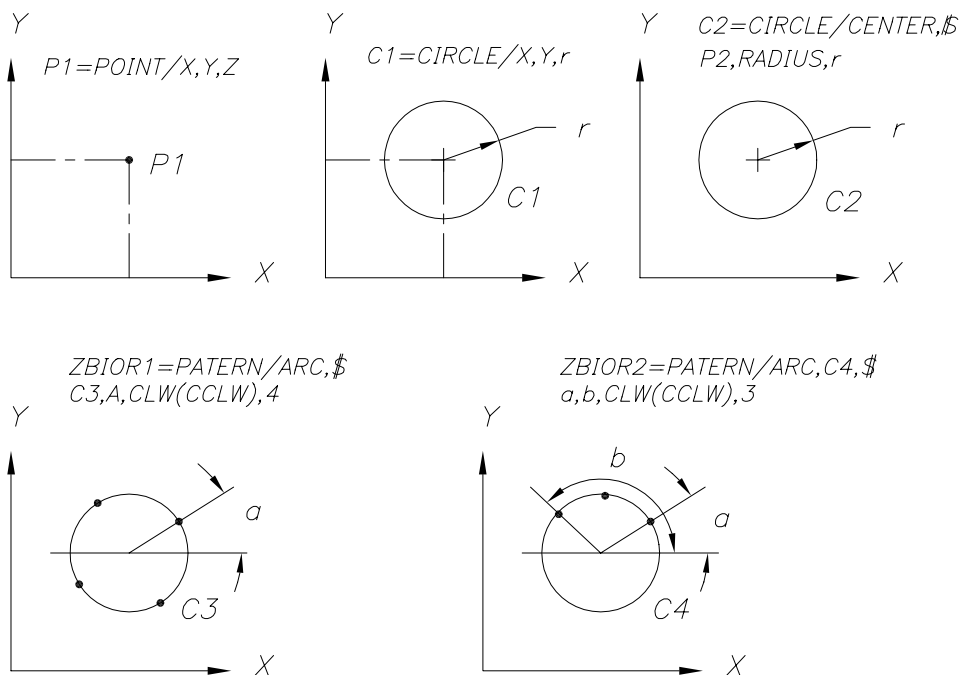
YZROT (rotation in YZ plane), obrót wokół osi X;
 ZSURF (Z-surface), powierzchnia Z;
 ZXROT (rotation in ZX plane), obrót wokół osi Y;

4.3.7. Instrukcje geometryczne w języku EXAPT

Szereg przykładów instrukcji geometrycznych podano na Rys. 84 i Rys. 85.



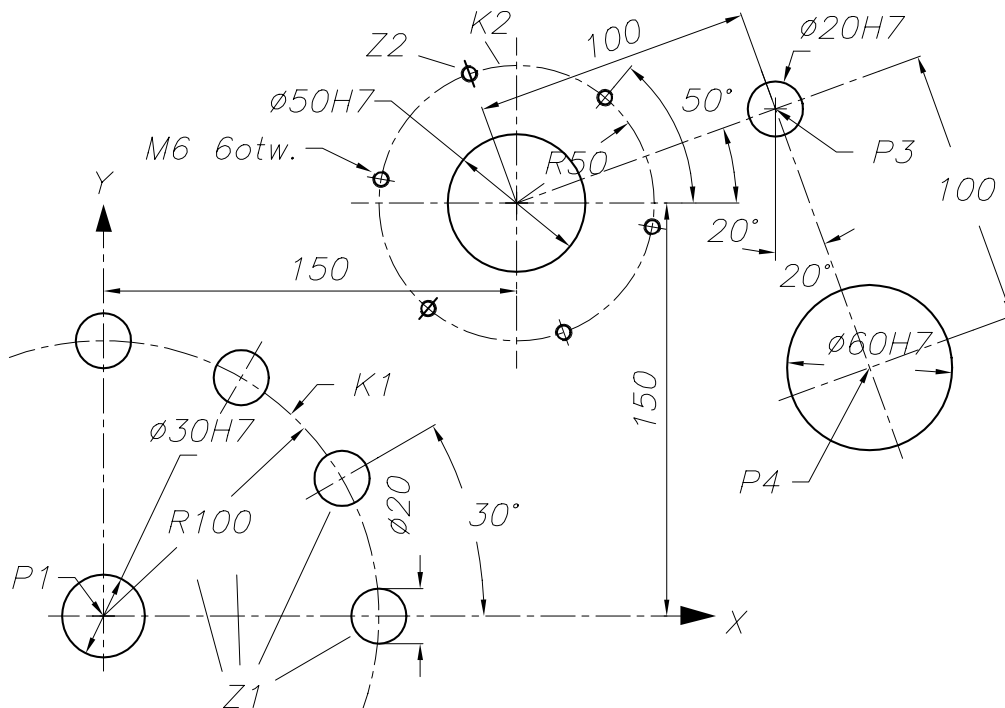
Rys. 84. Instrukcje geometryczne w języku EXAPT



Rys. 85. Instrukcje geometryczne w języku EXAPT

4.3.8. Przykłady programu źródłowego w języku systemu EXAPT 1

- Przykład 1 obejmuje obróbkę układu otworów w ścianie korpusu przekładni zębatej – Rys. 86.



Rys. 86. Układ otworów podlegających obróbce

PARTNO/PRZEKLADNIA

Instrukcja rozpoczynająca program;
REMARK/DANE OGOLNE

Instrukcja po której pisze się łańcuch znaków alfanumerycznych, nie mających wpływu na działanie procesora (komentarz);
MACHIN/PP1

Wywołanie postprocesora;
PART/MATER, 1

Podanie kodu materiałowego;
CLPRINT

Instrukcja drukowania informacji, które wprowadza się do przetwarzania przez postprocesor;

REMARK/DEFINICJE GEOMETRYCZNE
ZSURF/0

Definicja płaszczyzny $Z=0$, na której leżą definiowane otwory geometryczne;
P1=POINT/0,0

Definicja punktu o współrzędnych (0,0);
K1=CIRCLE/0,0,100

Definicja okręgu o środku w punkcie (0,0) i promieniu 100 mm;
Z1=PATTERN/ARC,K1,0,90,CCLW,4

Definicja zbioru punktów (PATTERN), rozmieszczonych na okręgu (ARC) zdefiniowanym jako K1, współrzędna końcowa pierwszego punktu 0°, ostatniego 90°,

liczba punktów 4, rozmieszczone w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (CCLW);

P2=POINT/150,150

Definicja punktu o współrzędnych (150,150);

K2=CIRCLE/CENTER,K2,RADIUS,50

Definicja okręgu o środku w punkcie K2 i promieniu 50;

Z2=PATTERN/ARC,K2,50,CCLW,6

Definicja zbioru punktów rozmieszczonych na okręgu K2, współrzędna pierwszego z nich 50°, kierunek przeciwny do ruchu wskazówek zegara;

P3=POINT/(X3=150+100*cos(20),(Y3=150+100*sin(20))

Definicja punktu przez podanie formuł na obliczenie jego współrzędnych;

P4=POINT/(X3+100*sin(20)),(Y3-100*sin(20))

FROM/0,0,120

Definicja punktu początkowego programu;

REMARK/DEFINICJE TECHNOLOGICZNE

C1=REAM/DIAMET,20,DEPTH,30,TOLPO

Cykl zabiegów obróbki dokładnego otworu: zacentrowanie, wiercenie, rozwiercanie zgrubne, rozwiercanie wykańczające; podaje się tylko średnicę otworu (DIAMET) wynoszącą 30 mm, głębokość (DEPTH) wynoszącą 30 mm; instrukcja TOLPO oznacza zwiększone wymagania stawiane dokładności rozmieszczenia otworów – konieczność zacentrowania przed wierceniem;

C2=DRILL/DIAMET,50,DEPTH,30

Cykl wiercenia przy średnicy otworu $25 \leq D < 55$ dwukrotnie, przy $D \geq 55$ trzykrotnie;

C3=REAM/DIAMET,50,DEPTH,30,TOLPO

C4=TAP/DIAMET,6,DEPTH,30,TAT,1

Cykl gwintowania: wiercenie, pogłębianie, gwintowanie; kod gwintu (TAT), 1 oznacza gwint metryczny;

C5=REAM/DIAMET,20,DEPTH,30,TOLPO

C6=REAM/DIAMET,60,DEPTH,30,TOLPO

REMARK/INSTRUKCJE WYKONAWCZE

CLDIST/2

Położenie wierzchołka narzędzia w momencie przełączania posuwu szybkiego na roboczy 2 mm;

COOLNT/ON

Włączenie chłodziwa;

WORK/C1

Wywołanie cyklu C1;

GOTO/P1

Instrukcja ruchu do punktu P1;

WORK/C2

GOTO/K1

WORK/C3

GOTO/P2

WORK/C4

GOTO/K2

WORK/C5

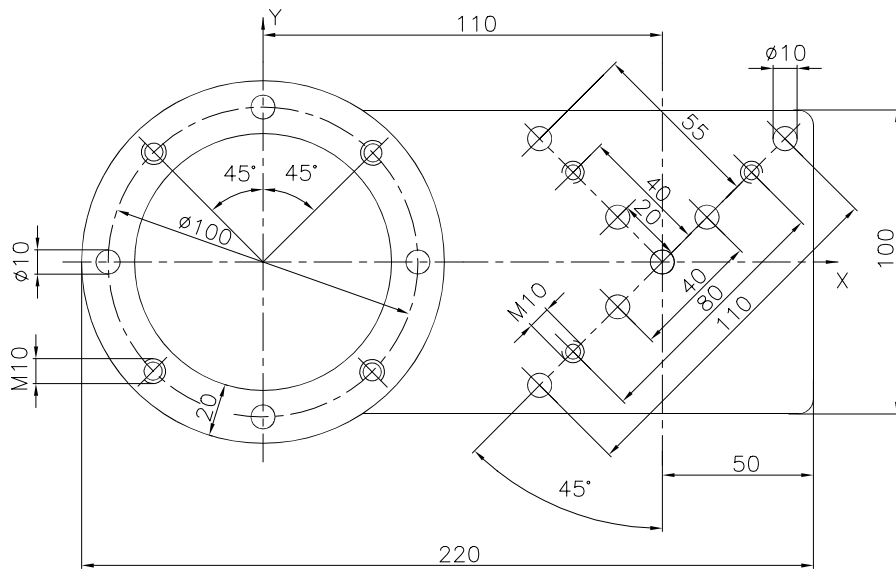
GOTO/P3

WORK/C6

GOTO/P4

FINI

● Przykład 2 – obróbka korpusu (Rys. 87)



Rys. 87. Przykład obrabianego korpusu

PARTNO/KORPUS

PART/MATERL,6

MACHIN/Z 64,1

REMARK/DEFINICJE GEOMETRYCZNE

ZSURF/145

```
C1=CIRCLE/0,0,50
```

ZBIOR1=PATTERN/ARC,C1,0,CLW,8

P1=POINT/(110-38.9),-38.9

ZBIOR2=PATTERN/LINEAR,P1,ATANGL,45,INCR,1,AT,15,4,\$

AT,20,1,AT,15

```
OS=LINE/(POINT/ZBIOR2,4),ATANGL,90
```

FOLGE3=PATTERN/MIRROR,OS,ZBIOR2

REMARK/INSTRUKCJE TECHNOLOGICZNE

W1=DRILL/SO,DIAMET,10,DEPTH,40

GW=TAP/DIAMET,10,DEPTH,25,TAT,1,BLIND,1

CLDIST/O.5

REMARK/INSTRUKCJE WYKONAWCZE

COOLNT/ON

WORK/W1

GOTO/ZBIOR1,RETAIN,1,3,5,7

GOTO/ZBIOR2,OMIT,2,6

GOTO/ZBIOR3,RETAIN,5,7

WORK/GW

GOTO/ZBIOR1,RETAIN,2,4,6,8

GOTO/ZBIOR2,RETAIN,2,6

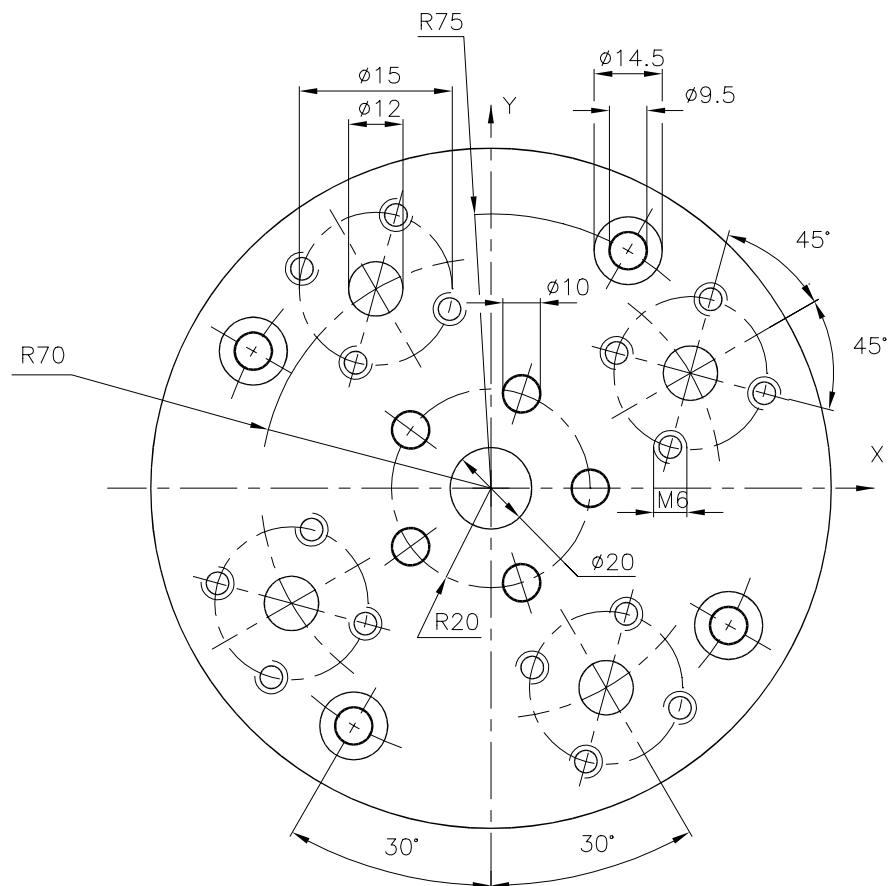
GOTO/ZBIOR3,RETAIN,6

COOLNT/OFF

FINI

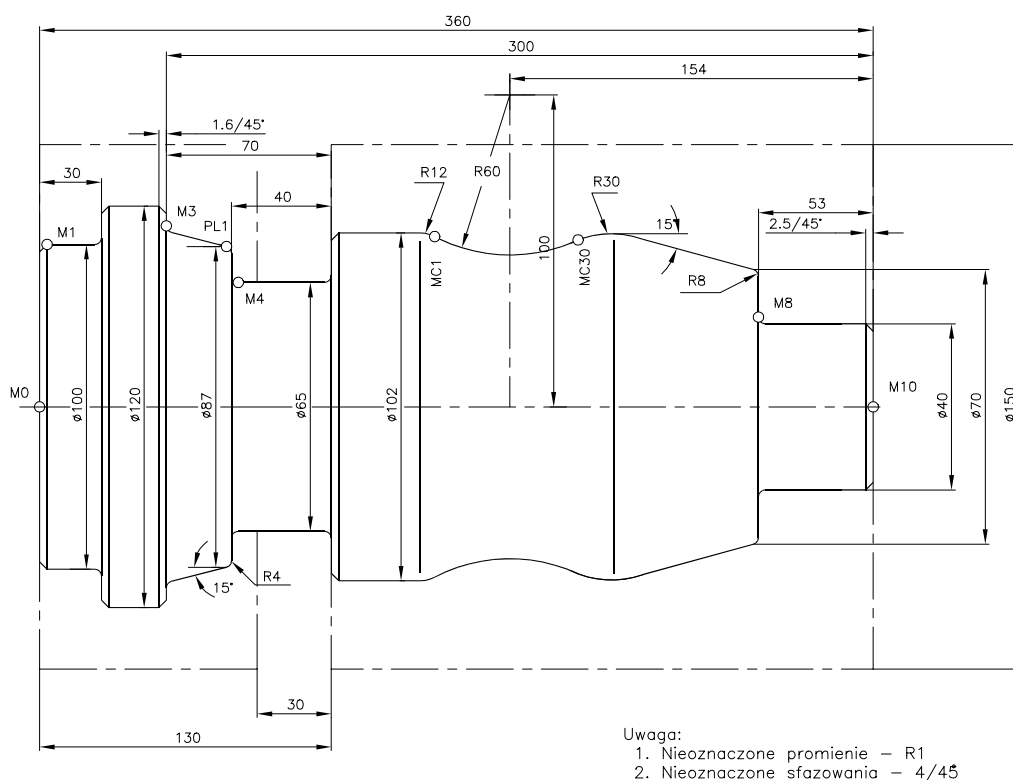
● Przykład 3 – program obróbki tarczy (Rys. 88)

```
PARTNO/TARCZA
MACHIN/PP1
PART/MATERL,1
CLPRNT
REMARK/DEFINICJE GEOMETRYCZNE
TRANS/200,100,50
ZSURF-20
CLDIST/0,0
P0=POINT/O,0
K1=CIRCLE/CENTER,P0,RADIUS,20
K2=CIRCLE/CENTER,P0,RADIUS,70
K3=CIRCLE/CENTER,P0,RADIUS,75
K4=CIRCLE/CENTER,(POINT/(70×COS(30))),(70×SIN(30)))$
RADIUS,15
ZBIOR1=PATTERN/ARC,K1,0,CCLW,5
ZBIOR2=PATTERN/ARC,K2,30,CCLW,4
ZBIOR3=PATTERN/ARC,K3,60,CCLW,4
ZBIOR4=PATTERN/ARC,K4,255,CCLW,4
L1=LINE/P0,ATANGL,75
L2=LINE/P0,ATANGL,-60
ZBIOR5=PATTERN/MIRROR,L1,ZBIOR4
ZBIOR6=PATTERN/MIRROR,L2,ZBIOR4
ZBIOR7=PATTERN/MIRROR,L1,ZBIOR6
REMARK/INSTRUKCJE TECHNOLOGICZNE
NAW=CDRILL/SO,DIAMET,2.5
WIER1=DRILL/DIAMET,20,DEPTH,21
WIER2=DRILL/SO,DIAMET,10,DEPTH,21
WIER3=DRILL/SO,DIAMET,12,DEPTH,21
WIER4=DRILL/SO,DIAMET,9.5,DEPTH,21
POG=SINK/SO,DIAMET,14.5,DEPTH,6
GWINT=TAP/DIAMET,6,DEPTH,21,TAT,1
REMARK/INSTRUKCJE WYKONAWCZE
COOLNT/ON
FROM/-200,-200,100
WORK/NAW,WIER1
GOTO/P0
WORK/WIER2
GOTO/ZBIOR1
WORK/WIER3
GOTO/ZBIOR2
WORK/WIER4,POG
GOTO/ZBIOR3
WORK/GWINT
GOTO/ZBIOR4
GOTO/ZBIOR5
GOTO/ZBIOR6
GOTO/ZBIOR7
FINI
```



Rys. 88. Przykład obrabianej tarczy

● Przykład 4 (Rys. 89) – program obróbki wałka, w języku systemu EXAPT2 [5].



Rys. 89. Przykład obrabianego wałka

PARTNO/
 PPFUN/2
 CLPRNT
 MACHIN/ZEISIG
 MACHIN/EX2PP
 REMARK/OPISANIE PRZYGOTOWKI
 CONTUR/BLANKO
 BEGIN/0,0,YLARGE,PLAN,0
 RGT/DIA,150
 RGT/PLAN,100,ROUND,1
 LFT/DIA,65,ROUND,1
 LFT/PLAN,130
 RGT/DIA,150
 RGT/PLAN,360
 RGT/DIA,0
 TERMCO
 REMARK/OPISANIE PRZEDMIOTU OBROBIONEGO
 SURFIN/FIN
 CONTUR/PWRTCO
 M0,BEGIN/O,O,YLARGE,PLAN,0,BEVEL,4
 M1,RGT/DIA,100,ROUND,1
 LFT/PLAN,30,BEVEL,4
 RGT/DIA,120,BEVEL,1.6
 M3,RGT/PLAN,(360-300),ROUND,1
 A=360-300+70-40
 PL1=POINT/A,(87/2)
 FWD/(LINE/PL1,ATANGL,-15),ROUND,4
 FWD/PLAN,A,ROUND,1
 M4,LFT/DIA,65,ROUND,1,ROUGH
 LFT/PLAN,(A+40),BEVEL,4,ROUGH
 RGT/DIA,102,ROUND,12
 C1=CIRCLE/(360-154),100,60
 L2=LINE/(P53=POINT/(360-53),35),ATANGL,-15
 MC1,MC30,FWD/C1,ROUND,30
 FWD/L2,ROUND,8
 M8,RGT/PLAN,(360-53),ROUND,1
 LFT/DIA,40,BEVEL,2.5
 RGT/PLAN,360,ROUGH
 M10,RGT/DIA,0
 TERMCO
 REMARK/INFORMACJE TECHNOLOGICZNE
 OVSZIE/FIN,1,FINE,.5
 CLDIST/1
 PART/MATERL,203
 OVSZIE/FIN,1
 SAFPOS/200,100
 SCHRUP=TURN/SO,LONG,ROUGH,TOOL,2,12,SETANG,90
 CHUCK/8100001,0,200,13,10,-40
 CLAMP/360,INVERS
 PART/MATERL,203
 CUTLOC/BEFORE
 WORK/SCHRUP
 CUT/M0,TO,M10
 CHUCK/8100001,0,200,13,10,-40

4.4. Układy programowania parametrycznego i komputerowe systemy programowania parametrycznego

Najbardziej efektywną formą automatyzacji programowania OSN są systemy parametrycznego programowania obróbki wybranych klas przedmiotów. Chodzi tu o klasy przedmiotów podobnych pod względem gabarytowym, konstrukcyjnym, technologicznym, użytego oprzyrządowania narzędziowego i pomocniczego.

Powstanie systemu lub programu parametrycznego może być uzasadnione nawet w przypadku objęcia przez niego kilku przedmiotów. Ze względu na specyfikę zakładów produkcyjnych, a co za tym idzie bardzo daleko posuniętą specjalizację powyższych programów, stosowanie ich ogranicza się najczęściej do jednego zakładu. Powyższy fakt bardzo ogranicza powszechność stosowania programowania parametrycznego, że względu na konieczność posiadania dużych umiejętności przez technologów-programistów obrabiarek sterowanych numerycznie. Oprócz umiejętności syntetycznej analizy grup przedmiotów produkowanych w zakładzie, wymagana jest zazwyczaj znajomość programowania mikrokomputerów w zakresie tworzenia baz danych, grafiki komputerowej, programowania wiedzy technologicznej, generowania poprawnych formalnie programów sterujących i oczywiście gruntowna znajomość układów sterowania obrabiarek, dla których system jest przeznaczony.

Programowanie parametryczne może zasadniczo występować w trzech różnych postaciach jako:

- makrocykle parametryczne wykorzystywane przez uniwersalne procesory generujące program źródłowy;
- specjalizowane, komputerowe systemy programowania parametrycznego;
- parametryczne programy sterujące.

Makrocykle parametryczne są to elastyczne procedury, przy pomocy których można automatycznie otrzymać fragment programu lub kompletny program źródłowy, dotyczący obróbki określonych form geometrycznych. Każdą z tych prostych form można opisać kilkoma parametrami, wykorzystując przy tym automatyczne wprowadzanie danych objętych normami branżowymi lub zakładowymi. Dla każdej z tych form istnieje zapamiętany w bazie wiedzy przebieg procesu obróbki oraz jego parametry. Makrocykle stanowią część uniwersalnych systemów komputerowego projektowania operacji na OSN.

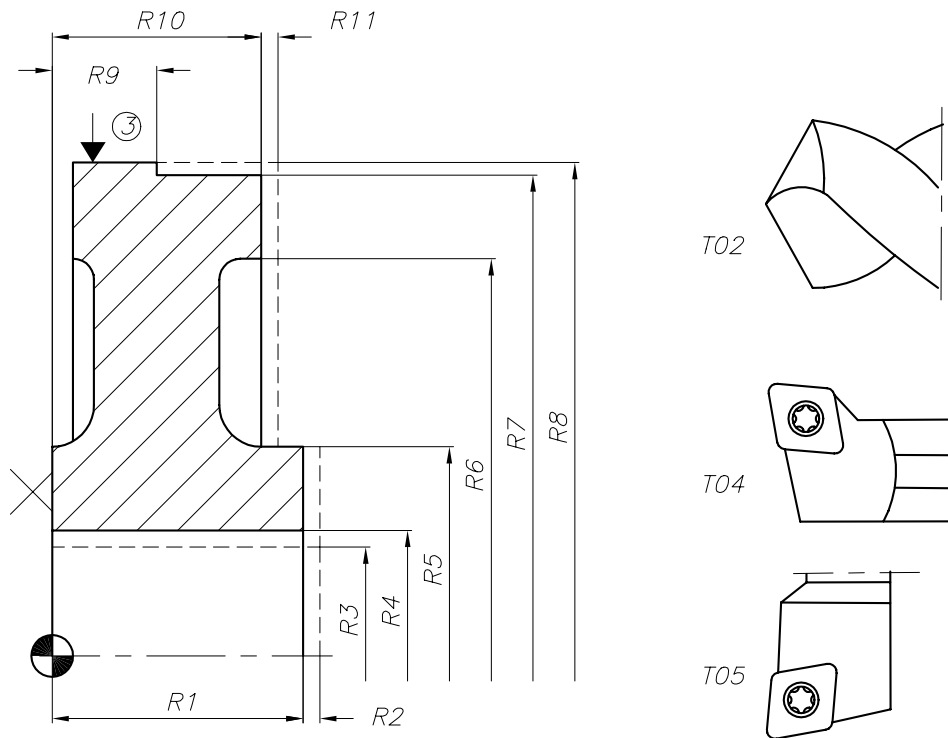
Specjalizowane komputerowe systemy programowania parametrycznego są to programy komputerowe realizujące całość edycji programu źródłowego, a czasami także sterującego (jeśli nie współpracują z systemem uniwersalnym). Ich struktura jest najczęściej modułowa. Z tego też względu dzielimy je na systemy jednolite, w których wszystkie moduły systemu tworzą jeden program komputerowy oraz systemy rozproszone, w których wyróżnia się szereg programów, z których część jest wspólna dla różnych klas części. Struktura tego typu systemów zawiera wiele modułów stałych jak: kartoteka narzędzi, tablice parametrów obróbki, makrocykle parametryczne, blok redagowania programu sterującego czy moduły edycji wyników (perforowanie taśmy

sterującej, wydruk tabulogramu) – identycznych dla różnych grup technologicznych. Dla poszczególnych klas wyrobów zmienne są natomiast moduły: edytor parametrów, baza danych geometrycznych, baza wiedzy technologicznej oraz tablice decyzyjne. Całość rozproszonego systemu modułowego jest powiązana programem zarządzającym, tzw. Masterem, charakterystycznym także dla dużych systemów uniwersalnych jak np. EXAPT.

W grupie systemów specjalizowanych wyróżnia się podgrupę programów komputerowych bezpośrednio generujących program sterujący. Sprowadzają się one praktycznie do zapisania z możliwością archiwizacji, wyrażeń stałych w postaci łańcuchów alfanumerycznych oraz wartości zmiennych w postaci wzorów algebraicznych. Wykorzystuje się przy tym wszystkie atrybuty języków programowania wysokiego poziomu jak: pętle programowe, podprogramy, operacje na łańcuchach alfanumerycznych, itp. Wartości parametryczne we wzorach podawane są bezpośrednio w postaci danych wejściowych lub pośrednio wynikają z tych danych. Dane wejściowe są podawane w postaci wsadowej, konwersacyjnej lub, o ile oprogramowanie na to pozwala (korzystny translator w postaci interpretera), są bezpośrednio zapisywane w programie komputerowym.

Ostatnią grupę stanowią parametryczne programy sterujące, charakterystyczne dla układów sterowania numerycznego nowych generacji (SINUMERIK 810, SINUMERIK 850, NUM750, itp.). Układy te obok możliwości zadawania wartości poszczególnych adresów jako parametry, pozwalają również wykonywać operacje na tych parametrach oraz wartościach stałych, zarówno algebraiczne jak i logiczne. Parametry mogą być deklarowane lub obliczane zarówno w samym programie sterującym jak i na zewnątrz z pulpitu układu sterowania, modyfikując tablice parametrów. Możliwości skoku bezwarunkowego i warunkowego, w połączeniu z możliwościami używania podprogramów, umieszczonych równolegle w pamięci systemu, tworzą bardzo bogaty wachlarz możliwości programowania parametrycznego obróbki złożonych form geometrycznych.

Należy podkreślić wyraźną tendencję, dostrzegalną od początku lat 80-tych, a powodującą zacieranie się różnic pomiędzy programowaniem przy pomocy komputera a programowaniem bezpośrednio w układzie CNC. Poniżej przedstawiono przykład programu sterującego dla obróbki klasy przedmiotów typu „otoczka koła zębatego” – Rys. 90. Program jest napisany w układzie sterowania SINUMERIK 810T.



Rys. 90. Przykład obróbki tokarskiej rodziny kół zębanych

Program sterujący:

```
%MPF111
N005 R1=60 R2=3 R9=25 R10=55 R11=3
N010 R3=55 R4=60 R5=90 R6=140
R7=160 R8=166
N015 R12=25 R0=0 R14=R1+R2+2
N020 G0 G95 M4 @121 R3 R0 K70
N050 R13=5600/R12 S=R13 T2 D2 M3
N055 X0 Z=R14
N060 R15=-0.28*R12-2 G1 Z=R15 F0.15 M8
N065 G0 Z300
N070 G96 X=R4 Z=R14 S80 T4 D4 M4
N075 G1 Z-1 F0.25 M8
N080 R16=R4-1 G0 X=R16 Z=R1
N085 R17=R5+4 G1 X=R17 F0.3
N090 G0 Z300
N095 X300 M5
N100 R18=R8+2 X=R18 Z=R10 S120 T5 D5 M4
N105 R19=R6-4 G1 X=R19 F0.3 M8
N110 R20=R10+1 G0 X=R17 Z=R20
N115 G1 Z=R9 F0.35
N120 G0 X300 Z300
N125 T0 D0
N130 M2
```

Bloki programu 5 i 10 zawierają deklaracje parametrów geometrycznych zgodnie z Rys. 90 dla przykładowego przedmiotu. Blok nr 15 zawiera określenie średnicy użytego wiertła (jeśli występuje wiercenie) oraz zadeklarowanie zera pod parametrem R0, konieczne dla przeprowadzenia porównania w bloku decyzyjnym (istnieje możliwość porównywania parametrów a nie stałych). Parametr R14, określa położenie płaszczyzny bezpiecznej dla wiertła i wytaczarka (2 mm przed materiałem). Blok nr 20 zawiera określenia: rodzaju ruchu (G0 – ruch szybki), rodzaju posuwu i obrotów wrzeciona (G95 – posuw w mm/min, obroty w obr/min), kierunku obrotów – M4.

Pod blokiem 20 znajduje się blok decyzyjny wykorzystujący tzw. język kodowy CL800. Kod 121 oznacza warunek równości względem parametrów R3 i R0. Jak wiadomo $R0=0$, dlatego jest on prawdziwy gdy R3 także równa się 0 co oznacza, że średnica wewnętrzna odkuwki wynosi 0, a więc surówka otoczki jest nierdzieniowana. Stąd wniosek, że jest wymagane wiercenie otworu. Tak też działa program, który wykonuje w przypadku spełnienia warunku w bloku decyzyjnym blok 50 i dalsze, natomiast w przypadku niespełnienia warunku sterowanie jest przekazywane do bloku 70, o czym decyduje adres K70.

Bloki 50÷65 odnoszą się do wiercenia otworu w odkuwce. Parametr R13 określa obroty wrzeciona, adresy T2 i D2 powodują odpowiednio obrót głowicy narzędziowej na pozycję roboczą nr 2 i uaktywnienie kompensacji wymiarów narzędzia (w tym przypadku jedynie długości wiertła) dla narzędzia nr 2. M4 zgodnie z zaleceniami ISO uruchamia obroty wrzeciona w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. W następnym bloku (55) wykonywany jest ruch wiertła do osi wrzeciona i do płaszczyzny bezpiecznej (punktem kodowym wiertła jest jego wierzchołek).

Blok 60 zawiera ruch roboczy (G1) wiercenia do pozycji określonej parametrem R15. Wartość $0,28 \times R12$ określa nakrój wiertła, wybieg wiertła wynosi 2 mm. Posuw przy wierceniu – 0,15 mm/min (F0.15), M8 – powoduje załączenie pompki chłodziwa. Blok 65 powoduje szybkie (G0) wycofanie wiertła do pozycji Z300. Bloki 70÷95 obejmują wytaczanie otworu wraz z obróbką czoła piasty. G96 decyduje, że S80 oznacza stałą prędkość skrawania 80 m/min. W bloku 70 wykonuje się także obrót głowicy rewolwerowej na pozycję nr 4, po czym następuje ruch do położenia na średnicę R4 oraz do płaszczyzny bezpiecznej w osi Z. Powtórzenie M4 wynika z faktu, że blok nr 50 może zostać pominięty w niektórych przebiegach programu. Blok 75 jest to ruch roboczy z posuwem 0.25 mm/obr przy wybiegu wytaczadła 1 mm. Blok 80 powoduje ruch szybki wytaczaka na pozycję wyjściową dla zabielenia czoła piasty. Obróbka czoła piasty następuje w bloku 85, z wybiegiem narzędzia 2 mm. Powyższy niekorzystny sposób obróbki (obróbka czoła od otworu) został podyktowany kompromisem, gdyż obróbka czoła piasty narzędziem nr 5 byłaby niemożliwa przy wymiarze R10 większym od R1.

Bloki 90 i 95 powodują kolejno wycofanie narzędzia do pozycji zmiany (obrotu głowicy – blok 100) w osi Z i X, plus wyłączenie obrotów wrzeciona z powodu zmiany ich kierunku w bloku następnym. Bloki 100÷120 powodują obróbkę częściową średnicy zewnętrznej koła oraz przetoczenie czoła wieńca koła. Parametr R18 określa średnice bezpiecznego dosunięcia narzędzia. W bloku 100 następuje ustawienie się na wymaganej długości, natomiast w bloku 105 obróbka (toczeniem poprzecznym) czoła wieńca na wymiar R10 z wybiegiem 2 mm. W bloku 110 następuje ustawienie, a w bloku 115 przetoczenie średnicy zewnętrznej koła na wymiar R7 do wymiaru R9 w

osi Z. Blok 120 to szybki odskok narzędzia na pozycję startu. W bloku 125 następuje odwołanie parametrów narzędzia. Funkcja pomocnicza M2 w bloku 130 kończy program.

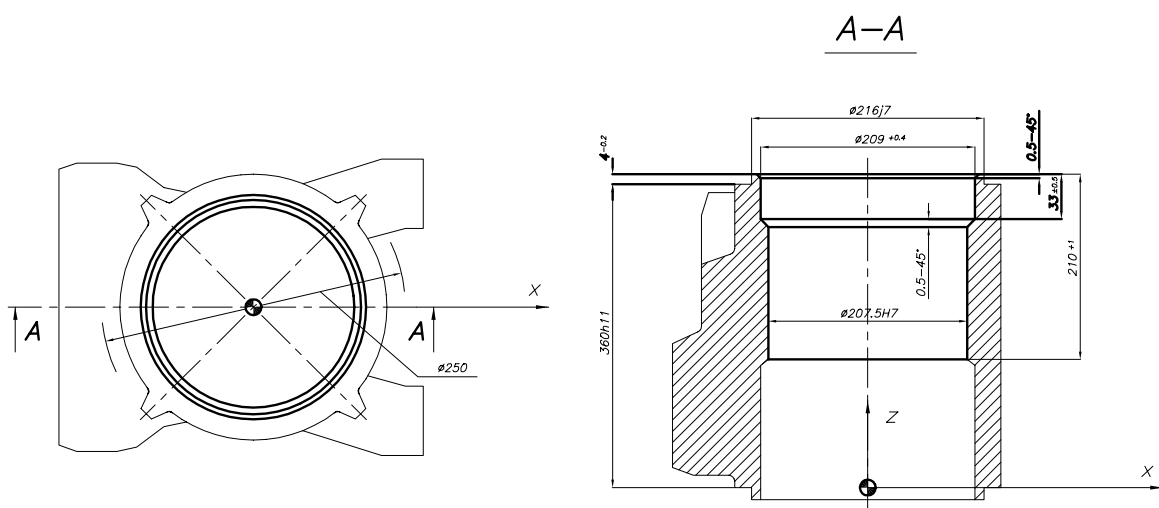
5. Przykłady procesów technologicznych wykonywanych przy pomocy obrabiarek sterowanych numerycznie

W rozdziale tym przedstawiono 6 przykładów procesów technologicznych dla części typu: wałek, tuleja, tarcza, korpus silnika elektrycznego, dźwigni i dla korpusu skrzynkowego, będących typowymi przedstawicielami swoich grup technologicznych. Zamieszczono rysunki wykonawcze przedmiotów, ramowe procesy technologiczne, pełną dokumentację programową wraz z opisem programu sterującego oraz szkice operacji wykonywanych na obrabiarkach sterowanych numerycznie. Wszystkie zamieszczone przykłady są procesami rzeczywistymi, realizowanymi w zakładach przemysłu maszynowego.

5.1. Proces technologiczny dla części typu korpus silnika

Przebieg procesu technologicznego korpusu przedstawionego na Rys. 91 zawarto w

Tabl. 5.

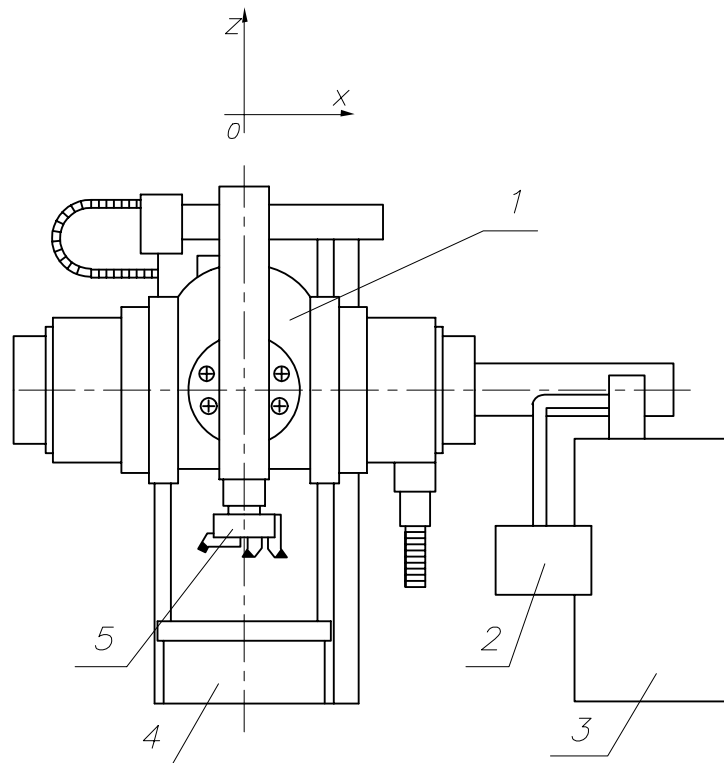


Rys. 91. Korpus silnika – rysunek do przykładu procesu technologicznego

Tabl. 5. Wyciąg z planu operacji korpusu silnika (Rys. 91)

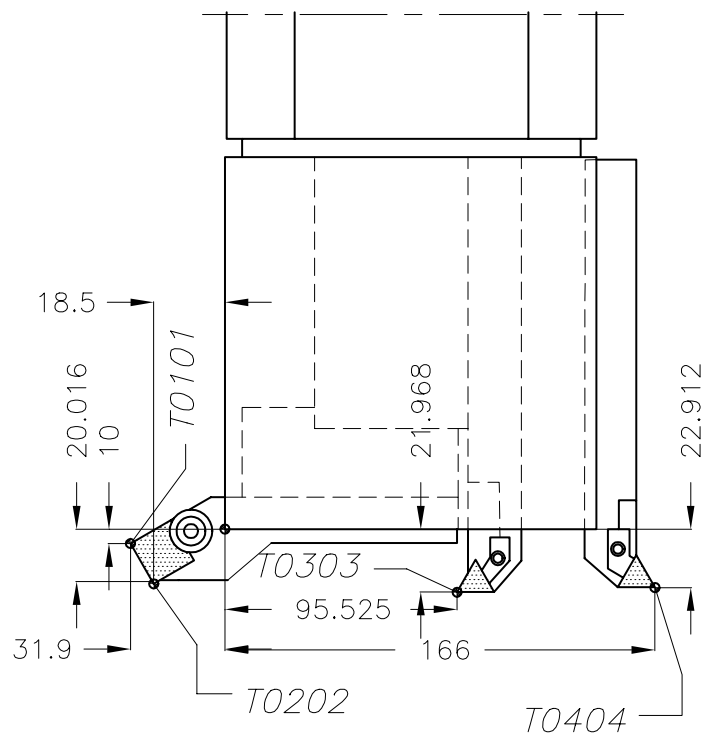
Stanowisko	Treść operacji
hartownia	wyżarzanie odpężające
tokarka	toczenie czoła nadlewków i pierwszego zamka zgrubnie
tokarka karuzelowa NC	wykonać wg programu 1301/KNA
frezarka	frezowanie łap zgrubnie
frezarka	frezowanie łap na gotowo
frezarka	frezowanie pod nośnik
frezarka	frezowanie powierzchni skrajnej
wiertarka	wiercenie pod tarczę i 2 otworów pod nośnik
wiertarka	wiercenie pozostałych otworów
wiertarka	pogłębianie pod pokrywę i ucho
wiertarka	gwintowanie otworów
myjnia	mycie, czyszczenie
malarnia	gruntowanie, malowanie
kontrola	kontrola ostateczna

Korpus podlega obróbce na tokarce karuzelowej KNA 110 sterowanej numerycznie układem NUMERIC CNC-H645, której szkic przedstawiono na Rys. 93. Główne zespoły tokarki karuzelowej to: zespół główny (1) posiadający możliwość przesuwu w dwóch osiach (poziomej X oraz pionowej Z), podwieszony pulpit sterowniczy (2), szafa sterownicza wraz z układem dopasowującym (3), stół obrotowy (4) oraz głowica narzędziowa (5). Przedmioty do obróbki mocowane są na stole obrotowym po uprzednim ich ustaleniu na powierzchniach bazowych, wykonanych na tokarce uchwytovej.



Rys. 93. Schemat tokarki karuzelowej sterowanej numerycznie KNA 100

Sposób ustawienia narzędzi skrawających (noży tokarskich), biorących udział w procesie obróbki na tokarce karuzelowej w stosunku do punktu kodowego głowicy narzędziowej oraz sposób ich oznaczania pokazuje Rys. 94.



Rys. 94. Blok narzędziowy tokarki karuzelowej

5.1.1. Program obróbki korpusu silnika

%MPF1301

– początek programu nr 1301;

N10 G36 G90 G60 X Z S70 T01 M41 M4

– G36 – umieszczenie początku układu współrzędnych w punkcie startu, określonym przez wartości X i Z (wprowadzane przez operatora z klawiatury pulpitu sterowniczego); G90 – deklarowanie programowania absolutnego; G60 – pozycjonowanie dokładne; M41 – wybór zakresu prędkości obrotowej stołu z zamocowanym przedmiotem obrabianym 50÷315 obr/min; S70 – obroty stołu 70 obr/min; M4 – kierunek obrotów przeciwny do ruchu wskazówek zegara; przywołanie narzędzia T01;

N15 G27 G0 X-208

– G27 – deklarowanie programowania średnicy w osi X; G0 – ruch szybki w osi X do X=-208 mm;

N20 Z374

– ruch szybki w osi Z do Z=374 mm;

N25 G1 Z360 F35

– ruch roboczy narzędzia W osi Z do Z=360 mm z posuwem F=35 mm/min; toczenie otworu dla dokonania pomiaru;

N30 G0 X-207

– ruch szybki narzędzia w osi X na średnicę 207 mm;

N35 Z420

– wycofanie narzędzia do Z=420 mm;

N40 X800 M0

– odskok narzędzia od materiału na średnicę 800 mm; stop programu w celu sprawdzenia wymiaru średnicy otworu 208 mm;

N45 G60 X-210.2

– dosunięcie narzędzia na średnicę 210.2 mm z dokładnym pozycjonowaniem;

N50 Z374 M4

– ruch szybki narzędzia do Z=374 mm; włączenie obrotów stołu;

N55 G1 Z364 F35

– ruch roboczy do Z=364 mm z posuwem 35 mm/min – wykonanie fazy 0.5/45° w otworze wejściowym (otwór o średnicy 209 mm);

N60 X-209.2

– ruch roboczy narzędzia w osi X na średnicę 209.2;

N65 Z331

– ruch roboczy narzędzia w osi Z do Z=331 mm – wytaczanie zgrubne otworu wejściowego z naddatkiem 3.1 mm na stronę;

N70 X-206.5

– ruch roboczy narzędzia w osi X na średnicę 206.6;

N75 Z150

– ruch roboczy do Z=150 – wytaczanie zgrubne otworu środkowego (otwór o średnicy 207.5H7), z naddatkiem 1.25 mm na stronę;

N80 G0 X-205.5

– odskok narzędzia ruchem szybkim w osi X na średnicę 205.5 mm;

N85 Z420

– odskok narzędzia ruchem szybkim z materiału na Z=420;

N90 T0202 M3

- przywołanie narzędzia nr 2 i załączenie obrotów w kierunku zgodnym do ruchu wskazówek zegara;
- N95 X232
 - ruch szybki na średnicę 232 mm;
- N100 Z370
 - ruch szybki w osi Z do Z=370;
- N110 G1 Z366 F18
 - ruch roboczy narzędzia do Z=366 z posuwem 18 mm/min;
- N115 X209
 - ruch roboczy do ϕ 209 mm – toczenie czoła zamka zgrubnie;
- N120 G0 Z368
 - odskok narzędzia ruchem szybkim w osi Z o wartość 2 mm nad materiał;
- N125 X260
 - ruch szybki na średnicę 260;
- N130 G1 Z360.3 F80
 - ruch roboczy do Z=360.3 z posuwem 80 mm/min;
- N135 X226 F18
 - ruch roboczy do średnicy 226 z posuwem 18 mm/min – toczenie czoła nadlewków na gotowo;
- N140 G0 Z363.6
 - odskok narzędzia ruchem szybkim w osi Z o wartość 3.3 mm do czoła poprzednio toczonych nadlewków;
- N145 G1 X208 F18
 - ruch roboczy narzędzia w osi X (w kierunku przeciwnym) na średnicę 208 mm z posuwem 18 mm/min – toczenie czoła zamka;
- N150 G0 Z375
 - odskok narzędzia ruchem szybkim od materiału w osi Z do Z=375 mm;
- N155 T0303 S90
 - przywołanie narzędzia nr 3; obroty stołu – 90 obr/min;
- N160 X219 Z367
 - ruch szybki narzędzia do punktu o współrzędnych: X=109.5 (na średnicy 219 mm), Z=367 mm;
- N162 G1 Z360.8 F18
 - ruch roboczy narzędzia w osi Z do Z=360.8 z posuwem 18 mm/min;
- N165 Z360.3 F5
 - ruch roboczy narzędzia w osi Z z posuwem F=5 mm/min, toczenie zgrubne zamka;
- N170 G0 X220 Z365
 - odskok narzędzia ruchem szybkim od materiału do punktu (110,365);
- N175 X212.5
 - ruch szybki na średnicę 212.5;
- N180 G1 X216.3 Z363.1 F18
 - ruch roboczy narzędzia w osi Z do Z=363.1 mm z równoczesnym ruchem w osi X na średnicę 216.3 mm z posuwem 18 mm/min – wykonanie fazy 0.5/45°;
- N185 Z360.3
 - ruch roboczy narzędzia do Z=360.3 mm;
- N190 G0 Z390 X800 M0
 - odskok narzędzia od materiału ruchem szybkim na średnicę 800 mm i Z=390 mm, stop programu, sprawdzenie wymiaru średnicy 216.3 mm;

N195 X216

– ruch szybki narzędzia w osi X na średnicę 216 mm;

N200 Z366 M3

– ruch szybki do Z=366 mm, załączenie obrotów stołu;

N202 G1 Z 360.3

– ruch roboczy narzędzia w osi Z do Z=360.3 mm – toczenie zamka na średnicy 216 mm na gotowo;

N205 Z360.2 F3

– ruch roboczy do Z=360.2 z posuwem 3 mm/min;

N210 X255 F60

– ruch roboczy narzędzia na średnicę 255 mm – toczenie czoła nadlewków;

N215 G0 Z390

– ruch szybki do Z=390 (wycofanie z materiału);

N220 T0404

– przywołanie narzędzia nr 4;

N225 G0 Z385

– ruch szybki do Z=385;

N230 X207.3

– ruch szybki na średnicę 207.3;

N235 Z333

– ruch szybki do Z=333;

N240 G1 Z320 F35

– ruch roboczy do Z=320 z posuwem 35 mm/min – toczenie otworu środkowego na średnicę 207.3 mm dla sprawdzenia wymiaru;

N245 G0 X206

– odskok narzędzia na średnicę 206 mm;

N250 Z380

– wycofanie narzędzia ruchem szybkim z materiału na Z=380 mm;

N255 X800 M0

– ruch szybki na średnicę 800 mm, stop programu, sprawdzenie wymiaru średnicy 207.3;

N260 X207.52

– ruch szybki narzędzia w osi X na średnicę 207.52;

N265 Z333 M3

– ruch szybki do Z=333, załączenie obrotów stołu;

N270 G1 Z152

– ruch roboczy do Z=152 mm – wytaczanie otworu środkowego (otwór o średnicy 207.5H7) na gotowo;

N275 G0 X206

– odskok narzędzia ruchem szybkim od materiału na średnicę 206 mm;

N280 Z400

– wycofanie narzędzia ruchem szybkim z materiału w osi Z do Z=400 mm;

N285 T0000 X650

– odwołanie narzędzia, ruch szybki narzędzia na średnicę 650 mm;

N290 G36 X Z

– powrót narzędzia na pozycję startu;

N295 M2

– koniec programu;

T01/31.900/10.000/0.8/3

T02/18.500/23.016/0.8/3

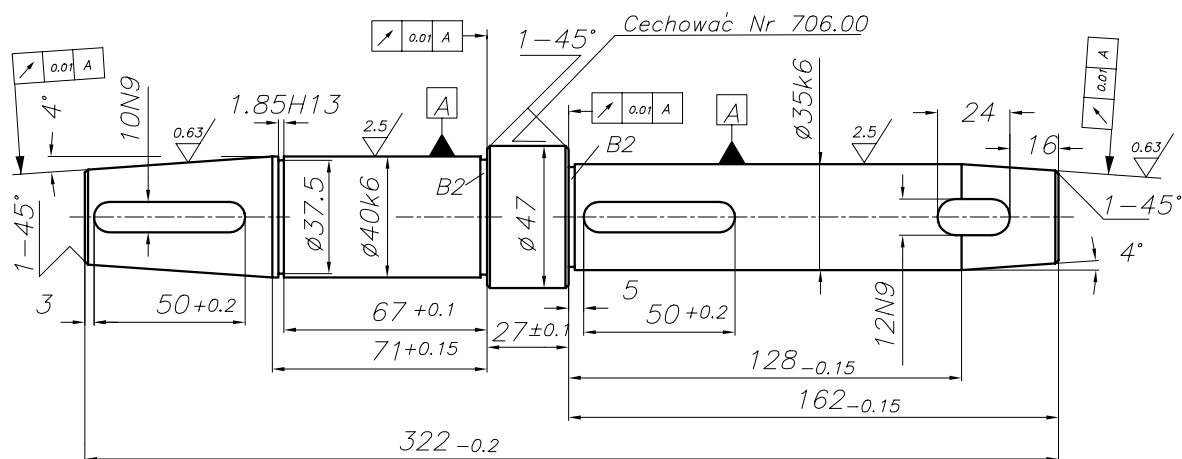
T03/-95.525/21.968/0.8/3

T04/-166.000/22.912/1.2/3

– w ostatnich czterech blokach zamieszczony jest wykaz narzędzi; pierwsza pozycja określa numer narzędzia, druga – odległość punktu kodowego narzędzia od punktu kodowego głowicy narzędziowej w osi X; trzecia – odległość punktu kodowego narzędzia od punktu kodowego głowicy w osi Z; czwarta pozycja określa promień zaokrąglenia wierzchołka noża tokarskiego; piąta – numer ćwiartki układu odniesienia (położenie ostrza noża).

5.2. *Proces technologiczny dla części typu wałek*

Tabl. 7 zawiera przebieg procesu technologicznego dla wałka przedstawionego na Rys. 95.



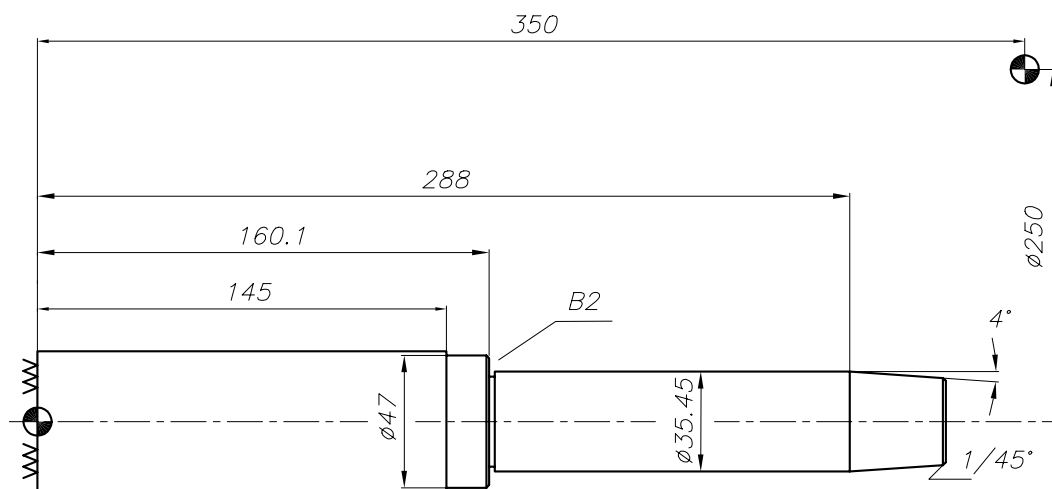
Rys. 95. Wałek – rysunek do przykładu procesu technologicznego

Tabl. 7. Wyciąg z planu operacji wałka (Rys. 95)

Stanowisko	Treść operacji
piła	ciąć pręt $\phi 50$ na wymiar 326
hartownia	ulepszać cieplnie 28÷32 HRC
śrutownica	śrutować
prostowanie	prostować do ± 0.5
tokarka	mocować w uchwycie planować czoło nakiełkować przemocować planować na wymiar $322^{-0.2}$ nakiełkować
tokarka SN	toczyć wg programu 76,77/PN315
szlifierka	mocować w kłach szlifować wstępnie $\phi 35.2^{+0.03}$ przemocować szlifować wstępnie $\phi 40.2^{+0.03}$
frezarka do rowków	mocować w imadle pryzmowym frezować rowek wpustowy 10N9 przemocować frezować rowek wpustowy 10N9 i 12N9 (uwzględnić naddatek na szlifowanie)
ślusarnia	opiłować krawędzie kanałów wpustowych cechować elektrografem nr części wg rysunku
hartownia	hartować indukcyjnie stożki $\phi 35$ i $\phi 40$ wg rysunku
prostowanie	prostować do 0.03 mm
szlifierka	mocować w kłach szlifować $\phi 35K6$ i zabielić czoło przy $\phi 47$ utrzymując wymiar $162^{-0.15}$
myjnia	myć w myjni
kontrola	kontrola ostateczna
konserwacja	konserwować

5.2.1. Program obróbki 76/PN-315 (ustawienie I)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 96:



Rys. 96. Obróbka wałka, ustawienie I

```
PROGRAM 76/PN-315
TGC/8RM 706.00
%
MOCOWANIE 1
POZYCJA BAZY : X 250, Z 350
%
N2 G96 S140 M04 M40
N3 G50 X15400 Z32700
N4 G04 U400 T0303
N5 G00 Z32400
N6 X5000
N7 G01 Z14500 F30 M08
N8 G00 X5300
N9 Z32400
N14 X4700
N15 G01 Z14500 F30
N16 G00 X4800
N17 Z32400
N18 X4200
N19 G01 Z16010 F30
N20 G00 X4500
N21 Z32400
N22 X3700
N23 G01 Z16010
N24 G00 X4200
```

```
N25 Z32400
N26 X3200
N27 G01 X3700 Z28800
N28 G00 Z32400
N29 X2400
N30 G01 X3110 Z32050 F15
N31 X3545 Z28800 F30
N32 Z16010
N33 G04 U100
N34 G01 X4400 F20
N35 X4700 Z15900
N36 Z14800 F30
N37 G00 X4900
N38 X15400 Z32700 S80 M09
N39 T0000
N40 G50 X15400 Z32700
N41 G04 U400 T0505
N42 G00 X4000 Z16400
N43 G01 X3440 Z15970 F5 M08
N44 G00 X4000 Z16400 M09
N45 X15400 Z32700
N46 T0000
N47 M30
%
```

5.2.2. Uwagi do programu 76/PN-315

Programy 76/PN-315 i 77/PN-315 zostały zaprogramowane dla układu sterowania numerycznego SINUMERIK-ST. Program 76 jest programem obróbki powierzchni z Rys. 96. W bloku N2 programu następuje deklaracja stałej prędkości skrawania (G96), wynoszącej 140 m/min, załączenie obrotów wrzeciona w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (M04) oraz deklaracja zakresu obrotów wrzeciona (M40).

Blok N3 zawiera określenie położenia punktu kodowego narzędzia – w tym przypadku noża do obróbki zewnętrznej – względem punktu bazowego przedmiotu, zaznaczonego na rysunku. Zastosowany format adresów geometrycznych jest charakterystyczny dla układu sterowania SINUMERIK–5T, który jest już układem starszej generacji. Jest to format bez kropki dziesiętnej, gdzie ostatnia dekada oznacza 0.01 mm. Czyli dla przykładu X15400 i Z32700 oznacza, że punkt kodowy noża znajduje się na średnicy 154 mm oraz jest oddalony od lewego czoła wałka (powierzchnia bazowa) w kierunku osi Z o 327 mm (5 mm przed prawym czołem wałka). Punkt o tych współrzędnych jest więc obowiązującym punktem startu programu, co pociąga za sobą wymóg powtórzenia tego położenia na końcu programu.

Blok N4 dotyczy zmiany narzędzia poprzez obrót głowicy rewolwerowej na pozycję roboczą numer 3. Słowo T0303 oznacza narzędzie numer 03 oraz numer rejestru parametrów długościowych narzędzia nr 03. Powyższe dwie wartości nie muszą się pokrywać, jednak w celu ograniczenia możliwości pomyłki przez operatora obrabiarki, warto taką zasadę stosować, gdy tylko to jest możliwe.

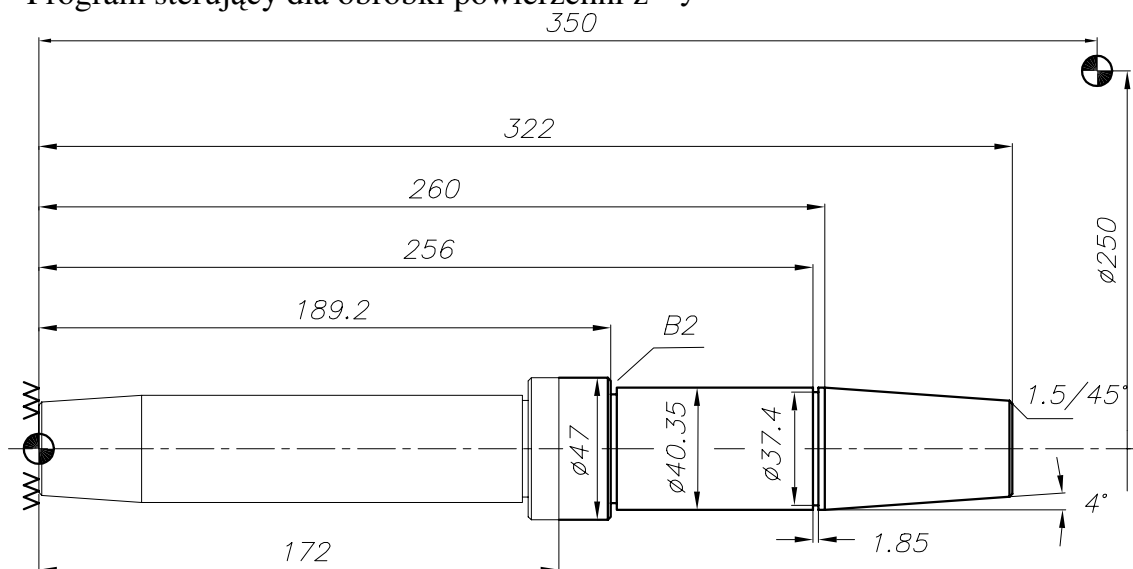
Funkcja przygotowawcza G04 oznacza postój przez czas podany pod adresem U400 (4 sekundy). Jest on konieczny w przypadku obrabiarki PN-315, w celu umożliwienia pełnego obrotu głowicy narzędziowej na wymaganą pozycję roboczą, przed uruchomieniem ruchu w następnym bloku.

W bloku N5 i N6 są zaprogramowane szybkie (G0) ruchy ustawcze, a w bloku N7 rozpoczyna się obróbka z interpolacją liniową (G01), posuwem 0.3 mm/obr (F30), z załączonym płynem obróbkowym (M8). Następuje dwukrotne przetoczenie wałka, kolejno na średnicę $\phi 50$ (skórowanie) oraz $\phi 47$, do długości 145 mm. W blokach N19 i N37 następuje obróbka wałka do średnicy $\phi 37$ i do długości 160.1 mm. Następny ruch roboczy w bloku N27 powoduje przetoczenie wstępne powierzchni stożkowej. Od bloku N30 następuje przejście wykańczające, kolejno: wykonanie fazy (ograniczenie posuwu do 0.15 mm/obr), wykonanie powierzchni stożkowej, toczenie z nadładkiem pod szlifowanie powierzchni walcowej na średnicy 35.45 mm do wymiaru 160.1, obróbka czoła stopnia wałka (N34), wykonanie fazy na średnicy $\phi 47$ oraz krótkie toczenie swobodne po $\phi 47$, w celu zdjęcia zadziórów. W bloku N33 zaprogramowano postój na czas 1 sekundy, w celu dokładnej obróbki czoła.

Bloki 37 i 38 powodują odsunięcie narzędzia na pozycję zmiany, zmianę szybkości skrawania (80 m/min) i wyłączenie pompy płynu obróbkowego (M09). Blok N39 odwołuje (T0000) korektory narzędzia nr 3. W bloku N40 powtórzono deklarację położenia punktu kodowego narzędzia z tym, że odnosi się ona do narzędzia nr 5. Pokrywanie się punktów kodowych świadczy o nieznacznych różnicach (nie przekraczających możliwości rejestrów korekcyjnych) w gabarytach X i Z tych narzędzi. Narzędzie T05 jest nożem kształtowym, służącym do obróbki podcięcia B2. Wykonanie podcięcia następuje w bloku 43, gdzie zaprogramowano współrzędne $\phi 34.4$ (0.3 mm w głąb materiału po szlifowaniu) i Z 159.7 (0.4 mm w głąb materiału). Po wycofaniu narzędzia T05 oraz odwołaniu jego parametrów, następuje w bloku N47 zakończenie programu funkcją pomocniczą M30.

5.2.3. Program obróbki 77/PN-315 (ustawienie II)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 97:



Rys. 97. Obróbka wałka, ustawienie II

PROGRAM 77/PN-315
TGC8/RM 706.00
MOCOWANIE 2
POZYCJA BAZY: X 250. Z 350
%

N2 G96 S140 M04 M40
N3 G50 X15400 Z32500
N4 G04 U400 T0303
N3 G00 Z32400
N6 X5000
N7 G01 Z17200 F30 M08
N8 G00 X5200
N9 Z32400
N10 X4700
N11 G01 Z17200 F33
N12 G00 X4900
N13 Z32400
N14 X4200
N15 G01 Z18920 F30
N16 G00 X4400
N17 Z32400
N18 X3600
N19 G01 X4100 Z26000
N20 G00 Z32400
N21 X2490
N22 G01 X3190 Z32050 F15
N23 X4035 Z26000 F30
N24 Z18920

N25 X4460
N26 X4700 Z18800 F15
N27 Z17200 F25
N28 G00 X4900
N29 X15400 Z32500 S70 M09
N30 T0000
N31 G50 X15400 Z32700
N32 G04 U400 T0505
/N33 G00 X4500 Z19300
/N34 M00
/N35 G00 X15400 Z32700 T0505 M04
N36 G00 X4500 Z19300
N37 G01 X3940 Z18880 F5 M08
N38 G00 X4500 Z19300 M09
N39 X15400 Z32700 S50
N40 T0000
N41 G50 X15400 Z31700
N42 G04 U400 T0707
/N43 G00 X5000 Z25620
/N44 M00
/N45 G00 X15400 Z31700 T0707 M04
N46 G00 X5000 Z25620
N47 G01 X3740 F5 M08
N48 G00 X5000
N49 X15400 Z31700 M09
N50 T0000
N51 M30
%

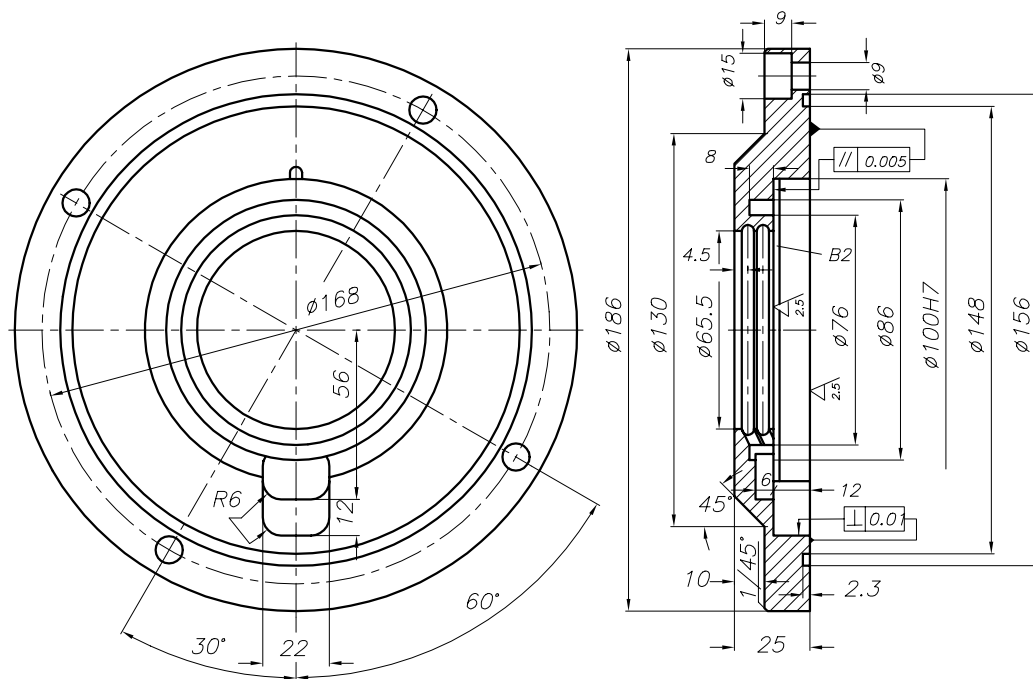
5.2.4. Uwagi do programu 77/PN-315

Program ten jest w swojej pierwszej części podobny do programu poprzedniego. W blokach N7, N11, N15 i N19 jest przeprowadzona obróbka wstępna, od bloku 22 następuje przejście wykańczające na całym obrabianym zarysie. Po zmianie narzędzia w bloku N32 na nóż kształtowy do podcięcia obróbkowego B2, następują 3 bloki warunkowe /N33÷/N35. Służą one do sprawdzenia dokładności ustawienia noża T05. W bloku /N34 funkcja pomocnicza M00 powoduje zatrzymanie się wykonywania programu oraz zatrzymanie obrotów wrzeciona tokarki. Operator może sprawdzić ustawienie noża T05 i skorygować jego parametry korekcyjne. W bloku /N35 następuje powrót na pozycję wymiany narzędzia wraz z powtórzeniem przywołania parametrów narzędzia (T0505), w celu uwzględnienia przez układ ewentualnych zmian. Bloki /N33÷/N35, na żądanie operatora obrabiarki mogą zostać pominięte w kolejnych przebiegach programu. Wykonanie podcięcia B2 następuje w bloku N37. W bloku N42 następuje wymiana narzędzia na nóż do rowka 1.85. Podobnie jak w poprzednim przypadku, można ustawić nóż posługując się blokami warunkowymi /N43÷/N45.

5.3. *Proces technologiczny części typu tarcza*

Tabl. 8. Wyciąg z planu operacji tarczy (Rys. 98)

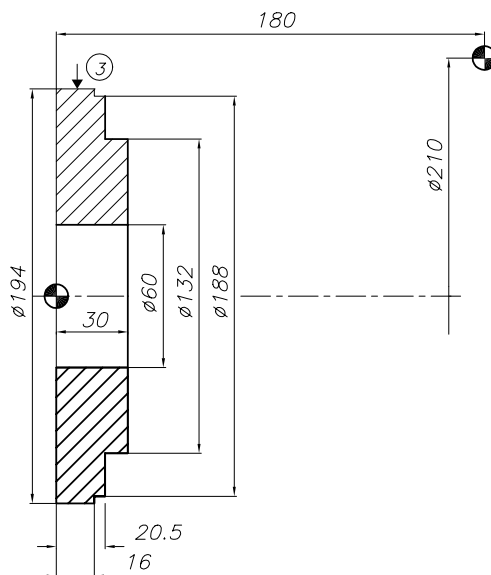
Stanowisko	Treść operacji
hartownia	normalizowanie
śrutownica	śrutowanie
tokarka SN	wykonać wg programu 126, 127, 128
ślusarnia	trasować położenie 2 rowków R6 i 1 rowka R2
frezarka	mocować w uchwycie frezować 1 rowek R2 wg rysunku przemocować frezować rowek R6 szer. 22 do wymiaru 68 frezować rowek R6 szer. 22 do wymiaru 56
ślusarnia	opiłować rowki po frezowaniu
wiertarka	mocować w uchwycie wiercić 4 otwory ϕ^9 pogłębiać 4 otwory na $\phi 15 \times 9^{+0.1}$ przemocować wiercić 6 otworów $\phi 3.5$ fazować otwory 0.3/45°
ślusarnia	cechować nr przedmiotu 16-2
hartownia	czernić chemicznie



Rys. 98. Tarcza – rysunek do przykładu procesu technologicznego

5.3.1. Program obróbki MPF126 (ustawienie I)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 99:



Rys. 99. Obróbka tarczy, ustawienie I

```
%MPF126
N0005 G95 G96 S100 M40 M4
N0010 G0 X205 Z30 T1 D1
N0015 G1 X30 F.25 M8
N0020 G00 X198 Z31
N0025 G1 Z16
N0030 G0 X200 Z31
N0035 X192
```

```
N0040 G1 Z16
N0045 G0 X194 Z31
N0050 X188
N0055 G1 Z16
N0060 G0 X190 Z27
N0065 G1 X132
N0070 G0 X190 Z28
N0075 Z24
```

N0080 G1 X132
N0085 G0 X190 Z25
N0090 Z19.5
N0095 G1 X188
N0100 X186 Z20.5
N0105 X132
N0110 Z29
N0115 X130 Z30
N0116 X125
N0120 G0 X150 Z150
N0130 X45 Z31 S60 T6 D6 M4
N0135 G1 Z-1 F.2 M8
N0140 G0 X43 Z31
N0145 X50
N0150 G1 Z-1
N0155 G0 X48 Z31
N0160 X55

N0165 G1 Z-1
N0170 G0 X53 Z31
N0175 X64
N0180 G1 X60 Z29
N0185 Z-1
N0190 X58
N0195 G0 Z31
N0200 X180 Z100 M5
N0205 T0 D0
N0210 M2

5.3.2. Opis programu MPF126 (ustawienie I)

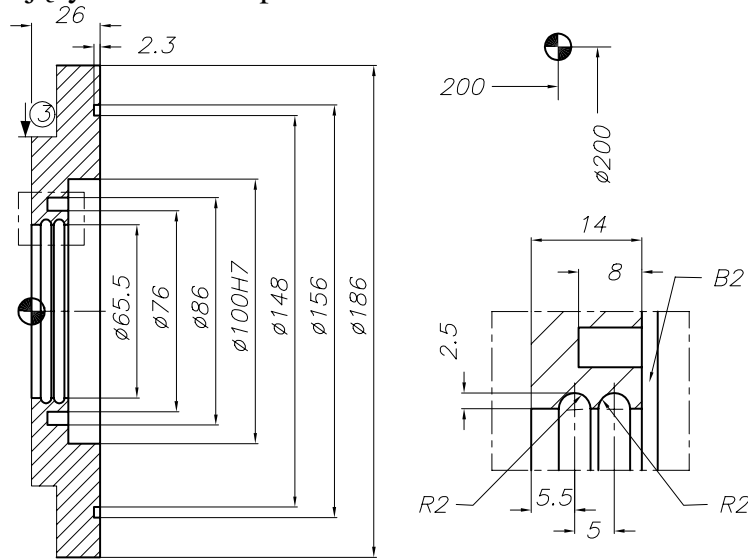
Programy MPF126, MPF127 i MPF128 są przeznaczone do obróbki tarczy przedstawionej na Rys. 98. Zostały one opracowane dla układu sterowania SINUMERIK 810T, będącym jednym z popularniejszych obecnie stosowanych w Polsce, m.in. dla tokarek produkcji AFM Andrychów czy FAT Wrocław.

Program MPF126 zawiera instrukcje obróbki powierzchni z Rys. 99. Wszystkie zabiegi wykonywane w tej operacji mają charakter wstępny, przygotowawczy do obróbki na gotowo w programach MPF127 i MPF128. W bloku N0005 następuje deklaracja zadawania posuwu (G95) w mm/obr, określenie stałej prędkości skrawania (G96), wynoszącej 100 m/min (S100), wybór zakresu obrotów wrzeciona roboczego (M40) oraz załączenie obrotów M4. Wybierając zakres obrotów, programista decyduje się na określone obroty, ograniczając ich wartość maksymalną i minimalną. Blok N0010 zawiera dosunięcie ruchem szybkim (G0) do pozycji X205 (średnica 205 mm) oraz Z30 (współrzędna pozioma Z liczona od punktu bazowego przedmiotu, pokazanego na rysunku). Dosunięcie to nastąpi jednak po zmianie (obrocie głowicy narzędziowej) narzędzia na T1 (nóż do obróbki zewnętrznej). Adres D1 oznacza przywołanie danych korekcyjnych narzędzia (gabaryty: X, Z; promień/ noża, typ noża), znajdujące się w rejestrach o numerze 1. W bloku N0015 rozpoczyna się obróbka (G1), poprzez toczenie poprzeczne tarczy do średnicy $\phi 30$, z posuwem 0.25 mm/obr, z użyciem płynu obróbkowego (M8). W dalszej części programu następuje seria ruchów roboczych (N0025, 40, 55), które powodują przetoczenie ruchem wzdłużnym pierwszego stopnia $\phi 188$, do wymiaru Z16. Bloki N0065, 80, 105 powodują przetoczenie ruchem poprzecznym drugiego stopnia $\phi 132$ do wymiaru Z20.5 oraz wykonanie fazy (N0100) na średnicy $\phi 188$ i na średnicy $\phi 132$ (N0115).

Po zmianie narzędzia (blok N0130) na nóż wytaczak, zmianie szybkości skrawania na 60 m/min, następuje wytoczenie otworu tarczy (surówka jest odkuwką rdzeniowaną) w blokach N0135, 150, 165, 185 na średnicę $\phi 60$ oraz sfazowanie otworu (blok N0180). Po wycofaniu narzędzia w bloku N0200, wyłączeniu obrotów wrzeciona (M5), następuje odwołanie parametrów ostatniego narzędzia (T0D0) oraz zakończenie programu (M2).

5.3.3. Program obróbki MPF127 (ustawienie II)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 100:



Rys. 100. Obróbka tarczy, ustawienie II

%MPF127

N0005 G95 G96 S100 M41 M4

N0010 G00 X205 Z28 T5 D5

N0015 G1 X55 F.25 M8

N0020 G00 X205 Z29

N0025 Z26

N0030 G1 X55

N0035 G0 X198 Z27

N0040 G1 Z10

N0045 G00 X200 Z27

N0050 X192

N0055 G1 Z10

N0060 G0 X194 Z27

N0065 X182

N0070 G1 X186 Z25

N0075 Z10

N0080 G00 X188 Z27

N0085 X150 Z150

N0095 X64 Z27 S70 T6 D6 M4

N0100 G1 Z-1 F.2 M8

N0105 G0 X62 Z27

N0110 X69

N0115 G1 Z14.1

N0120 G0 X67 Z27

N0125 X75

N0130 G1 Z14.1

N0135 G0 X73 Z27

N0140 X80

N0145 G1 Z14.1

N0150 G0 X78 Z27

N0155 X85

N0160 G1 Z14.1

N0165 G0 X83 Z27

N0170 X90

N0175 G1 Z14.1

N0180 G0 X88 Z27

N0185 X95

N0190 G1 Z14.1

N0195 G0 X93 Z27

N0200 X104

N0205 G1 X99.4 Z24.7

N0210 Z14

N0215 X67

N0220 X65.5 Z13.2

N0225 Z-1

N0230 G0 X63 Z27

N0235 X150 Z100

N0245 X100 Z27 S70 T8 D8 M4

N0250 G1 Z14 F.15 M8

N0255 G00 X96 Z27

N0260 X150 Z100

N0265 X148 Z27 S40 T10 D10 M4

N0270 G1 Z23.7 F.1 M8

N0275 G4 X1

N0280 G0 Z150

N0285 X76 Z27 S30 T12 D12 M4

N0300 Z15

N0305 G1 Z6 F.1 M8

N0310 G4 X1

N0315 Z150

N0320 X64 Z27 S35 T2 D2 M4
N0325 Z5.5
N0330 G1 X70.5 F.1 M8
N0335 G4 X1
N0340 G0 X64
N0345 Z10.5
N0350 G1 X70.5
N0355 G4 X1
N0360 G0 X64
N0365 Z150
N0370 X99 Z15 T4 D4 M4
N0375 G1 X100.6 Z13.6 F.1 M8
N0380 G4 X1
N0385 G0 X99 Z15
N0390 Z30
N0395 X100 Z150N0400 T0 D0 M5
N0405 M2

5.3.4. Opis programu MPF127 (ustawienie II)

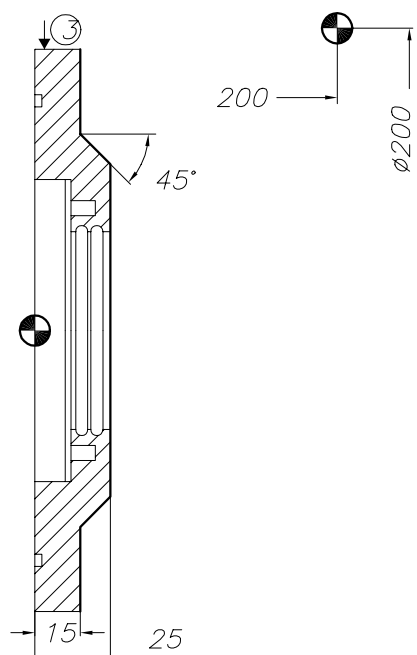
Pierwszy blok programu obok funkcji standardowych G95, G96 i M4 zawiera funkcję pomocniczą M41, określającą zakres obrotów wrzeciona roboczego obrabiarki TAE32. Po zmianie w bloku N010 narzędzia na nóż do obróbki zewnętrznej T5, następuje ruch ustawczy na pozycję $\phi 205$ i Z28, określoną w układzie absolutnym względem bazy technologicznej zaznaczonej na Rys. 100. Ruch roboczy (G1) toczenia poprzecznego do średnicy $\phi 55$ (N0015), zostaje powtórzony w bloku N0030. W ten sposób uzyskuje się szerokość tarczy wynoszącą 26 mm. Następne trzy ruchy robocze (N0040, 55, 75) powodują przetoczenie średnicy tarczy na gotowo ($\phi 186$) oraz (N0070) wykonanie fazy na średnicy $\phi 186$.

Po zmianie narzędzia (N0095) na nóż wytaczak T6 i zmianie prędkości skrawania (S60), następuje przetoczenie otworu tarczy na $\phi 64$ (N0100), z posuwem 0.2 mm/obr, oraz cała sekwencja ruchów (N0115, 130, 145, 160, 175, 190) wytaczania wstępnego (do Z14.1 i $\phi 95$) wybrania $\phi 100H7$. Od bloku N0205 następuje ostatnie przejście nożem T6, kolejno: fazowanie $\phi 100$ (N0205), wytaczanie $\phi 99.4$ do Z14 (0.3 mm naddatku na przejście wykańczające), toczenie poprzeczne czoła (N0215), fazowanie otworu i wytaczanie otworu na $\phi 65.5$ (N0225).

Narzędzie T8 zmienione w bloku N0245, ma jako jedyne zadanie uzyskać wymiar $\phi 100H7$ (N0250). Narzędzie T10 wykonuje rowek wzdłużny o głębokości 2.3 mm i szerokości 4 mm (N0270). Funkcja przygotowawcza G4 oznacza postój czasowy (na pełnej głębokości rowka) o czasie 1 sekundy (X1). Narzędzie T12 jest przeznaczone do wykonywania rowka na głębokość 8 mm i szerokość 5 mm (N0305). Narzędzie T2 wykonuje dwa rowki kształtowe, poprzeczne o głębokości 2.5 mm i szerokości 4 mm (bloki N0330 i N0350). Ostatnie narzędzie T4 jest to nóż wytaczak o kształcie odpowiadającym podcięciu typu B2. Jest ono wykonywane w bloku N0375. Funkcja M2 w bloku N0405 kończy program sterujący.

5.3.5. Program obróbki MPF128 (ustawienie III)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 102:



Rys. 102. Obróbka tarczy, ustawienie III

```
%MPF128
N0005 G95 G96 S120 M41 M4
N0010 G00 X135 Z19 T1 D1
N0015 G1 X121 Z26 F.25 M8
N0020 G0 X188
N0025 Z14
N0030 G1 X186
N0035 X184 Z15
N0040 X130
N0045 X110 Z25
N0050 X60
N0055 G0 X150 Z150
N0060 T0 D0
N0065 X68 Z26 S60 T6 D6
N0070 G1 X64 Z24 F.2 M8
N0075 G0 Z26
N0080 X150 Z100
N0085 T0 D0 M9
N0090 M2
```

5.3.6. Uwagi do programu MPF128 (ustawienie III)

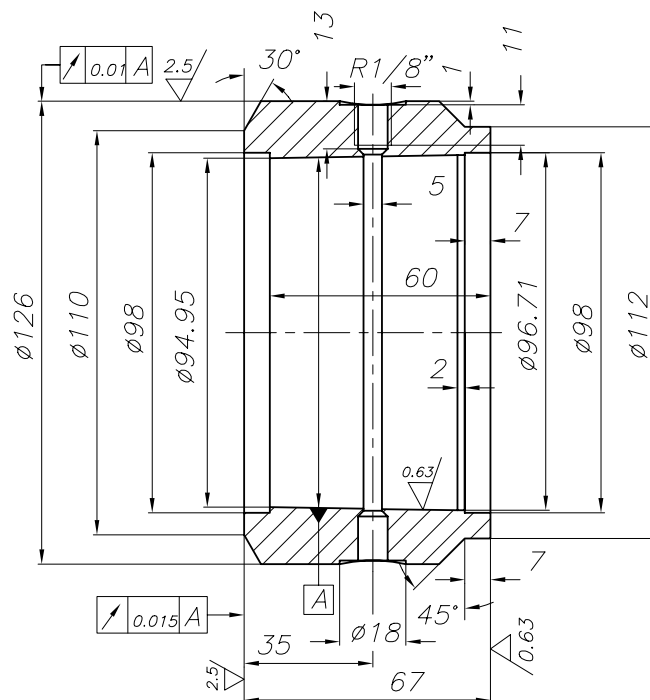
Nóż do obróbki zewnętrznej T1 wykonuje jako pierwszy ruch roboczy zgrubne toczenie powierzchni stożkowej (N0015), Od bloku N0035 następuje (poprzedzone łagodnym zejściem noża w N0030) wykonanie fazy na $\phi 186$, toczenie poprzeczne na wymiar Z15 do $\phi 130$, toczenie powierzchni stożkowej na gotowo (N0045), toczenie

poprzeczne boku tarczy na szerokość 25 mm. Drugi nóż T6 ma za zadanie wykonanie fazy na otworze $\phi 65.5$ (N0085).

5.4. Proces technologiczny dla części typu tuleja

Tabl. 9. Wyciąg z planu operacji dla tulei (Rys. 103)

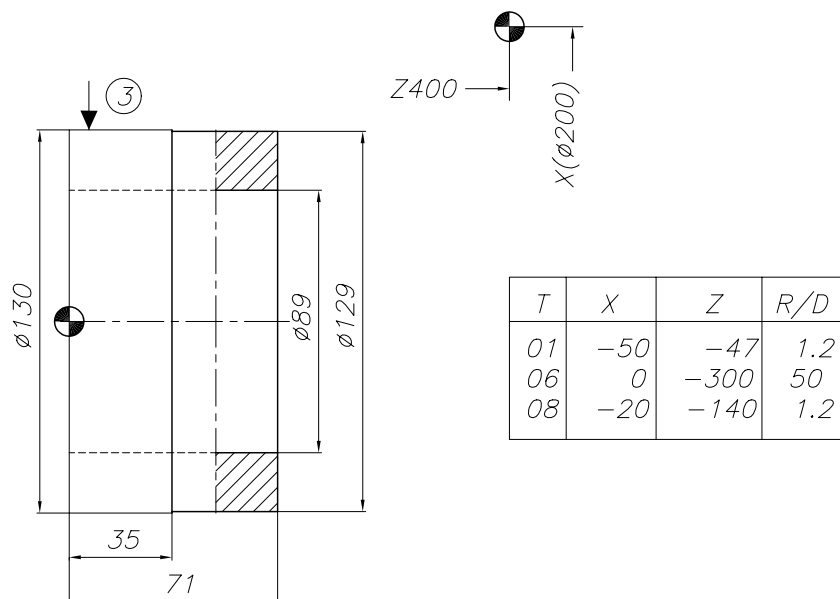
Stanowisko	Treść operacji
piła	ciąć na długość 72 mm
tokarka SN	wykonać wg programów 64,65/TAE
hartownia	wyżarzać odpuszczająco w temp. 450-500°C studzić razem z piecem do temp. 250°C
śrutownica	śrutować
tokarka SN	wykonać wg programu 66,67/TAE
wiertarka	wiercić 2 otwory $\phi 8.5$ pod $R1/8'' \times 15.1$ pogłębiać $\phi 18 \times 1.1$ wiercić 2 otwory $\phi 5$ fazować wiercić, rozwiercać $\phi 3H8$ (zam. H11) fazować nagwintować kilka zwojów $R1/8''$
szlifierka	mocować w uchwycie za $\phi 112$ podeprzeć kłem grzybkowym szlifować $\phi 126^{-0.02}$ utrzymać kołowość wg rysunku
ślusarnia	gwintować 2 otwory $R1/8''$ ogradować od wewnątrz cechować nr części na fazie 30°
szlifierka	mocować w uchwycie centrować dokładnie na $\phi 126$ szlifować stożek $57'17''$ do wym. $94.95^{-0.03}$ uzyskać chropowatość 0.63 bez wzdłużnych śladów obróbki szlifować czoło przemocować, centrować szlifować stożek 5° do wym. 2 wg rysunku zaokrąglić krawędź przejścia powierzchni stożkowej w walcową
szlifierka do płaszczyzn	mocować na stole stroną szlifowaną szlifować drugą stronę na wymiar 67 mm utrzymać równoległość 0.005 (baza technologiczna)
kontrola	kontrola ostateczna
myjnia	myć
konserwacja	konserwować



Rys. 103. Tuleja – rysunek do przy procesu technologicznego

5.4.1. Program obróbki 64/TAE (ustawienie I)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 104:



Rys. 104. Obróbka tulei, ustawienie I

PR. 64 TAE/500
TAE-32N 01/1006-00
MOC.1
POZYCJA BAZY : X=200 Z=400
%%
N001 G95 S035 M04
N002 G00 X1663 Z-28200 T0101
N003 G01 X-27830 F250 M08
N004 X-40300 S045

N005 G00 X6329 Z101
N006 G01 X2710 Z-2710 F200
N007 Z-34300 F300
N008 G00 X150 Z3700
N009 X-1600 Z28100
N010 T0000 M05
N011 X-10000 Z-2700 S017 T0606 M03
N012 G01 Z-89000 F160 M08
N013 G00 Z8900

N014 X10000 Z2700	N029 X-300
N015 T0000	N030 G01 Z-73000
N016 X-10800 Z-18800 S035 T0808 M03	N031 G00 X100 Z7300
N017 G01 Z-73000 F200 M08	N032 X-400
N018 G00 X100 Z7300	N033 G01 Z-73000
N019 X-400	N034 G00 X100 Z7300
N020 G01 Z-73000	N035 X-620
N021 G00 X100 Z7300	N036 G01 X2700 Z-2700
N022 X-400	N037 Z-70300
N023 G01 Z-73000	N038 G00 X150 Z7300
N025 G00 X100 Z7300	N039 X12300 Z18800 M05
N026 X-400	N040 T0000
N027 G01 Z-73000	N041 M30
N028 G00 X100 Z7300	%%%

5.4.2. Opis programu 64/TAE

Program 64/TAE zawiera instrukcje obróbki powierzchni z Rys. 104. Program ten podobnie jak programy 65, 66, 67/TAE, został napisany dla układu sterowania NUMS 322T. Jest to układ sterowania najczęściej spotykany w obrabiarkach eksploatowanych na terenie Polski. Jako układ NC zawiera szereg ograniczeń, z których największe kłopoty sprawia programiście przyrostowe zadawanie przemieszczeń narzędzia względem przedmiotu oraz format wartości tych przemieszczeń (bez kropki dziesiętnej, różny dla różnych funkcji przygotowawczych).

Blok N001 programu zawiera deklarację kodowania posuwu roboczego (G95) w mm/obrót wrzeciona, określenie obrotów wrzeciona 350 obr/min (format adresu S jest sztywny, 3-dekadowy, kodowanie obrotów polega na podzieleniu obliczonych obrotów przez 10 i zaokrągleniu do liczby całkowitej), załączenie obrotów wrzeciona w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (M4). W następnym bloku po zmianie narzędzia (T0101 – oznacza narzędzie nr 1 i numery jego rejestrów korekcyjnych – 1, identycznie jak w układzie SINUMERIK-5T) następuje ruch szybki (G00) o wartości 16.63 mm w osi X (na promieniu) oraz -282 mm w osi Z (w kierunku wrzeciona obrabiarki). W przypadku aktywnej funkcji G00, wartość adresów geometrycznych jest podawana z dokładnością 0.01 mm. Osiągnięta pozycja w bloku N002 względem punktu bazowego przedmiotu wynosi:

$$X=100-50+16.63=66.63,$$

$$Z=400-47-282=71,$$

gdzie: liczby 100 i 400 są współrzędnymi punktu startu;

liczby -50 i -47 są gabarytami narzędzia T1;

liczby 16.63 i 282 są zaprogramowanymi ruchami.

W bloku N003 rozpoczyna się toczenie poprzeczne czoła tulei (G01), a w bloku N004 jego kontynuacja z podwyższonymi obrotami (S045). Ponieważ układ NUMS nie pozwala na programowanie stałej prędkości skrawania, programista musi kontrolować prędkość przy zmianie średnicy obróbki. Posuw przy toczeniu wynosi 0.25 mm/obrót (F250 – ostatnia dekada oznacza 0.01 mm/obrót). W wyniku wykonania bloków N003 i N004 punkt kodowy narzędzia znajdzie się w położeniu:

$$X=66.630-27.830-40.300=-1.5,$$

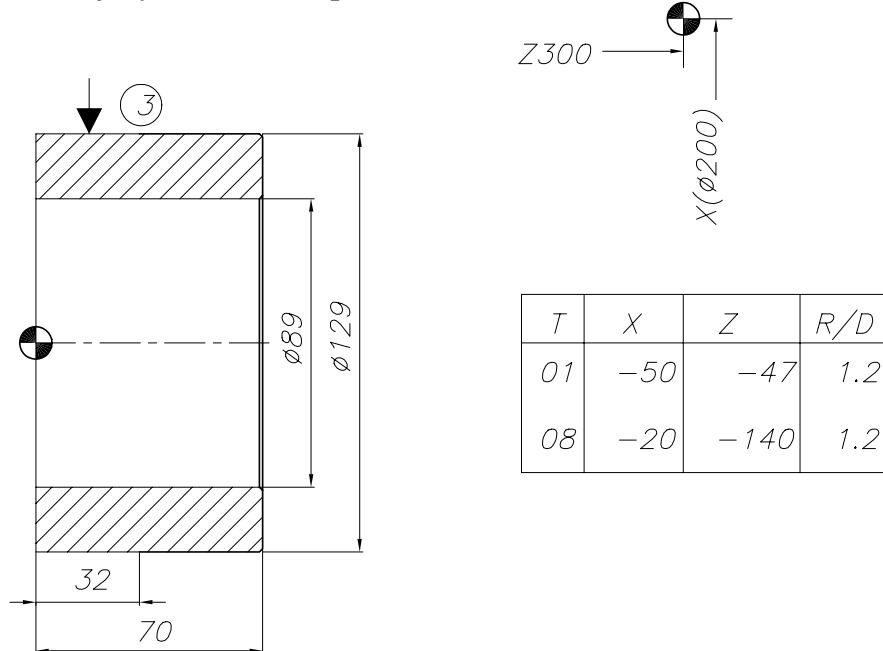
a więc 1.5 mm poniżej osi przedmiotu. W układzie sterowania NUMS, przy aktywnym G01 przemieszczenia geometryczne podaje się z dokładnością do 0.001 mm. Następny

ruch roboczy to wykonanie fazy na średnicy $\phi 129$ mm oraz toczenie wzdłużne $\phi 129$ do wymiaru Z35 mm.

W bloku N010 następuje odwołanie parametrów narzędzia (T0000) oraz wyłączenie obrotów wrzeciona (M05). Po zmianie narzędzia na T6 (wierćło $\phi 50$), następuje dosunięcie do osi wiercenia (N011) i wiercenie tulei przelotowo (N012). Następnym narzędziem jest nóż wytaczak przystosowany do skrawania pod osią wrzeciona. W bloku N017 następuje pierwsze wytaczanie otworu na średnicę $\phi 56$ mm i kolejne w blokach N020, 23, 27, 30, 33, aż do bloku N036, w którym to następuje fazowanie otworu fazą $1.5/45^\circ$ i w bloku N037 wytaczanie na średnicę $\phi 89$. Funkcja pomocnicza M30 kończy program wraz z przewinięciem taśmy na początek programu.

5.4.3. Program obróbki 65/TAE (ustawienie II)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 105:



Rys. 105. Obróbka tulei, ustawienie II

```

PROGRAM 65 TAE 32 / 500
TAE 32 01.1006.00
MOCOWANIE 2.
POZYCJA BAZY :X - 200Z - 300
%%%
N001 G95 S035 M04
N002 G00 X1650 Z-18300 T0101
N003 G01 X-25500 F250 M08
N004 G00 X2115 Z65
N005 G01 X2350 Z-2350
N006 Z-36300
N007 G00 X200 Z3900
N008 X-1650 Z18200 M05
N009 T0000
N010 X-12685 Z-8935 S030 T0808 M03
N011 G01 X2500 Z-2500 F150 M08
N012 G00 X12435 Z9185 M05

```

```

N013 T0000
N014 M30
%%%

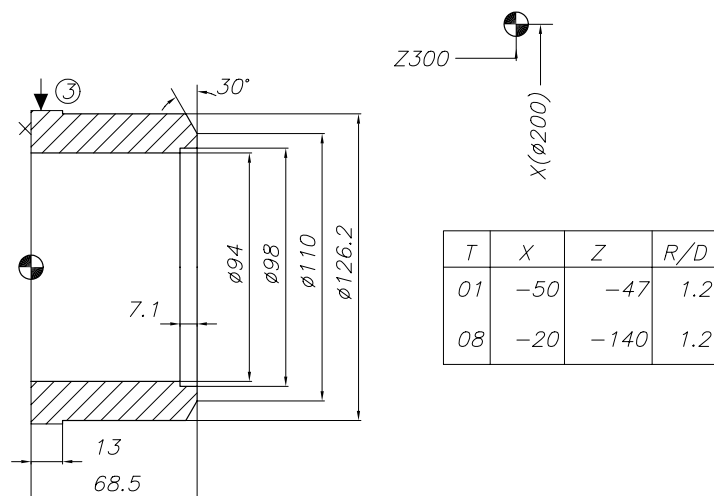
```

5.4.4. Uwagi do programu nr 65/TAE

Program ten zawiera instrukcje obróbki powierzchni z Rys. 105. Narzędzie T1 w pierwszym ruchu roboczym (N003) toczy poprzecznie czoło tulei na wymiar Z70. Następnie w bloku N005 następuje fazowanie ϕ^{129} i w bloku kolejnym toczenie ϕ^{129} do wymiaru Z35. Narzędzie T8 fazuje w bloku N011 otwór $\phi 89$ fazą 1.3/45°.

5.4.5. Program obróbki 66/TAE (ustawienie III)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 106.



Rys. 106. Obróbka tulei, ustawienie III

PR. 66 TAE/500
TAE-32N 01/1006.00
MOC. 3
POZYCJA BAZY : X=200Z=300
%%
N001 G95 S035 M04
N002 G00 X1600 Z-18400 T0101
/N003 G01 X-6000 F200 M08
/N004 G00 X4000 Z23100 M05
/N005 M00
/N006 X-3400 Z-23100 S035 T0101 M04
N007 Z-200
N008 G01 X-4070 F250 M08
N009 X-7000 Z1500
N010 X-19930
N011 G00 X1769 Z69
N012 G01 X10410 Z-5430 F200
N013 Z-50760 F300
N014 G00 X190 Z5550
N015 X-1500 Z18450 M05

N016 T0000
N017 X-12500 Z-9050 S030 T0606 M03
/N018 G01 Z-9500 F200 M08
/N019 G00 X14000 Z24000 M05
/N020 M00
/N021 X-14000 Z-23050 S030 T0606 M03
N030 X-200
N031 G01 Z-70500 F200 M08
N032 G00 X200 Z7050
N033 X-585 Z-35
N034 G01 X1850 Z-1850
N035 Z-5950
N036 X800
N037 X850 Z-850
N038 G00 X35 Z900
N039 X12700 Z9050 M05
N040 T0000
N041 M30

5.4.6. Uwagi do programu 66/TAE

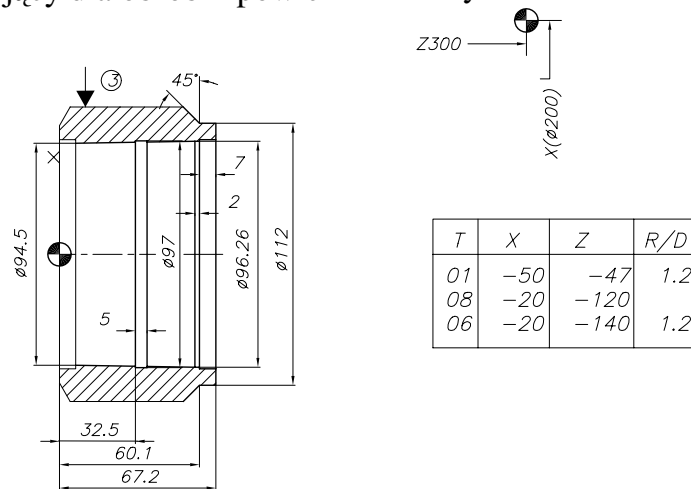
Program 66/TAE zawiera instrukcje obróbki powierzchni z Rys. 106. W pierwszej części (bloki /N003÷N006) program ten zawiera instrukcje tzw. „wcięcia próbnego”. Jest ono wykonywane narzędziem T01 (nóż do toczenia zewnętrznego) przez

zatoczenie poprzeczne czoła tulei do średnicy $\phi 120$. Chodzi o zmierzenie uzyskanej długości tulei (powinna wynosić 69 mm) i ewentualne skorygowanie parametru długościowego narzędzia w osi Z, co umożliwia funkcja pomocnicza M00, zatrzymująca wykonywanie programu. Ponowne uruchomienie programu powoduje obróbkę począwszy od bloku /N006, gdzie m.in. znajduje się powtórne zaktualizowanie parametrów dla narzędzia T01. Bloki warunkowe mogą zostać wyłączone przez operatora dla poszczególnych przebiegów programu. W bloku N008 następuje toczenie poprzeczne czoła tulei na wymiar początkowo Z67, następnie (N009) po stożku, a w bloku N010 na wymiar Z68.5. W bloku N012 jest wykonywana powierzchnia stożkowa (30°) na gotowo, natomiast w bloku N013 następuje toczenie $\phi 126.2$ do wymiaru Z13.

Narzędzie T06 jest nożem wytaczakiem. W blokach warunkowych /N018÷N021 można ustalić precyzyjnie parametry narzędzia wykorzystując wcięcie próbne (L8.5 na $\phi 90$). W bloku N031 następuje wytaczanie otworu na $\phi 94$, a następnie kolejno zaczynając od (N034): fazowanie $\phi 98$, wytaczanie $\phi 98$, fazowanie $\phi 94$ (N037).

5.4.7. Program obróbki 66/TAE (ustawienie IV)

Program sterujący dla obróbki powierzchni z Rys. 107:



Rys. 107. Obróbka tulei, ustawienie IV

```

PR. 67 TAE/500
TAE-32N 01/1006.00
MOC. 4
POZYCJA BAZY : X=200Z=300
%%%
N001 G95 S030 M04
N002 G00 X1600 Z-18500 T0101
/N003 G01 X-6000 F200 M08
/N004 G00 X4000 Z23200 M05
/N005 M00
/N006 X-3400 Z-23200 S030 T0101 M04
N007 Z-80
N008 G01 X-21000 F250 M08
N009 G00 X1600 Z100
N010 G01 Z-8900 F200
N011 X3150 Z-3150
N012 G00 X35 Z1205
N013 X-600
N014 G01 Z-8900 F200
N015 X5650 Z-5650
N016 G00 X35 Z1455
N017 X-1035 Z-35
N018 G01 X1850 Z-1850
N019 Z-6610
N020 X8150 Z-8240
N021 G00 X35 Z1705
N022 X-1450 Z18480 M05
N023 T0000
N024 X-12500 Z-11180 S015 T0808 M03
N025 G01 Z-35700 F1000
N026 X-3500 F120 M08
N027 X3500 F1000

```

N028 G00 Z3570
 N029 X12500 Z11180
 N030 T0000
 N031 X-12800 Z-9180 S030 T0606 M03
 /N032 G01 Z-6200 F200 M08
 /N033 G00 X14800 Z23800 M05
 /N034 M00
 /N035 X-14800 Z-23180 S030 T0606 M03
 N036 X-285 Z-35
 N037 G01 X1850 Z-1850 F200 M08

N038 Z-5900
 N039 X700
 N040 X300 Z-3500 F150
 N041 X890 Z-52100
 N042 G00 X111 Z6370
 N043 X12600 Z9180 M05
 N044 T0000
 N045 M30
 %%%

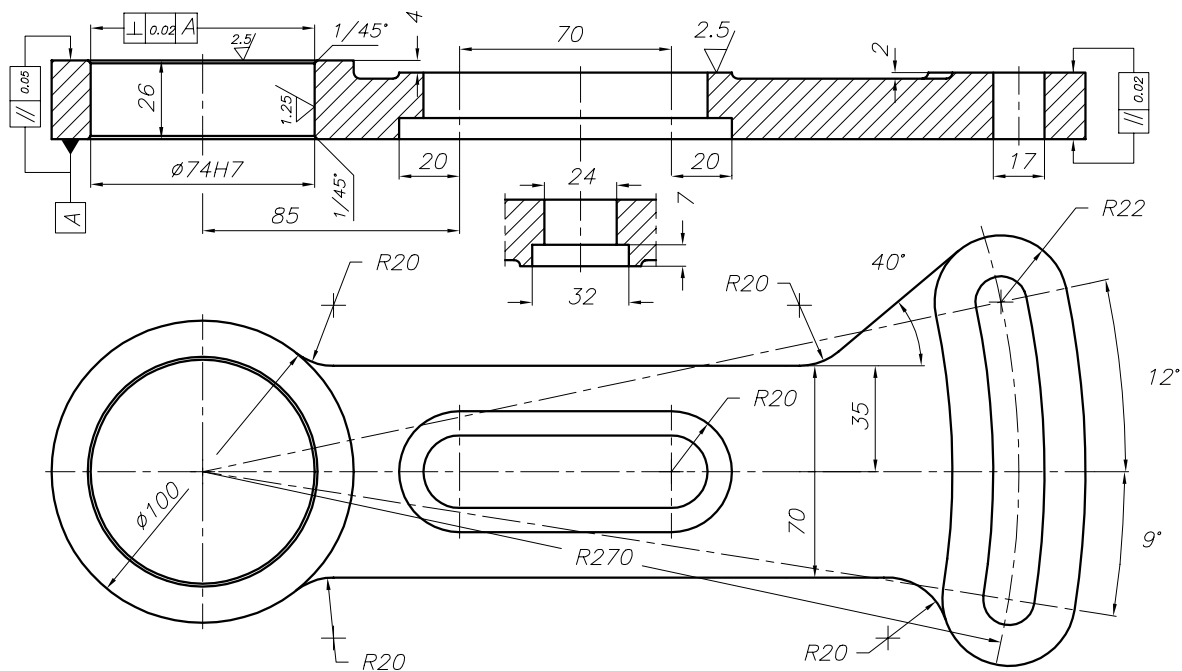
5.4.8. Uwagi do programu 67/TAE

Program 67/TAE zawiera instrukcje obróbki powierzchni z Rys. 107. Bloki warunkowe /N003÷/N006 zawierają instrukcje ustawienia noża T01, przez wykonanie wcięcia próbnego ($\phi 120$, Z68). W bloku N008 występuje toczenie poprzeczne czoła tulei na wymiar 67.2. Począwszy od bloku N010 następuje seria instrukcji zawierających obróbkę średnicy $\phi 112$ i powierzchni stożkowej 45° . Ostatnie przejście dokonywane jest w blokach N019 i N020. Narzędzie T08 jest nożem do rowka poprzecznego szerokości 5 mm. Nacięcie rowka następuje w bloku N026. Narzędzie T06 jest nożem wytaczakiem. W blokach /N032÷N035 można precyzyjnie ustalić parametry noża, wykonując wcięcie próbne ($\phi 96$, L5). Od bloku N037 kolejno następuje: fazowanie otworu $\phi 98$, toczenie $\phi 98$, wykonanie krótkiego stożka (N040), wykonanie długiego stożka (N041).

5.5. *Proces technologiczny dla części typu dźwignia*

Tabl. 10. Wyciąg z planu operacji dźwigni (Rys. 108)

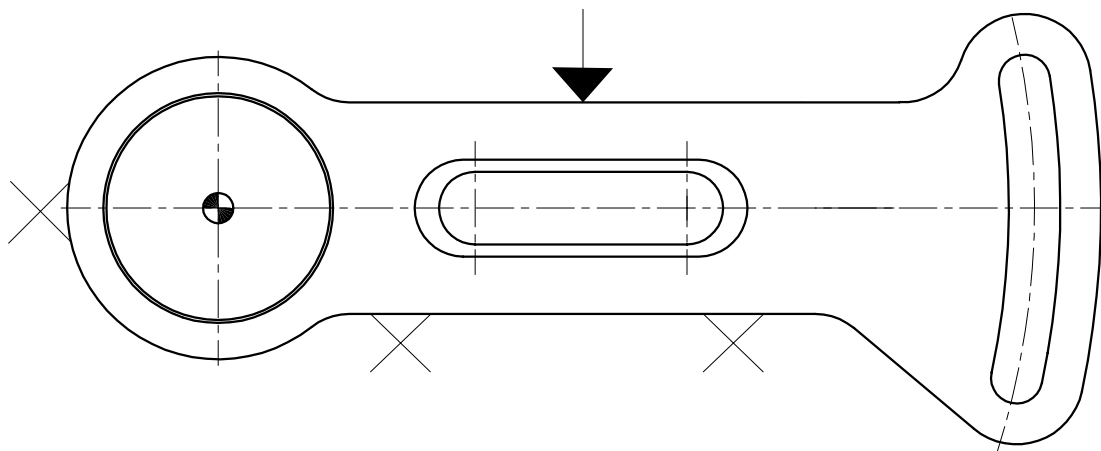
Stanowisko	Treść operacji
piaskownia	piaskować odlew
ślusarnia	opiłować nierówności odlewnicze
malarnia	gruntować powierzchnie nieobrabiane
centrum obróbkowe	wykonać wg programów 9/HP4 i 10/HP5
ślusarnia	załamać ostre krawędzie cechować wg rysunku
myjnia	myć w myjni mechanicznej
kontrola	kontrola ostateczna
konserwacja	konserwować



Rys. 108. Korpus gitary

5.5.1. Program obróbki 9/HP4 (ustawienie I)

Program obróbki powierzchni z Rys. 109:



Rys. 109. Obróbka korpusu gitary, ustawienie I

Wykaz narzędzi:

T1 - GŁOWICA FREZOWA	hr.257.1-160
T2 - FREZ WALCOWO-CZOŁOWY	NS4-121
T3 - NAWIERTAK	NS2-300
T4 - WIERTŁO	NWKC 24
T5 - WIERTŁO	NWKC 17
T6 - WYTACZADŁO D73.5	PSCX 66
T7 - FREZ PALCOWY D24	NS3-180
T8 - FREZ PALCOWY D17	NS3-29
T9 - WYTACZADŁO D74H7	PSCX 63
T10 - WYTACZADŁO DO FAZOWANIA	TUG40-2187 +NS1-675

PROGRAM 9/HP4

TUG40/07-003-2

Moc. 1

...

STORE07

H1/-423.25

H2/-295.83

H3/-62.

END

:

N1 G0 G90 G450. Y-10. Z-10. H0 M35 T1

(FREZOWANIE ZGRUBNE)

N2 B0 G45 X-138. H1 Y250. H2 Z50. H3 M6

N3 Y-8. Z100. H1 S160. M3

N4 Z0.3

N5 G01 X250. F100.

N6 G0 Z100.

N106 Y290. Z210. M6

N107 T2

(FREZOWANIE D 70)

N7 X0 Y0 Z100. H2 S100. M6

N8 G81 X0 Y0 Z-33. R3. F30. T3

N9 G0 Z100.

(NAWIERCANIE 2 OTW.)

N10 X85. Y0 Z100. H3 S700. M6

N11 G81 X85. Y0 Z-3. R2. F70. T4

N12 X266.676 Y42.238

N14 G0 Z100.

(WIERCENIE D 24)

N15 X85. Y0 Z100. H4 S260. M6

N16 G81 X85. Y0 Z-34. R0 F80. T5

N17 G0 Z100.

(WIERCENIE D 17)

N18 X266.676 Y42.238 Z100. H5 S370. M6

N19 G81 X266.676 Y42.238 Z-31. R0 F90. T6

N20 G0 Z100.

(WYTACZANIE D73.5)

N22 X0 Y0 Z100. H6 S160. M6

N23 G81 X0 Y0 Z-32. R2. F25. T7

N24 G0 Z100.

(FREZOWANIE ROWKA D 24/32)

N25 X85. Y0 Z100. H7 S200. M6

N26 Z3. T8

N27 G01 Z-7. F500.

N28 G42 G01 Y16. F60. D1

N29 X159.

N30 G02 X159. Y-16. I0 J16. F120.

N31 G01 X81. F75.

N32 G02 X81. Y16. I0 J-16. F120.

N33 G01 X87.

N34 G0 Z3.

N35 G40 X85. Y0

N36 Z-5.

N37 G01 Z-27. F500.

N38 X155. F45.
 N43 G0 Z100.
 (FREZOWANIE ROWKA D17)
 N44 X266.676 Y42.238 Z100. H8 S270. M6
 N45 G0 Z3. T9
 N46 G01 Z-12. F500.
 N47 G02 X264.1 Y-56.136 I266.676 J42.238 F60.
 N48 G0 Z5.
 N49 X266.676 Y42.238 P1.
 N50 G01 Z-25. F500.
 N51 G02 X264.1 Y-56.136 I266.676 J42.238 F60.
 N52 G0 Z100.
 (WYTACZANIE D 74H7)
 N57 X0 Y0 Z100. H9 S240. M6
 N58 G86 X0 Y0 Z-32. R2. F25. T10
 N59 G0 Z100.
 (FAZOWANIE D74)
 N60 X0 Y0 Z100. H10 S120. M6
 N61 G81 X0 Y0 Z-1. R3. F30. T11
 N62 G0 Z100.
 (FREZOWANIE WYKANCZAJACE)
 N63 X-138. Y-8. Z100. H11 S200. M6
 N64 Z0
 N65 G01 X380. F130.
 N66 G0 Z100.
 N67 Y290. Z180. M6
 N68 G45 X-10. H0 Y-10. H0 Z-10.H0
 N69 B180 Z-10. H0
 N70 M30
 ...

5.5.2. Opis programu 9/HP4

Programy 9/HP4 i 10/HP5 zostały opracowane dla układu sterowania numerycznego NUCON400. Pierwszy fragment programu rozpoczynający się od słowa STORE07, służy do wprowadzania przesunięć punktów zerowych układu współrzędnych osi obrabiarki. Fragment ten kończy się instrukcją „END”. Właściwy program rozpoczyna się po kolejnym znaku „:” lub „%”. W pierwszym bloku następuje deklaracja posuwu szybkiego (G0), bezwzględnego programowania współrzędnych położenia punktu kodowego (G90) oraz przesunięcie punktu zerowego (G45). Wartość przesunięcia jest podana pod adresem H0 co oznacza, że współrzędne X-10, Y-10, Z-10 odnoszą się do punktu M obrabiarki (w przypadku centrum obróbkowego HP4 pokrywa się on z punktem R – Rys. 52c). Funkcja pomocnicza M35 oznacza automatyczny wybór zakresu prędkości obrotowych wrzeciona roboczego. Słowo T1 powoduje obrót magazynu narzędzi w położenie, w którym narzędzie T1 znajduje się w pozycji zmiany. W USN NUCON 400 podobnie jak w innych układach sterowania, wprost w programie obróbkowym można stosować komentarze. Komentarzem może być dowolny ciąg znaków, znajdujących się pomiędzy znakami „(” i „)”. Pierwszym zabiegiem, jaki jest wykonywany w programie, jest frezowanie całej powierzchni korpusu gitary głowicą frezową $\phi 160$. W bloku N2 adres B0 powoduje obrót stołu obrabiarki na pozycję kątową 0° i równocześnie funkcja pomocnicza M6 dokonuje

zmiany narzędzia. Po wykonaniu tych czynności, następuje zjazd zespołów obrabiarki na pozycję (X-138, Y250, Z50) względem bazy obróbkowej – punkt W – określonej poprzez przesunięcie punktu zerowego (G45) z punktu M na punkt określony współrzędnymi – względem M – H1, H2, H3, odpowiednio w osiach X, Y, Z. Baza obróbkowa jest umieszczona (Rys. 109) w płaszczyźnie XY w osi otworu głównego, natomiast w osi Z pokrywa się z powierzchnią frezowaną na gotowo. W sumie obrabiarka wykona w danej osi ruch o wartości przesunięcia punktu zerowego osi plus wartość zaprogramowana minus aktualne położenie. Np. dla osi X:

$$-423.25 - 138 - (10) = -551.25$$

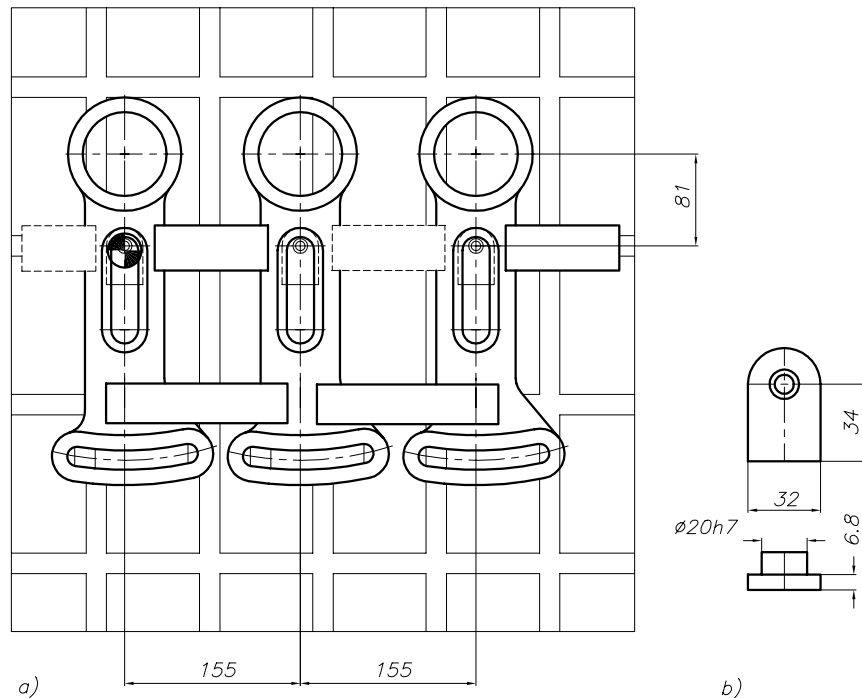
Blok N3 powoduje oprócz ruchu w osi Y – na pozycję 8 mm względem bazy obróbkowej, ruch w osi Z na pozycję 10, z uwzględnieniem korekcji długościowej narzędzia (H1 – nie mylić z H1 odnoszącym się do przesunięcia układu współrzędnych w osi X, tutaj 1 oznacza numer narzędzia), załączenie obrotów wrzeciona (S160) 160 obr/min, w kierunku zgodnym z ruchami wskazówek zegara (M3). Frezowanie zgrubne powierzchni (G01) z naddatkiem 0.3 mm następuje w bloku N5, z posuwem 100 mm/min (F100). W bloku N106 następuje zmiana głowicy frezowej. Ze względu na to, że jest to narzędzie o dużej średnicy (160 mm) i może nastąpić kolizja z sąsiednim narzędziem w magazynie narzędzi (sąsiednie gniazda należy w takich przypadkach zachować puste), dokonuje się zmiany przed przywołaniem następnego narzędzia, tak aby głowica powróciła do tego samego gniazda magazynu. W bloku N107 następuje obrót magazynu, a w bloku N7 dokonywana jest zmiana na frez walcowo-czołowy, którego zadaniem jest obrobić wstępnie otwór na $\phi 70$ przelotowy. W blokach N11 i N12 dokonuje się nawiercania otworów pomocniczych pod wiertła $\phi 24$ i $\phi 17$. Jest tutaj użyta funkcja przygotowawcza G81, która wprowadza cykl ustalony wiercenia. Cykl ten powoduje kolejno: pozycjonowanie ruchem szybkim w płaszczyźnie XY na oś wiercenia; ruch szybki w osi Z do płaszczyzny bezpiecznej, określonej pod adresem R (w tym przypadku R2.); ruch roboczy – z posuwem określonym pod adresem F (w mm/min) – do wartości podanej pod adresem Z (np. Z-3), szybkie wycofanie do płaszczyzny bezpiecznej. Funkcja G0 odwołuje cykle ustalone, przywołując równocześnie szybkie ruchy jałowe. Tym samym cyklem wykonywane jest wiercenie $\phi 24$ i $\phi 17$ oraz wytaczanie $\phi 73.5$. Narzędzie T7 (wymiarowy frez palcowy $\phi 24$) wykonuje rowek 32×7 oraz rowek 24 przelotowy. Rowek 24×7 jest frezowany przy zastosowaniu funkcji G42, która uruchamia kompensację promienia narzędzia z narzędziem po prawej stronie materiału. Funkcja ta umożliwia programowanie bez obliczania ekwidystanty (programowanie konturowe). Przed uruchomieniem bloku N28, oś freza znajduje się na współrzędnej Y0, po jego wykonaniu oś freza znajduje się na współrzędnej Y(16 - promień freza). Adres D1 przywołuje rejestr pamięci w którym przechowywana jest rzeczywista wartość promienia freza. W następnych blokach (N30 i N32) zastosowano interpolację kołową (G02) w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara. Współrzędne X i Y wskazują na punkt końcowy łuku, natomiast adresy „I” i „J” określają położenie środka łuku względem jego początku (patrząc z kierunku środka przy ustalaniu znaku). Odwołanie kompensacji promienia następuje w bloku N35. Rowek 24 jest wykonywany w jednym przejściu (N38), wykorzystując zgodność średnicy freza z szerokością rowka. Podobną zależność wykorzystano przy frezowaniu kanału

lukowego o szerokości 17, z tym, że naddatek zostaje tu obrobiony w dwóch przejściach (N47 i N51).

W bloku N58 następuje wytaczanie $\phi 74H7$ z wykorzystaniem cyklu ustalonego wytaczania wykańczającego (funkcja przygotowawcza G86). Cykl ten różni od G81 tym, że przed wycofaniem narzędzia z otworu, zatrzymują się automatycznie obroty wrzeciona. Ich załączenie następuje także automatycznie po osiągnięciu płaszczyzny bezpiecznej. Po frezowaniu płaszczyzny na gotowo następuje powrót na punkt startu (N68) w osiach X i Y, natomiast w osi Z w bloku następnym po odwołaniu (H0) parametru długościowego narzędzia. Funkcja M30 kończy program sterujący.

5.5.3. Program obróbki 10/HP5 (ustawienie II)

Program obróbki powierzchni z Rys. 110a:



Rys. 110. Obróbka korpusu gitary, ustawienie II

Wykaz narzędzi

T1 - GŁOWICA FREZOWA
T2 - GŁOWICA FREZOWA

HR.257.1-0160
HR.220.17-0063

PROGRAM 10/HP5
TUG40/07-003-2

Moc.2

STORE4

H1/166.3

H2/123.5

STORE7

H1/-534.68

H2/-506.04

H3/-649.

END

%%

Q01
 N1100 G1 X374. F120.
 N1101 G0 X400.
 N1102 Y-74.
 N1103 X368.
 N1104 G1 X317. F120.
 N1105 X303. Y-60.
 N1106 Y-9.
 N1107 G0 X215.
 N1108 G1 X162. F120.
 N1109 Y-74.
 N1110 G0 X60.
 N1111 G1 X7. F120.
 N1112 X-7. Y-60.
 N1113 Y-9.
 N1114 G0 Z100.
 Q00
 %%
 N1 G0 G90 X-10. Y-10. Z-10. H0 T1 M35
 N2 G45 X-137. H1 Y103. H2 Z640. H3 B0 S160. M3 M6
 N3 Z100. H1 T2
 N4 Z26.2
 N401 G1 X-10. F100.
 N402 X18. F2000.
 N403 X145. F100.
 N404 X173. F2000.
 N5 X300. F100.
 N6 G0 Z100.
 N7 X-137.
 N8 Z26. S200.
 N9 G1 X300. F120.
 N10 G0 Z640. H0
 N12 X-105. Y-190. B180 S400. M6
 N13 Z639. M0
 N14 Z100. H2 B0 M3
 N15 Z22.2 T1
 N17 Q101
 N18 X-105. Y-190. S450.
 N19 Z22.
 N20 Q101
 N21 G0 Z640. H0
 N22 G45 X-10. H0 Y-10. H0 Z-10 .H0 B180
 N23 M30
 %

5.5.4. Uwagi do programu 10/HP5

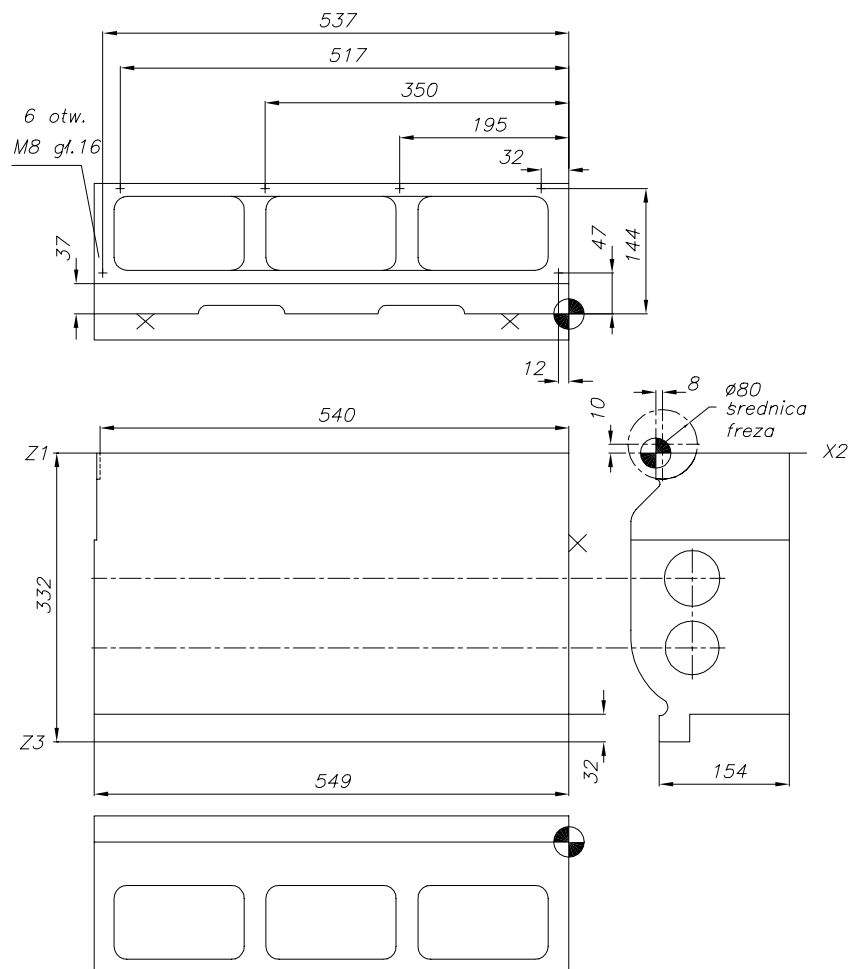
Program ten zawiera instrukcje obróbki powierzchni z Rys. 110a. Ponieważ jest to stosunkowo prosty zabieg – frezowanie dwóch płaszczyzn na wymiar 22 oraz jednej na wymiar 26 – zastosowano tutaj obróbkę trzech przedmiotów jednocześnie, mocowanych na uniwersalnej płycie kątowej. Ustalenie przedmiotów zrealizowano przy pomocy prostych elementów (Rys. 110b), wykorzystując powierzchnie wykonane w poprzednim programie. Ponieważ jedynymi narzędziami użytymi w powyższym

programie są dwie głowice frezowe o stałych wymiarach, można było ich wymiary długościowe umieścić w programie po instrukcji STORE04. W powyższym programie użyto makroprogram Q01, który zawiera instrukcje obróbki powierzchni obrabianych na wymiar 22. Pierwszy raz makroprogram wykorzystano w przejściu zgrubnym (blok N17 programu głównego), a po raz drugi w (N20) przejściu na gotowo. Struktura adresu wywołującego makroprogram obejmuje numer makroprogramu oraz liczbę powtórzeń. Program 10/HP5 wymaga przemocowania (łapy zaznaczone na Rys. 110 liniami przerywanymi są usuwane) w celu umożliwienia obróbki wszystkich powierzchni. Następuje to po zatrzymaniu programu (M0) w bloku N13.

5.6. Proces technologiczny dla części typu korpus

Tabl. 11. Wyciąg z planu operacji korpusu (Rys. 111)

Stanowisko	Treść operacji
piaskownia	piaskować odlew z zewnątrz i wewnątrz
ślusarnia	opiłować nierówności odlewnicze
płyta traserska	ustawić korpus trasować osie otworów I i II wychodząc z osi trasować z naddatkiem 2 mm na stronę przód i tył (wymiar 150) oraz spód i górę (wymiar 332)
frezarka	ustalić w przyrządzie wg trasy, mocować frezować spód przy wymiarze 332 wg trasy przemocować, ustawić do oporu listwy przodem do stołu frezować górę na wymiar 336 zamiast 332, przemocować frezować tył na wymiar 154 zamiast 150, przemocować frezować wybranie utrzymując 39 zamiast 35 i wymiar 32 trasować z naddatkiem 2 mm na stronę czoła korpusu (wymiar 545) ustawić do oporu listwy przodem do stołu frezować czoło przy wymiarze 545 wg trasy, przemocować frezować drugie czoło na wymiar 549 zamiast 545
wytaczarka	wytaczać otwór $\phi 62$ w osi I zamiast $\phi 66H7$ wytaczać otwór $\phi 58$ w osi I zamiast $\phi 62J6$ wytaczać otwór $\phi 51$ w osi I zamiast $\phi 55J6$ wytaczać otwór $\phi 64$ w osi II zamiast $\phi 68J6$ wytaczać otwór $\phi 43$ w osi II zamiast $\phi 47J6$ wytaczać otwór $\phi 51$ w osi II zamiast $\phi 55J6$
hartownia	wyżarzać odprężająco wg instrukcji obróbki cieplnej
piaskownia	piaskować odlew z zewnątrz i wewnątrz
malarnia	przedmuchać odlew sprężonym powietrzem, oczyścić gruntować powierzchnie nieobrabiane
centrum HP5	wykonać wg programów sterujących 1, 2, 3/HP5
kontrola	kontrola techniczna
ślusarnia	stępić ostre krawędzie wg rysunku, cechować wg rysunku oczyścić odlew sprężonym powietrzem
kontrola	kontrola ostateczna
myjnia	myć
konserwacja	konserwować



Rys. 111. Obróbka korpusu skrzynki posuwów, ustawienie I

5.6.1. Program obróbki 1/HP5 (ustawienie I)

Program obróbki powierzchni z Rys. 111:

Wykaz narzędzi

T1 - GŁOWICA FREZOWA D160	HR 257.1-0160
T2 - FREZ Z PŁ.D 80	
T3 - GŁOWICA FREZOWA D80	
T4 - FREZ PALCOWY D50	NFPc 50 \times D1 \times
T5 - NAWIERTAK D16	
T6 - WIERTŁO D6.8	
T7 - GWINTOWNIK M8	NS5-92

PROGRAM 1/HP5
KORPUS SKRZYNNKI POSUWOW
MOC. 1
%

STORE07

H1/-149.61 (X1)

H2/-698.27 (X2)

H3/-635.25 (X3)

H4/-635.7 (Y)

H5/-779.4 (Z1)

H6/-693.8 (Z2)

H7/-637. (Z3)

END

%

N1 G90 G0 G45 X-10. Y-10. Z-10. H0 T2 M35

(FREZOWANIE NA WYMIAR 32,37.2,334)

N2 G45 X-592. H1 Y120. H4 Z600. H5 S320. M6 M3 B180

N3 Z100. H2 T4

N4 Z-32.

N5 G1 X5. F200.

N6 Y77.2 F150.

N7 X-592.

N8 G0 Y30. Z0

N9 G1 X42. F200.

N10 G0 Z100.

(FREZOWANIE NA WYMIAR 37)

N11 X28. Y70. Z100. H4 S180. M6

N12 Z-31.9 T5

N13 G1 G42 Y37. D1 F150.

N14 X-552.

N15 G0 X-600.

N16 G40 Z100.

(NAWIERCANIE 6 OTW.)

N17 X-537. Y47. Z100. H5 S700. M6

N18 Z-30. T6

N19 G81 Z-34.3 R-30. F60.

N20 X-517. Y144.

N21 X-350.

N22 X-195.

N23 X-32.

N24 X-12. Y47.

N25 G0 Z100.

(WIERCENIE 6 OTW. NA D6.8)

N26 Z100. H6 S800. M6

N27 Z-30. T7

N28 G81 X-12. Y47. Z-56. R-30. F70.

N29 X-32. Y144.

N30 X-195.

N301 X-350.

N31 X-517.

N32 X-537. Y47.

N33 G0 Z100.

(GWINTOWANIE 6 OTW. M8)

N34 X-12. Y47. Z100. H7 S100. M6

N35 Z25. T1 M00

N36 M3

N37 G84 X-12 .Y47. Z-53. R-25. F125.

N38 X-32. Y144.

N39 X-195.

N40 X-350.

N41 X-517.

N42 X-537. Y47.

N43 G0 Z600. H0

N44 M00

(ODMOCOWAC LISTWE)

(FREZOWANIE NA WYMIAR 332)

N45 G45 X-85. H2 Y75. H4 Z600. H6 S180. M6 M3 B0

N46 Z100. H1 T3

N47 Z0

N48 G1 X630. F200.

N49 G0 Z600. H0

(FREZOWANIE BAZY NA WYMIAR 540)

N50 G45 X-43. H3 Y8. H4 Z600. H7 S240. M6 B90

N51 Z0 H3

N52 G1 X-10. F60.

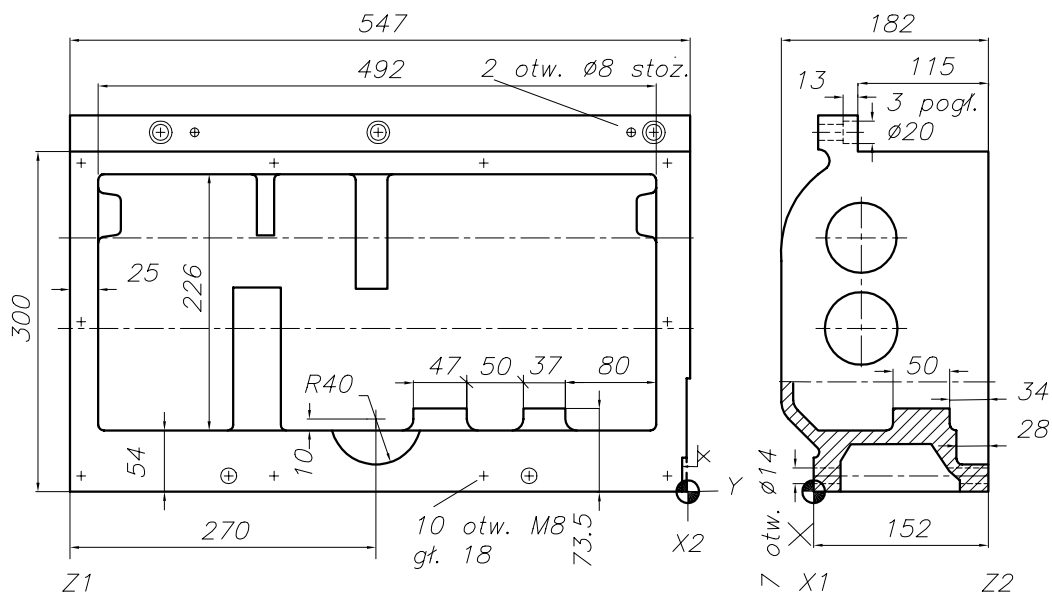
N53 G0 Z600 .H0

N54 G45 X-10. Y-10. Z-10. H0 B180 M30

%

5.6.2. Program obróbki 2/HP5 (ustawienie II)

Program obróbki powierzchni z Rys. 112:



Rys. 112. Obróbka korpusu skrzynki posuwów, ustawienie II

Wykaz narzędzi

T1 - GŁOWICA FREZOWA

T2 - FREZ

T3 - FREZ

T4 - NAWIERTAK

T5 - WIERTŁO

T6 - POGŁĘBIACZ

T7 - WIERTŁO

T8 - WIERTŁO

T9 - GŁOWICA FREZOWA

T10 - GWINTOWNIK

T11 - GŁOWICA FREZOWA

T12 - FREZ WAL.-CZOŁ.

2/HP5

KORPUS SKRZYŃKI POSUWÓW

TUG 40/02.200-1

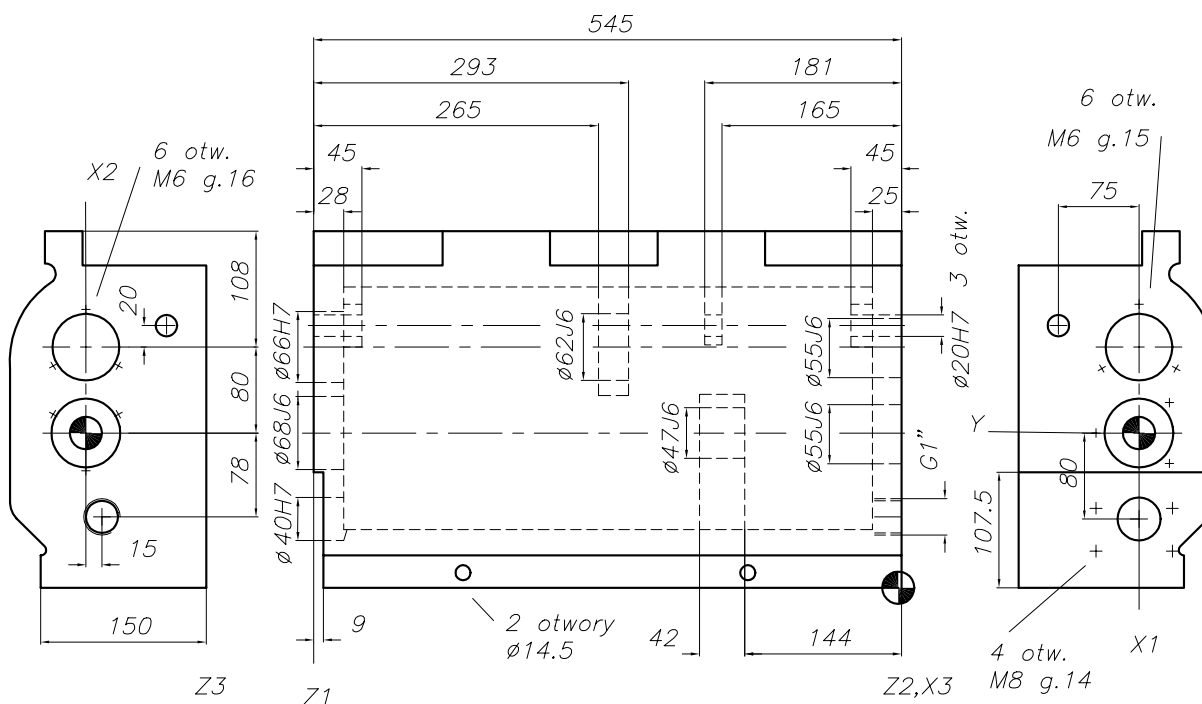
MOC.2
%
STORE7
H1/-256.
H2/-202.666
H3/-718.8
H4/-576.3
H5/-577.05
END %%
N1 G0 G45 X-10. Y-10. Z-10. H0 T11 M35
(FREZOWANIE NA WYM. 547)
N2 G45 X140. H1 Y345. H3 Z550. H4 B270 S300. M3 M6
N3 Z100. H11 T1
N4 Z0
N5 G1 Y20. F150.
N6 X70.
N7 Y310.
N8 X0
N9 Y15.
N10 G0 Z550. H0
(FREZOWANIE NA WYM. 152.2)
N11 G45 X-15. H2 Y335. H3 Z550. H5 B0 S360. M6
N12 Z100. H1 T12
N13 Z.2
N14 G1 Y27.5 F150.
N15 X-530
N16 Y290.
N17 X-70.
N18 G0 Z100.
(FREZOWANIE R40)
N19 X-275. Y100. Z100. H12 S120. M6
N20 T2
N21 Z-26.
N22 G1 Z-28. F100.
N23 Y70. F60.
N24 G0 Z2.
N25 P1.
N26 Y64.
N261 G1 Z-28. F60.
N262 G0 Z100.
(FREZOWANIE 2 NABEK NA WYM. 74)
N270 X-80. Y120. Z100. H2 S300. M6
N271 Z-90. T3
N2710 G1 Y117 .F80.
N2711 X-155.
N2712 G0 X-160.
N2713 G1 X-250.
N2714 G0 X-80. Y118.
N272 G01 Y114. F80.
N273 X-155.
N274 G0 X-160.
N275 G1 X-250.
N276 G0 Z100.
(FREZOWANIE 2 NABEK NA D73.5)

N280 X-100. Y100. Z100. H3 S300. M6
N281 Z10. T4
N282 Z-90.
N283 G1 Y93.5 F150.
N284 X-155.
N285 G0 X-185.
N286 G1 X-250.
N288 G0 Z100.
(NAWIERCANIE 17 OTW.)
N32 X-18. Y290. Z100. H4 S700. M6
N33 Z2. T5
N34 G81 X-18. Y290. Z-2.3 R2. F60.
N35 Y150.
N36 Y14.
N37 X-140. Z-4.25
N38 X-180. Z-2.3
N39 X-365.
N40 X-405. Z-4.25
N41 X-535. Z-2.3
N42 Y150.
N43 Y290.
N44 X-365.
N45 X-180.
N430 X-30. Y317. Z-117. R-113.
N440 X-50.
N450 X-273.
N46 X-435.
N47 X-465.
N48 G80 G0 Z100.
(WIERCENIE D14 W 5 OTW.)
N49 Z100. H5 S350. M6
N50 Z-113. T6
N51 G81 X-465. Y317. Z-158. R-113 .F70.
N52 X-273.
N53 X-30.
N54 Z2. R2.
N57 X-140. Y14. Z-38.
N64 X-405.
N68 G0 Z100.
(POGLEBIANIE 3 OTW. D14 NA D20)
N69 X-465. Y317. Z100. H6 S150. M6
N70 Z-80. T7
N71 G82 X-465. Y317. Z-128. R-113. F35. P1.
N72 Z-80. R-80.
N73 X-273. Z-128. R-113.
N74 Z-80. R-80.
N75 X-30. Z-128. R-113.
N76 G80 G0 Z100.
(WIERCENIE 2 OTW. D7.8)
N77 X-50. Y317. Z100. H7 S600. M6
N78 Z-113. T8
N79 G81 X-50. Y317. Z-156.5 R-113. F70.
N80 X-435.
N81 G80 G0 Z100.

(WIERCENIE 10 OTW. NA D6.8)
N82 X-535. Y290. Z100. H8 S800. M6
N83 Z2. T9
N84 G81 X-535. Y290. Z-25.2 R2. F80.
N85 Y150.
N86 Y14.
N87 X-365.
N88 X-180.
N89 X-18.
N90 Y150.
N91 Y290.
N92 X-180.
N93 X-365.
N94 G80 G0 Z100.
(FREZOWANIE NA WYMIAR 152)
N95 X37. Y290. Z100. H9 S600. M6
N96 Z0 T10
N97 G01 X-533. F200.
N98 Y28.
N99 X-15.
N100 Y335.
N101 G0 Z100. M00
(GWINTOWANIE 10 OTW. M8)
N102 X-365. Y290. Z100. H10 S100. M3 M6
N103 Z5. T1
N104 G84 X-365. Y290. Z-23. R5. F125.
N105 X-535.
N106 Y150.
N107 Y14.
N108 X-365.
N109 X-180.
N110 X-18.
N111 Y150.
N112 Y290.
N113 X-180.
N114 G80 G0 Z550. H0
N115 G45 X-10. Y-10. Z-10. H0
N116 B180 M30

%

5.6.3. Program obróbki 3/HP5 (ustawienie III)



Rys. 113. Obróbka korpusu skrzynki posuwów, ustawienie III

Program obróbki powierzchni z Rys. 113:

Wykaz narzędzi:

- T1 - GŁOWICA FREZOWA D100
- T2 - NAWIERTAK D20
- T3 - WIERTŁO D18
- T4 - WYTACZADŁO D65.7
- T5 - WYTACZADŁO D61.7
- T6 - WYTACZADŁO D67.7
- T7 - WYTACZADŁO D39.8
- T8 - WYTACZADŁO D19.8
- T9 - ROZWIERTAK D20H7
- T10 - WYTACZADŁO D66H7
- T11 - WYTACZADŁO D62J6
- T12 - WYTACZADŁO D68J6
- T13 - WYTACZADŁO D40H7
- T14 - POGŁĘBIACZ
- T15 - WYTACZADŁO D54.7
- T16 - WYTACZADŁO D46.8
- T17 - WYTACZADŁO D55J6
- T18 - WYTACZADŁO D47J6
- T19 - WYTACZADŁO D30.5
- T20 - GŁOWICA FREZOWA D80
- T21 - POGŁĘBIACZ D(54-72)/45° (KOR. D60)
- T22 - WIERTŁO PIÓRKOWE D38
- T23 - WIERTŁO D5
- T24 - WIERTŁO D6.8
- T25 - GWINTOWNIK M8
- T26 - GWINTOWNIK M6
- T27 - GWINTOWNIK R1'

NS2-173

NS8-473

NS7-443 (KOR. D40)

NS5-93

T28 - GŁOWICA FREZOWA D63
T29 - WIERTŁO D28
T30 - WIERTŁO D14.5
PROGRAM 3/HP5
KORPUS SKRZYNKI POSUWOW
TUG 40/02-200-1

MOC. 3

%

STORE 07

H1/-145.092

H2/-702.944

H3/-208.97

H4/-574.88

H5/-570.

H6/-685.34

H7/-579.47

END

%%

N1 G90 G0 G45 X-10. Y-10. Z-10. H0 M35 T20

(FREZOWANIE NA WYMIAR 545.2)

N2 G45 X44. H1 Y231. H4 Z500. H5 B270 S320. M3 M6

N3 Z100. H20 T1

N4 Z.2

N5 G1 Y-14. F160.

N6 X-15.

N7 Y134.

N8 X-80.

N9 Y-40.

(FREZOWANIE OBNIZENIA 9 MM)

N10 G0 X-150. Y-76.8 Z10.

N11 Z-6.

N12 G1 X80. F120.

N13 X50. Y-124. F1000.

N14 X-100. F120.

N15 G0 X-150. Y-76.6 Z10.

N16 Z-9.

N17 G1 X80.

N18 X50. Y-124.

N19 X-150.

N20 G0 Z100.

(FREZOWANIE NA WYMIAR 545)

N22 X-63. Y210. Z100. H1 S400. M6

N23 Z0 T2

N24 G1 Y-90. F200.

N25 G0 X29.

N26 G1 Y240.

N27 G0 Z100.

(NAWIERCANIE 12 OTW.)

N28 X-75. Y100. Z100. H2 S700. M6

N29 T3

N30 G81 Z-2. R1. F70.

N31 X0 Y120. Z-1.7

N32 X-34.64 Y60.

N33 X28.284 Y51.716

N34 Y28.284
N35 Y-28.284
N36 X-40. Y0
N37 X0 Y-80. Z-11.3 R-8.
N38 X31. Y-70.
N39 Y-110.
N40 X-40.
N41 Y-70.
N42 G0 Z100.
(WIERCENIE D18)
N43 X-75. Y100. Z100. H3 S270. M6
N44 T4
N45 G81 Z-53. R0 F50.
N46 G0 Z100.
(WYTACZANIE D65.7)
N47 X0 Y80. Z100. H4 S160. M6
N48 T5
N49 G81 Z-31. R2. F30.
N50 G0 Z100.
(WYTACZANIE D61.7)
N51 Z100. H5 S180. M6
N52 T6
N53 G81 Z-298. R-259. F30.
N54 G0 Z100.
(WYTACZANIE D67.7)
N55 Y0 Z100. H6 S150. M6
N56 T22
N57 G81 Z-31. R2. F30.
N58 G0 Z100.
(WIERCENIE D38)
N59 Y-80. Z100. H22 S150. M6
N60 T7
N61 G81 Z-39.5 R-9. F30.
N62 G0 Z100.
(WYTACZANIE D39.8)
N63 Z100. H7 S250. M6
N64 T8
N65 G81 Z-30. R-7. F30.
N66 G0 Z100.
(WYTACZANIE D19.8)
N67 X-75. Y100. Z100. H8 S450. M6
N68 T9
N69 G81 Z-48. R1. F30.
N70 F35.
N71 G0 Z100.
(ROZWIERCANIE D20H7)
N72 Z100. H9 S140. M6
N73 T10
N74 G85 Z-55. R2. F220.
N75 G0 Z100.
(WYTACZANIE D66H7)
N76 X0 Y80. Z100. H10 S380. M6
N77 T11
N78 G86 Z-31. R1. F25.

N79 G0 Z100.
(WYTACZANIE D62J6)
N80 Z100. H11 S300. M6
N81 T12
N82 G86 Z-298. R-259. F25.
N83 G0 Z100.
(WYTACZANIE D68J6)
N84 Y0 Z100. H12 S350. M6
N85 T13
N86 G86 Z-31. R1. F25.
N87 G0 Z100.
(WYTACZANIE D40H7)
N88 Y-80. Z100. H13 S450. M6
N89 T14
N90 G86 Z-29.5 R-8. F30.
N91 G0 Z100.
(FAZOWANIE D40 NA 2/15°)
N92 Z100. H14 S80. M6
N93 T22
N94 G81 Z-11. R-8. F30.
N95 G0 Z100.
(FAZOWANIE D20 NA 1/60°)
N96 X-75. Y100. Z100. H22 S200. M6
N97 T21
N98 G81 Z-5. 8R-5. F50.
N99 G0 Z100.
(FAZOWANIE D66 NA 2.8/45°; D68 NA 1/45°)
N100 X0 Y80. Z100. H21 S150. M6
N101 T23
N102 G81 Z-5.8 R-2. F15.
N103 Z50. R50.
N104 Y0Z-5.5 R-3. F20.
N105 G0 Z100.
(WIERCENIE 6 OTW. NA D5)
N106 X0 Y120. Z100. H23 S1100. M6
N107 T24
N108 G81 Z-18. R1. F110.
N109 X-34.64 Y60.
N110 X-40. Y0
N111 X28.284 Y-28.284
N112 Y28.284
N113 Y51.716
N114 G0 Z100.
(WIERCENIE 4 OTW. D6.8)
N115 X-40. Y-70. Z100. H24 S900. M6
N116 T25
N117 G81 Z-23. R-8. F100.
N118 Y-110.
N119 X31.
N120 Y-70.
N121 G0 Z100.
N122 M00
(GWINTOWANIE 4 OTW. M8)
N123 X-40. Z100. H25 S200. M3 M6

N124 T26
N125 G84 Z-21. R-4. F250.
N126 Y-110.
N127 X31.
N128 Y-70.
N129 G0 Z100.
(GWINTOWANIE 6 OTW. M6)
N130 X0 Y120. Z100. H26 S300. M6
N131 T2
N132 G84 Z-15. R5. F300.
N133 X-34.64 Y60.
N134 X-40. Y0
N135 X28.284 Y-28.284
N136 Y28.284
N137 Y51.716
N138 G0 Z500. H0
N139 G45 X75. H2 Y100. H4 Z600. H6 B90 S700 .M6
(NAWIERCANIE 8 OTW.)
N140 Z100. H2 T3
N141 G81 Z-2. R1. F70.
N142 X0 Y115. Z-1.7
N143 X-30.31 Y62.5
N144 X30.31
N145 Y17.5
N146 X-30.31
N147 X0Y-35.
N148 X15. Y-78.1
N149 G0 Z100.
(WIERCENIE D18)
N150 X75. Y100. Z100. H3 S270. M6
N151 T8
N152 Z0
N153 G01 Z-57. F40.
N154 Z-160. F2000.
N155 Z-194. F40.
N156 G0 Z100.
(WYTACZANIE D19.8)
N157 Z100. H8 S450. M6
N158 T15
N159 G81 Z-52. R1. F30.
N160 G01 Z-52. F35.
N161 G81 Z-190. R-160. F30.
N1610 F35.
N1611 F40.
N162 G01 Z-190. F35.
N163 G0 Z100.
(WYTACZANIE D54.7)
N164 X0 Y80. Z100. H15 S180. M6
N166 T16
N167 G81 Z-31. R1. F30.
N168 Z50. R50.
N169 Y0 Z-31. R1. F30.
N170 G0 Z100.
(WYTACZANIE D46.8)

N171 Z100. H16 S210. M6
N172 T9
N173 G81 Z-200. R-145. F35.
N174 G0 Z100.
(ROZWIERCANIE D20H7)
N175 X75. Y100. Z100. H9 S140. M6
N176 T17
N177 Z1.
N178 G01 Z-65. F220.
N179 Z-160. F2000.
N180 Z-192. F220.
N181 Z1. F1500.
N182 G0 Z100.
(WYTACZANIE D55J6)
N183 X0 Y80. Z100. H17 S380. M6
N184 T18
N185 G86 Z-31. R1. F25.
N186 G81 Z30. R30.
N187 G86 Y0 Z-31. R1.
N188 G0 Z100.
(WYTACZANIE D47J6)
N189 Z100. H18 S400. M6
N190 T29
N191 G86 Z-200. R-145. F25.
N192 G0 Z100.
(WIERCENIE D28)
N193 X15. Y-78.1 Z100. H29 S200. M6
N194 T22
N195 G81 Z-50. R1. F40.
N196 G0 Z100.
(FAZOWANIE D30.5; D20)
N197 Z100. H22 S200. M6
N198 T21
N199 G81 Z-8.4 R-6. F50.
N200 Z5. R5.
N201 X75. Y100. Z-5.8 R-5.
N202 G0 Z100.
(FAZOWANIE D55)
N203 X0 Y80. Z100. H21 S150. M6
N204 T23
N205 G81 Z2. R3.5 F30.
N206 Z50. R50.
N207 Y0 Z2. R3.5
N208 G0 Z100.
(WIERCENIE 6 OTW. D5)
N209 X0 Y115. Z100. H23 S1100. M6
N210 T26
N211 G81 Z-19. R1. F110.
N212 X-30.31 Y62.5
N213 X30.31
N214 Y17.5 Z-18.
N215 X-30.31
N216 X0 Y-35.
N217 G0 Z100.

N218 M00
(GWINTOWANIE 6 OTW. M6)
N219 Z100. H26 S300. M3 M6
N220 T19
N221 G84 Z-16. R5. F300.
N222 X-30.31 Y17.5
N223 Y62.5
N224 X0 Y115.
N225 X30.31 Y62.5
N226 Y17.5
N227 G0 Z100.
(WYTACZANIE D30.5)
N228 X15. Y-78.1 Z100. H19 S400. M6
N229 T27
N230 G81 Z-45. R2. F40.
N231 G0 Z100.
N2310 M00
(GWINTOWANIE R 1 CAL)
N232 Z100. H27 S60. M6 M3
N233 T30
N234 G84 Z-45. R5. F138.54
N235 G0 Z500. H0
N236 G45 X-140. H3 Y-130.1 H4 Z550. H7 B180 S400. M6
N237 M00
(ODMOCOWAC DOCISKI)
N238 B0
(WIERCENIE 2 OTW. D 14.5)
N3001 Z100. H30 T28 M3
N3002 G81 Z-40. R5. F80.
N3003 X-405.
N3004 G0 Z100.
(FREZOWANIE NA WYMIAR 150)
N3005 X35. Y178. Z100. H28 S600. M6
N239 T20
N240 Z0.25
N241 G1 X-190. F200.
N242 G0 X-200.
N243 G1 X-340.
N244 G0 X-405.
N245 G1 X-585.
N246 G0 Y-130.
N247 X-580.
N248 G1 X37.
N249 G0 Y178. Z0
N250 G1 X-190. F200.
N251 G0 X-200.
N252 G1 X-340.
N253 G0 X-405.
N254 G1 X-585.
N255 G0 Y-130.
N256 X-580.
N257 G1 X35.
N258 G0 Z550. H0
N259 G45 X-10. Y-10. Z-10. H0 B180 M30

5.6.4. Uwagi do programów 1, 2, 3/HP5

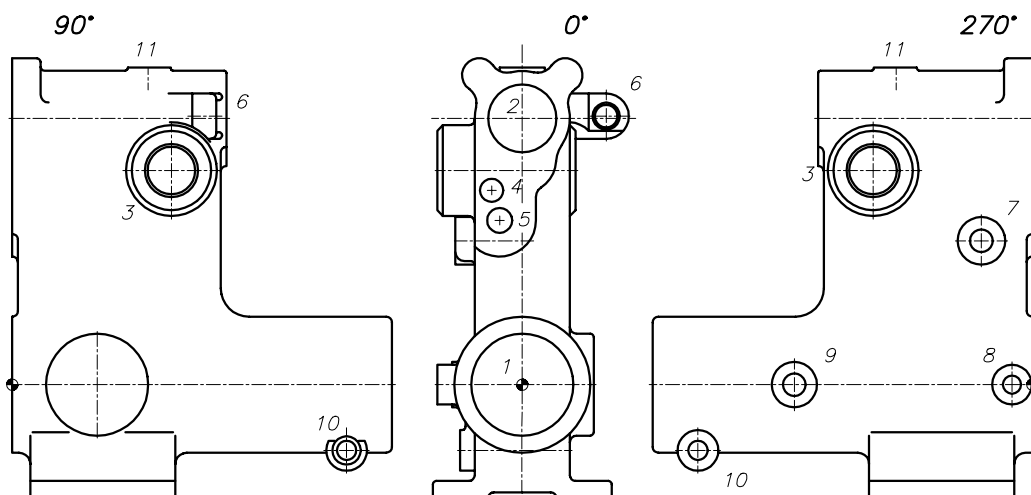
Programy 1, 2, 3/HP5 zawierają instrukcje obróbki korpusu skrzynki posuwów, opracowane dla układu sterowania numerycznego NUCON400. Pierwszy program obejmuje obróbkę dwóch przeciwległych boków korpusu, z których jeden będzie służył jako baza do obróbki głównych powierzchni. Oprócz tego jest obrabianych 6 otworów M6 pod pokrywę górną oraz zostaje wykonana baza (na wymiar 540), w celu powiązania wymiarowego wykonanych otworów z otworami wykonanymi w następnych ustawieniach. Użyty podczas gwintowania cykl G84 zapewnia kolejno: pozycjonowanie w płaszczyźnie XY, szybki ruch do płaszczyzny bezpiecznej, ruch roboczy gwintowania oraz ruch powrotny narzędzia (automatyczna zmiana kierunku obrotów wrzeczona przy niezmiennym co do wartości, a przeciwnym co do zwrotu posuwie). Przy gwintowaniu należy pamiętać o powiązaniu obrotów wrzeczona z posuwem wzdłużnym narzędzia.

W programie 2/HP5 jest obrobiony lewy bok korpusu, powierzchnie pod pokrywę przednią oraz otwory do mocowania korpusu na łożu tokarki. Dodatkowo zostają obrobione powierzchnie ustalające krzywkę sterującą przekładnią Nortona.

W programie 3/HP5 są obrabiane najważniejsze powierzchnie korpusu. W pierwszej kolejności frezowany jest prawy bok korpusu, następnie jest dokonywana obróbka czterech osi głównych z prawej strony korpusu oraz otwory pod obsady. Po obrocie o 180° następuje obróbka osi głównych oraz otworów pomocniczych z lewej strony korpusu. Na ko/cu jest przeprowadzona obróbka frezowaniem dokładnym powierzchni służących do ustalania korpusu na łożu tokarki, z tego względu jest wymagana ich równoległość do osi głównych korpusu. Obróbka wspomnianych powierzchni w jednym mocowaniu spełnia wymogi konstrukcyjne odnośnie narzuconych przez konstruktora odchyłek położenia.

Powyższy proces technologiczny obróbki korpusu skrzynki posuwów stanowi przykład zintegrowania szeregu różnorodnych zabiegów w jednej operacji wykonywanej na centrum obróbkowym.

5.7. Obróbka korpusu wiertarki stołowej WS-15



Rys. 114. Korpus wiertarki stołowej WS-15

Korpus wiertarki stołowej WS-15 (Rys. 114) jest obrabiany na frezarsko-wytaczarskim centrum obróbkowym HP4 z wymiennymi paletami przedmiotowymi. Ponieważ proces technologiczny dla tego korpusu nie obejmuje podziału na operacje obróbki zgrubnej i wykańczającej, dlatego w przedmiocie po odlaniu jest frezowana jedynie powierzchnia bazująca (płaszczyzna pod silnik) i następnie jest wykonywana operacja na centrum. Operacja ta jest podzielona na dwie części: zgrubną i wykańczającą. W pierwszej części, której odpowiada podprogram SPF1, jest przeprowadzona obróbka zgrubna otworów oraz powierzchni drugorzędnych. W drugiej części (podprogram SPF2) są obrabiane otwory na gotowo w klasie H7. Podział ten wynika z konieczności ostygnięcia przedmiotu po obróbce zgrubnej a przed wykańczającą. Przedmiot obrobiony zgrubnie pozostaje nadal zamocowany w przyrządzie i czeka aż zostaną przeprowadzone zabiegi dla przedmiotu znajdującego się na drugiej palecie.

Tabl. 12. Dane do Rys. 114

Nr otw./str.	X	Y	Z	Śred.xdług.	Śred. czoła
1	0	0	0	φ90H7×335	φ120
2	0	235	0	φ60H7×189	φ84
3/90°	140.5	188.95	47	φ47H7×18.3	φ70
3/270°	-140.5	188.95	75	φ47H7×21.5	φ70
4	-27	171.4	0	φ20.5×15/φ20H7×170	
5	-20	145	0	φ22H7×80	
6	73.9	237	-159	φ20H7×21	φ25×1
7	-45	126.87	59	φ20H7×65	φ42
8	-18	0	75	φ16H7×30	φ35
9	-210	0	62	φ20H7×17	φ40
10/90°	295	-58	35	φ17 przelot.	φ36
10/270°	-295	-58	55	φ25×12	
11/90°	120	280	0	-	φ40

Wykaz narzędzi

T1 - Frez palcowy	NFPc 50	PSCd 50/5b
T2 - Gł. frezowa	hR220.17-0100	PSCn 50/40
T3 - Gł. frezowa	hR257.1-0160	PSCn 50/50
T4 - Nawiertak	D20	PSCb 50/2
T5 - Wytaczadło zgr.	D89.7	
T6 - Wytaczadło wyk.	D90H7	
T7 - Wytaczadło do fazy	D90 (kor. D90)	
T8 - Wytaczadło zgr.	D59.7	
T9 - Wytaczadło wyk.	D60H7	
T10 - Wytaczadło zgr.	D82	
T11 - Wytaczadło zgr.	D52	
T12 - Wiertło	NWKc 20.5PSCb 50/2	
T13 - Wiertło	NWKc 17	PSCc 50/2
T14 - Wiertło	NWKc 19.7PSCc 50/2	
T15 - Rozwiertak	NRTc 20H7	PSCc 50/2
T16 - Poglębiacz st.	D25 (kor D20)	PSCb 50/2
T17 - Wiertło	NWKc 21.7PSCb 50/2	
T18 - Rozwiertak	NRTc 22H7	PSCb 50/2
T19 - Poglębiacz	D17/25	PSCb 50/2
T20 - Wiertło	NWKc 15.7PSCb 50/2	
T21 - Rozwiertak	NRTc 16H7	PSCb 50/2
T22 - Wytaczadło zgr.	D46.8	
T23 - Wytaczadło wyk.	D47K7	
T24 - Wiertło	NWKc 42	PSCb 50/4
T25 - Wytaczadło do faz	D47/D60 (kor D60)	

Cały program obróbkowy składa się z 5 części: programu głównego MPF1, podprogramów obróbki zgrubnej i wykańczającej (SPF1, SPF2) oraz podprogramów SPF3, SPF4 zmieniających automatycznie położenie punktów zerowych G54, G55, G56, G57. Całość została napisana dla układu sterowania SINUMERIK 810M.

```
%MPF 1
N1 M68
N2 L3 P1
N3 L1 P1
N4 M69
N5 L4 P1
N6 L1 P1
N7 M68
N8 L3 P1
N9 L2 P1
N10 M69
N11 L4 P1
N12 L2 P1
N13 @100 K-1
N14 M2
```

5.7.1. Podprogramy SPF1, SPF2

Funkcje pomocnicze M68 i M69 powodują automatyczne zainstalowanie się na stole odpowiednio lewej lub prawej palety. Adres L powoduje wywołanie podprogramu o podanym numerze i wykonanie go P-razy. W bloku 13 został zaprogramowany skok bezwarunkowy do bloku N1

%SPF 1

N1 G90 G0 G54 B0 T3 M6 D3

(frezowanie czola)

N2 X0 Y370 S200 M3

N3 Z3

N4 G1 Y10 F200

N5 G0 Y370 Z5

N6 Z0

N7 G1 Y10 T10

N8 M6

(wytaczanie D82)

N9 G85 X0 Y0 R3=-336 R2=1 R10=10 F50 S180 M3 D10 T5

N10 G80 M6

(wytaczanie D89.7)

N11 G85 X0 Y0 R3=-336 R2=1

R10=10 F50 S180 M3 D5 T4

N12 G80 M6

(nawiercanie D20.5 i D22)

N13 G85 X-27 Y171.4 R3=-2 R2=1 R10=1 F60 S700 M3 D4

N14 X-20 Y145 T17

N15 G80 M6

(wiercenie D21.7)

N16 G85 X-20 Y145 R3=-86 R2=0 R10=10 F80 S250 M3 D17 T12

N17 G80 M6

(wiercenie D20.5)

N18 G85 X-27 Y171.4 R3=-26.74 R2=0 R10=10 F80 S280 M3 D12 T14

N19 G80 M6

(wiercenie D19.7)

N20 G85 X-27 Y171.4 R3=-140 R2=-25 R10=10 F70 S280 M3 D14 T16

N1021 R3=-165 R2=-139

N1022 R3=-195 R2=-164

N21 G80 M6

(fazowanie M22 i D20)

N22 G85 X-27 Y171.4 R3=-1 R2=1

R10=20 F50 S120 M3 D16

N23 X-20 Y145 R3=-2 R2=0 T1

N24 G80 G55 B90 M6

(frezowanie D40 i R82)

N29 X70 Y310 S150 M3 D1

N30 Z-25

N31 G41 G1 Y280 F100 D1

N32 X145 F150

N33 G40 G0 Y310

N34 X130 Z60

N35 Y285

N36 G42 G1 X159 D1

N37 Y215
N38 G40 X75 Y175 F500
N39 Z47
N40 G41 G1 Y148 D1 F50
N41 X140.5
N42 G3 X99.5 Y189 I0 J41
N43 G40 G0 T4
N44 M6
(nawiercanie D47 D17)
N45 G85 X140.5 Y188.95 R3=45 R2=48 R10=70 F70 S700 M3 D4
N46 X295 Y-58 R3=33 R2=40 T24
N47 G80 M6
(wiercenie D42)
N48 G85 X140.5 Y188.95 R3=-90 R2=48 R10=100 F25 S140 M3 D24 T22
N49 G80 M6
(wytaczanie D46.8)
N50 G85 X140.5 Y188.95 R3=28.7 R2=48 R10=100 F60 S320 M3 D22 T25
N51 G80 M6
(fazowanie D47)
N52 G85 X140.5 Y188.95 R3=52.5 R2=55 R10=100 F40 S160 M3 D25 T13
N53 G80 M6
(wiercenie D17)
N54 G85 X295 Y-58 R3=-62 R2=37 R10=70 F90 S330 M3 D13 T19
N55 G80 M6
(pogłębianie D25)
N56 G82 X295 Y-58 R3=23 R2=40 R10=100 R4=1 F40 S180 M3 D19 T2
N57 G80 G57 B270 M6
(frezowanie D70,D42,D35)
N58 X-195 Y189 S300 M3 D2
N59 Z75
N60 G1 X-140.5 F150
N61 G0 X-45 Y203
N62 Z59
N63 G1 Y150 F200
N64 G0 X53 Z75
N65 Y0
N66 G1 X-10 T1
N67 G0 M6
(frezowanie D40,D36)
N68 X-160 Y0 S150 M3 D1
N69 Z65
N70 G1 Z62 F150
N71 X-210
N72 G0 Z70
N73 X-247 Y-58
N74 Z55
N75 G1 X-295 T22
N76 G0 M6
(wytaczanie D46.8)
N77 G85 X-140.5 Y188.95 R3=53.5 R2=76 R10=100 F60 S320 M3 D22 T25
N78 G80 M6
(fazowanie D47)
N79 G85 X-140.5 Y188.95 R3=80.5 R2=83 R10=100 F40 S160 M3 M6 T11
N80 G80 G54 B0 M6

(wytaczanie D52)

N85 G85 X0 Y235 R3=-190 R2=1 R10=100 F50 S300 M3 D11 T8

N86 G80 M6

(wytaczanie D59.7)

N87 G85 X0 Y235 R3=-190 R2=1 R10=100 F50 S300 M3 D8 T25

N88 G80 M6(fazowanie D60)

N89 G85 X0 Y235 R3=-1 R2=1 R10=100 F30 S160 M3 D25 T7

N90 G80 M6

(fazowanie D90)

N91 G85 X0 Y0 R3=-1 R2=1 F30 S140 M3 D7 T13

N92 G80 M6

(wiercenie D17)

N93 G85 X73.9 Y237 R3=-188 R2=-157 R10=10 F60 S330 M3 D13 T19

N94 G80 M6

(pogłębianie D25)

N95 G82 X73.9 Y237 R3=-159.5 R2=-158 R4=1 R10=50 F30 S180 M3 D19 T14

N96 G80 M6

(wiercenie D19.7)

N97 G85 X73.9 Y237 R3=-188 R2=-157 R10=10 F100 S280 M3 D14 T3

N98 G80 G56 B180 M6

(frezowanie D120,D84)

N99 X-145 Y10 S200 M3 D3

N100 Z3

N101 G1 X0 F200

N102 G0 X-145 Z5

N103 Z0

N104 G1 X0

N105 G0 Y235 Z1

N106 X-127

N107 Z-143

N108 G1 X-20

N109 G0 X-127 Z-140

N110 Z-146

N111 G1 X-20 T25

N113 G0 M6

(fazowanie D60)

N114 G85 X0 Y235 R3=-147 R2=-145

R10=100 F30 S160 M3 D25 T7

N115 G80 M6

(fazowanie D90)

N116 G85 X0 Y0 R3=-1 R2=1 F30 S140

M3 D7

N117 G80 G53 Y0 Z0 D0 M5

N118 M17

%SPF 2

N1 G54 B0 T6 M6 D6

(wytaczanie D90H7)

N2 S270 M3

N3 G86 X0 Y0 R3=-336 R2=1 R10=10 F25 T9

N4 G80 M6

(wytaczanie D60H7)N5 G86 X0 Y235 R3=-190 R2=1 R10=10 F30S400 M3 D9 T18

N6 G80 M6

(rozwiercanie D22H7)

N7 X-20 Y145 S100 M3 D18

N8 Z2

N9 G1 Z-80 F200

N10 Z2 F500 T15

N11 G0 M6

(rozwiercanie 2 x D20H7)

N12 X-27 Y171.4 S120 M3 D15

N13 Z-14

N14 G1 Z-195 F240

N15 Z2 F500

N16 X73.9 Y237

N17 Z-158

N18 G1 Z-190 F240

N19 Z-155 F500

N20 G0 Z10 T23

N21 G55 B90 M6

(wytaczanie D47K7)

N22 G86 X140.5 Y188.95 R3=28.7 R2=48 R10=100 F40 S530 M3 D23

N23 G80 G57 B270

N24 G86 X-140.5 Y188.95 R3=53.5 R2=76

R10=100 T4

N25 G80 M6

(nawiercanie D16 i 2 x D20)

N26 G85 X-45 Y126.97 R3=57 R2=60 R10=76 F60 S700 M3 D4

N27 X-18 Y0 R3=73 R2=76

N28 X-210 R3=60 R2=63 T14

N29 G80 M6

(wiercenie 2 x D19.7)

N30 G85 X-210 Y0 R3=35 R2=63 R10=70 F80 S280 M3 D14

N31 X-45 Y126.97 R3=-12 R2=60 T20

N32 G80 M6

(wiercenie D15.7)

N33 G85 X-18 Y0 R3=35 R2=76 R10=80 F100 S360 M3 D20 T16

N34 G80 M6

(fazowanie D16 i 2 x D20)

N35 G85 X-18 Y0 R3=76 R2=78

R10=100 F60 S180 M3 D16

N36 X-210 R3=61 R2=63

N37 X-45 Y126.97 R3=58 R2=60 T15

N38 G80 M6

(rozwiercanie 2 x D20H7)

N39 G85 X-45 Y126.97 R3=-6 R2=60

R10=80 F240 S120 M3 D15

N40 X-210 Y0 R3=30 R2=64 T21

N41 G80 M6

(rozwiercanie D16H7)

N42 G85 X-18 Y0 R3=30 R2=77 R10=100 F250 S150 M3 D21

N43 G80 G53 Y0 Z0 D0 M5

N44 M17

Istotne różnice pomiędzy programowaniem dla układu NUCON 400 a SINUMERIK 810 ME to:

- programowanie przesunięcia punktu zerowego (w układzie SINUMERIK używamy funkcji przygotowawczych G54-G55);
- opis cykli stałych.

Uwaga: Cykle stałe dla układu SINUMERIK zostały sparametryzowane. Na przykład w używanym w powyższych programach cyklu G85, parametr R3 oznacza pełną głębokość obróbki, R2 oznacza początek ruchu roboczego, natomiast pod R10 podajemy pozycję na którą wycofuje się automatycznie narzędzie po skończonym zabiegu.

5.7.2. Podprogramy SPF3, SPF4

%SPF 3

```
@430 K1 K1 K0 K-304.54
@430 K1 K2 K0 K-500.12
@430 K1 K3 K0 K-595
@430 K2 K1 K0 K-459
@430 K2 K2 K0 K-500.12
@430 K2 K3 K0 K-750.54
@430 K3 K1 K0 K-303.46
@430 K3 K2 K0 K-500.12
@430 K3 K3 K0 K-570
@430 K4 K1 K0 K-149
@430 K4 K2 K0 K-500.12
@430 K4 K3 K0 K-750.46
M17
```

%SPF 4

```
@430 K1 K1 K0 K-304.3
@430 K1 K2 K0 K-500.12
@430 K1 K3 K0 K-595
@430 K2 K1 K0 K-459
@430 K2 K2 K0 K-500.12
@430 K2 K3 K0 K-750.3
@430 K3 K1 K0 K-303.7
@430 K3 K2 K0 K-500.12
@430 K3 K3 K0 K-570
@430 K4 K1 K0 K-149
@430 K4 K2 K0 K-500.12
@430 K4 K3 K0 K-749.7
M17
```

W podprogramach tych zakodowano przesunięcie punktów zerowych @430. Wartość pierwszego adresu K oznacza numer punktu zerowego (1 – G54, 2 – G55, itd.). Wartość drugiego adresu K oznacza numer osi (kolejno X, Y, Z, B). Następne słowo K0 oznacza zgrubną precyzję podawanej wartości przesunięcia. Wartość ostatniego adresu K jest równa przesunięciu punktu zerowego w danej osi względem punktu maszynowego G53.

Literatura

- [1] Bałaziński M., Cieślak J., Słomski J.: Zasady budowy, działania i programowania OSN. AGH, skrypt uczelniany, Kraków 1985.
- [2] Bednarek M., Borowski J., Dworczyk M., Wąs A.: Obrabiarki sterowane numerycznie. Podstawy eksploatacji. Warszawa, WNT 1985.
- [3] Gottschalk E., Wirth S.: Neue flexible Teilefertigungs systeme der DDR im international Vergleich. Fertigungstechnik u. Betrieb 1986 nr 4.
- [4] Kuznecow J. I., Maslow A.P., Bajkow A.N.: Osnatka dla stankow c CzPU. Sprawocznik. Maszynostroenie, Moskwa, 1983.
- [5] Leslie W. H. P.(ed.): Numerical Control User's Handbook. McGraw-Hill Publ. Comp. Ltd, 1970.
- [6] Łakirew C. G.: Obrabotka otwierstwij. Sprawocznik. Maszynostroenie, Moskwa, 1984.
- [7] Praca zbiorowa: Zasady programowania obrabiarek sterowanych numerycznie. Warszawa, SIMP CBKO 1979.
- [8] Pusztai J., Sava M.: Computer Numerical Control. Reston, Virginia, Prentice-Hall Co. 1983.
- [9] Shah R.: Sterowanie numeryczne obrabiarek. Poradnik. Warszawa, WNT 1975.
- [10] Ziętarski S., Filipowski R.: Programowanie w systemie POUT-APT. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1986.