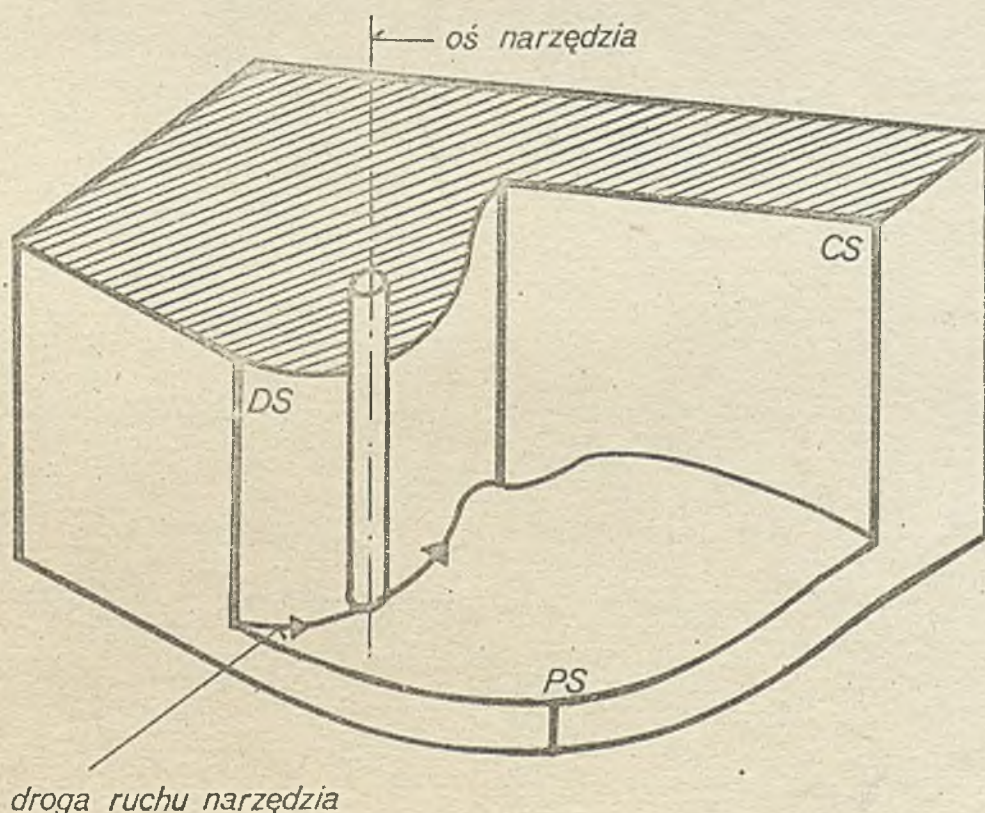


# biuletyn informacyjny

4  
'81



P. 3057/81  
OBIEKTOWE  
SYSTEMY  
KOMPUTEROWE



## APT

Zjednoczenie Przemysłu Automatyki i Aparatury Pomiarowej „MERA”  
Instytut Maszyn Matematycznych „MERA IMM” Branżowy Ośrodek INTE



Niniejszym potwierdzam, że niezgodnie z umową pomiędzy Metronexem a Data Loop, w której moje stanowisko jako Dyrektora i Pełnomocnego Kierownika przedsięwzięcia było wyraźnie określone, zostałem usunięty z mojego stanowiska w bardzo krótkim terminie bez żadnego przekonującego uzasadnienia.

Następnie zostało mi zaproponowane stanowisko "Głównego Konstruktora", którego nie zgodziłem się przyjąć jako niezgodnego z pierwotnymi warunkami zaakceptowanymi przez wszystkie strony w momencie rozpoczęcia prac nad przedsięwzięciem.

Stanowisko Głównego Konstruktora upoważnia jedynie do kierowania projektowaniem bez możliwości podejmowania decyzji w zakresie polityki, którą pozostawia się Dyrektorowi Zakładu Doświadczalnego Minikomputerów ZDM.

Główny Konstruktor nie ma wpływu na czynności produkcyjne ani głosu decydującego w zakresie polityki inwestycyjnej.

W momencie pozbawienia mnie stanowiska zgodziłem się ze stanowiskiem - opinią Data Loop, że umowa dotycząca projektu K-202 została efektywnie zerwana przez stronę polską i stąd zgodziłem się również z decyzją Data Loop, aby nie umieścić nazwy PHZ Metronex w ostatecznym wniosku o udzielenie patentu w Londynie do czasu kiedy sytuacja się wyjaśni.

## Biuletyn Informacyjny OBIEKTOWE SYSTEMY KOMPUTEROWE

Redakcja Biuletynu Informacyjnego "Obiektowe Systemy Komputerowe" z przykrością zawiadania, że do niektórych egzemplarzy Biuletynu nr 3/1981 pomyłkowo został dołączony niezweryfikowany tekst tłumaczenia listu /str. 34 a/. Uprzejmie prosimy o wycofanie wadliwego tekstu i wymianę na tekst zweryfikowany. Przepraszamy!

P.3057/81

Rok XIX



Nr 4

1981

Spis treści

Содержание

Contents

GUTOWSKA H.: Programowanie  
w języku APT. Cz.2. s. 3-95

ГУТОВСКА Х.: Программирование  
в языке APT. Ч.2 . . . с.3-95

GUTOWSKA H.: Programming in  
APT language .P.2 . p. 3-95





# D W U M I E S I E C Z N I K

Wydaje:

I N S T Y T U T   M A S Z Y N   M A T E M A T Y C Z N Y C H

Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej Technicznej i Ekonomicznej

## KOMITET REDAKCYJNY

dr inż. Stanisława Bonkowicz-Sittauer, doc.mgr Jan Borowiec,  
mgr Cezary Dziadosz /sekretarz redakcji/,  
doc.dr inż. Jan Łyskanowski, doc.dr hab.inż. Stanisław Majerski,  
doc.dr inż. Henryk Orłowski /redaktor naczelny/,  
dr Riotr Perkowski

Opracowanie graficzne: Barbara Kostrzewska

Adres redakcji: ul.Krzywickiego 34, 02-078 Warszawa  
tel.28-37-29 lub 21-84-41 w.244



mgr inż. Halina GUTOWSKA  
Instytut Maszyn Matematycznych

## Programowanie w języku APT Cz.II. Programowanie drogi narzędzia

Od Redakcji

Oddajemy do rąk Czytelników II część podręcznika programowania obrabiarek w języku APT.

Cz. I - dotyczącą definiowania kształtu części detali opublikowaliśmy w numerze 5-6/1979 Biuletynu Informacyjnego OSK.

W cz. II - są omówione m.in.: programowanie w układzie wieloosiowym, struktura systemu APT i jego możliwości diagnostyczne oraz specyficzne instrukcje rozszerzające sposoby programowania przedstawione w całości podręcznika.

### Spis treści

10. Informacje wstępne o programowaniu drogi narzędzia
11. Definicja narzędzia
  - 11.1. Podstawowa instrukcja definicji narzędzia
  - 11.2. Specjalna postać definicji narzędzia
12. Definicje zakresu tolerancji
  - 12.1. Proste instrukcje tolerancji
  - 12.2. Rozszerzone instrukcje tolerancji
13. Programowanie punktowe
  - 13.1. Instrukcja początkowego ustawienia narzędzia
  - 13.2. Instrukcja ruchu bezwzględnego
  - 13.3. Instrukcja ruchu przyrostowego
  - 13.4. Instrukcje ruchu punktowego wykorzystujące rozkłady punktów
14. Powierzchnie wymagane przy opisie drogi narzędzia
  - 14.1. Powierzchnia przedmiotu
  - 14.2. Powierzchnia prowadząca
  - 14.3. Powierzchnia ograniczająca
15. Przesuw wstępny narzędzia
  - 15.1. Instrukcje INDIRV i INDIRP
  - 15.2. Instrukcje przesuwu wstępnego
  - 15.3. Instrukcja SRFVCT
  - 15.4. Instrukcja OFFSET
16. Instrukcje ruchu narzędzia
  - 16.1. Modyfikatory kierunkowe
  - 16.2. Niejawnie określona powierzchnia ograniczająca
  - 16.3. Wielokrotna powierzchnia ograniczająca
  - 16.4. Wielokrotne przecięcie powierzchni ograniczającej
  - 16.5. Informacje dodatkowe o modyfikatorach pozycyjnych TO, ON, PAST, TANTO
  - 16.6. Uwagi dodatkowe o możliwości popełnienia błędów związanego z ustawianiem narzędzia względem powierzchni



17. Instrukcja THICK
18. Instrukcja POCKET
  - 18.1. Droga narzędzia przy wykonywaniu wybrania ulżeniowego
  - 18.2. Obliczanie odległości pomiędzy kolejnymi przejściami narzędzia wokół wybrania ulżeniowego
19. Przekształcanie drogi narzędzia
  - 19.1. Instrukcja przekształcania drogi narzędzia - TRACUT
  - 19.2. Instrukcja kopiowania drogi narzędzia - COPY
20. Instrukcje specjalne w języku APT
21. Przykłady prostych programów obróbki części

#### 10. INFORMACJE WSTĘPNE O PROGRAMOWANIU DROGI NARZĘDZIA

W części I opracowania<sup>\*</sup> zatytułowanej "Definiowanie kształtu części" były omówione sposoby opisanie kształtu geometrycznego detalu, który chcemy otrzymać w wyniku obróbki. Aby jednak otrzymać program opisujący obróbkę tej części, do instrukcji definiujących kształt geometryczny detalu należy dołączyć instrukcje opisujące sposób przesuwania się narzędzia wzdłuż zadanego kształtu czyli należy określić tzw. drogę narzędzia. Trzeba więc opisać:

- początkowe ustawienie narzędzia, czyli podać współrzędne punktu, w którym będzie się znajdowało narzędzie na początku obróbki - służy do tego instrukcja początkowego ustawienia narzędzia (zob. pkt 13),
- przesunięcie narzędzia do ohwili osiągnięcia obrabianej powierzchni - służy do tego instrukcja przesuwu wstępnego (zob. pkt 15),
- ruch roboczy narzędzia, opisujący proces obróbki części - służy do tego instrukcje ruchu narzędzia (zob. pkt 16).

Będą również omówione pewne instrukcje dodatkowe, ułatwiające programiście opisanie drogi narzędzia.

W programie obróbki części należy także umieścić tzw. definicję kształtu narzędzia (zob. pkt 11). Jest ona istotna dla systemu APT, który jako efekt wykonania programu obróbki części musi wygenerować ciąg punktów opisujących kolejne położenia punktu końcowego narzędzia.

Ponieważ droga narzędzia jest przez system APT aproksymowana, należy w programie określić pasmo tolerancji, z jaką będzie aproksymowany uzyskany kształt części - służy do tego definicje zakresu tolerancji (zob. pkt 12).

Znajomość tych instrukcji pozwala na pisanie programów obróbki części dla obrabiarek sterowanych numerycznie w 3 osiach (instrukcje pozwalające na sterowanie ruchem narzędzia w 4 lub 5 osiach będą omówione w części III niniejszego opracowania). Programy takie - po umieszczeniu w nich tzw. instrukcji postprocesora, opisujących parametry technologiczne procesu obróbki (będą one omówione w części III opracowania) - są już pełnymi programami obróbki części. Po przetworzeniu przez system APT oraz program postprocesora, mogą one być wykonywane na obrabiarkach sterowanych numerycznie. Należy też zwrócić uwagę, że aby uzyskać poprawny z punktu widzenia systemu APT program, należy w nim umieścić instrukcję początku i końca programu. Podczas uruchamiania programu obróbki części korzystne jest nieraz wyprowadzanie pewnych wyników pośrednich (dla zapewnienia kontroli) - tego typu instrukcje pomocnicze języka APT będą omówione w pkt. 20 niniejszego opracowania.

Język APT ma także instrukcje opisujące desyć złożone drogi narzędzia - instrukcje te będą omówione w punktach 17 i 18. Dla początkującego programisty zaleca się opuszczenie tych punktów przy pierwszym czytaniu i skoncentrowanie się na prostszym sposobie opisu drogi narzędzia, za pomocą instrukcji ruchu.

\* Biuletyn Informacyjny OBIEKTOWE SYSTEMY KOMPUTEROWE nr 5-6/1979



W celu ułatwienia posługiwania się niniejszym opracowaniem fragmenty trudniejsze, które opisują pewne bardziej skomplikowane problemy dotyczące ruchu narzędzia, są oznaczone gwiazdką. Fragmenty te przy pierwszym czytaniu można opuścić.

## 11. DEFINICJA NARZĘDZIA

Przed określeniem jakiegokolwiek przesunięcia narzędzia, w programie obróbki części należy opisać kształt ostrza tego narzędzia.

### 11.1. Podstawowa instrukcja definicji narzędzia

W języku APT narzędzie może mieć kształt przedstawiony na rys. 100a. Instrukcja definiująca taki kształt narzędzia zawiera słowo kluczowe CUTTER i ma następującą postać:

CUTTER/d,r,e,f, $\alpha$ , $\beta$ , h

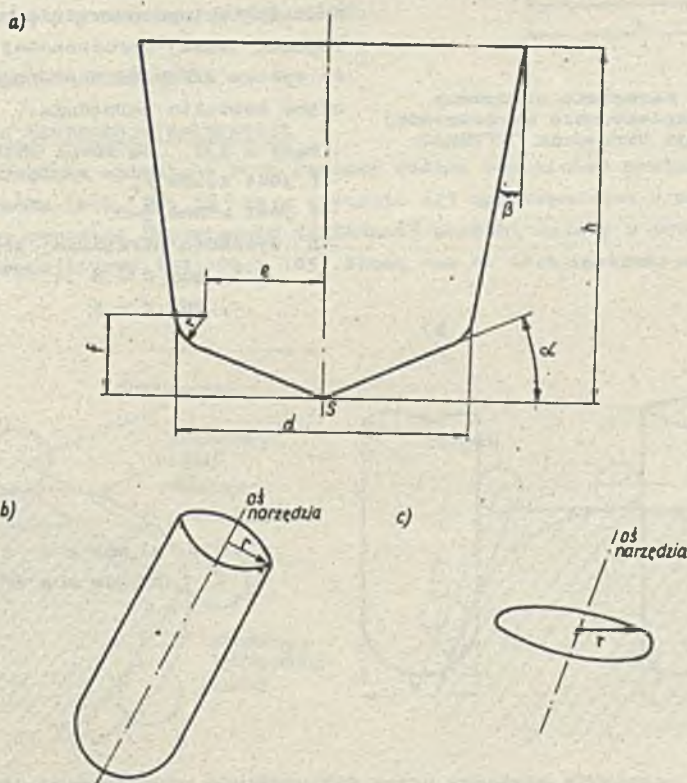
gdzie: d - jest średnicą narzędzia

r - jest promieniem zaokrąglenia narzędzia

e, f - opisują położenie środka okręgu zaokrąglenia

$\alpha$ ,  $\beta$  - są kątami nachylenia powierzchni narzędzia  
(dokładne ich znalezienie zilustrowano na rys. 100a)

h - jest wysokością narzędzia.



Rys. 100. Dopuszczalny kształt narzędzia w języku APT z naniesionym znaczeniem parametrów z ogólnej definicji narzędzia

- a) dla podstawowej definicji narzędzia (S - punkt końcowy narzędzia)
- b) dla specjalnej definicji narzędzia (narzędzie pierścieniowe)
- c) dla specjalnej definicji narzędzia (narzędzie dyskowe)



Wszystkie parametry występujące w instrukcji CUTTER muszą mieć wartości dodatnie, zaś  $\alpha$  i  $\beta$  muszą przyjmować wartości z przedziału od 0 do 90. Dokładne znaczenie parametrów definicji narzędzia przedstawia rys. 100a.

Taki sposób opisu kształtu narzędzia używany w języku APT wynika z faktu, że APT jest systemem przeznaczonym głównie do frezowania złożonych kształtów przestrzennych na obrabiarkach o 3 do 5 osi sterowanych. W związku z tym jako narzędzie jest zwykle używany frez, a właśnie taka definicja narzędzia pozwala na opisanie kształtu freza.

Dla prostych narzędzi nie jest potrzebne stosowanie tak skomplikowanych definicji.

Język APT pozwala na definiowanie prostych narzędzi za pomocą uproszczonej postaci definicji

CUTTER/d  
CUTTER/d,r

gdzie: d - jest średnicą narzędzia,  
r - jest promieniem zaokrąglenia.

Pierwsza postać definicji umożliwia opisanie narzędzia płasko zakończzonego (frezu ośłowego). Kształt takiego narzędzia przedstawia rys. 101. Definicja w takiej uproszczonej postaci powoduje,

że system APT robi następujące założenia dotyczące kształtu narzędzia:

- kąty  $\alpha$  i  $\beta$  są równe zero,
- f oraz r są zerami,
- e jest równe  $\frac{d}{2}$ ,
- h (wysokość narzędzia) jest równa 5.

Druga postać definicji określa narzędzie kuliste lub zaokrąglone - w zależności od wielkości promienia zaokrąglenia r.

Kształt takiego narzędzia przedstawia rys. 102. Podanie takiej uproszczonej definicji powoduje, że system APT robi następujące założenia dotyczące kształtu narzędzia:

- kąty  $\alpha$  i  $\beta$  są równe zero,
- f jest równe r,
- e jest równe  $\frac{d}{2} - r$
- h (wysokość narzędzia) jest równa:
  - r, gdy  $r \leq 5$
  - 5, gdy  $r > 5$

a)

b)



a) gdy  $r < d/2$

b) gdy  $r = d/2$

Rys. 102. Kształt narzędzia uzyskany przez zastosowanie uproszczonej definicji narzędzia CUTTER/d,r



## \* 11.2. Specjalna postać definicji narzędzia

Specjalna postać instrukcji CUTTER jest następująca:

$$\text{CUTTER/OPTION, } \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \text{OFF} \\ r, h \end{bmatrix}$$

- gdzie: OPTION - modyfikator wskazujący, że jest to specjalna postać definicji narzędzia,
- 1 - wskazuje, że narzędzie będzie używane dla powierzchni przedmiotu (będzie ona opisana w pkt. 14),
  - 2 - wskazuje, że narzędzie będzie używane dla powierzchni prowadzącej (będzie ona opisana w pkt. 14),
  - OFF - modyfikator wskazujący, że podana wcześniej specjalna definicja narzędzia przestaje obowiązywać,
  - r - promień narzędzia,
  - h - wysokość narzędzia liczona od podstawy wzdłuż osi narzędzia.

Instrukcja powyższa pozwala na zdefiniowanie narzędzia pierścieniowego (przykład na rys. 100b) lub dyskowego (rys. 100c) - w tym przypadku należy podać  $h = 0$ .

W ten sposób zdefiniowane narzędzie będzie stosowane zamiast narzędzia opisanego za pomocą podstawowej definicji narzędzia (zob. pkt 11.1) jedynie w stosunku do wskazanej w definicji specjalnej powierzchni (tzn. powierzchni przedmiotu lub prowadzącej - zob. pkt 14). Definicja taka obowiązuje, dopóki nie zostanie podana nowa specjalna definicja narzędzia lub instrukcja CUTTER z modyfikatorem OFF, czyli

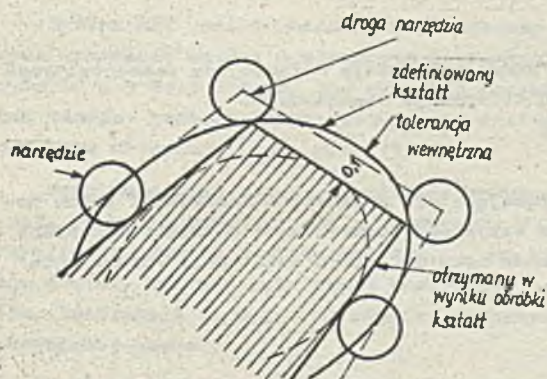
$$\text{CUTTER/OPTION, } \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, \text{OFF}$$

Specjalną postać definicji narzędzia stosuje się rzadko, jedynie w szczególnych sytuacjach. Odpowiedni przykład będzie omówiony w pkt. 16.6.

## 12. DEFINICJE ZAKRESU TOLERANCJI

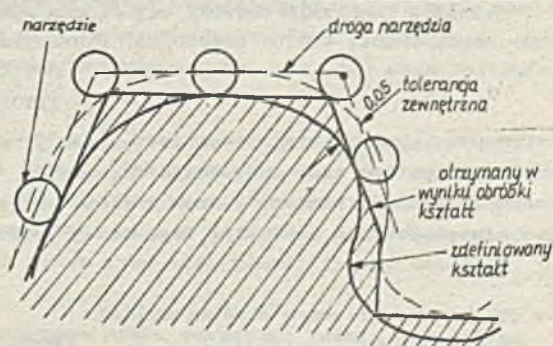
### 12.1. Podstawowe instrukcje tolerancji

Przesunięcia narzędzia opisujące ruch roboczy wzdłuż obrabianej powierzchni czyli określone tzw. instrukcjami ruchu (zob. pkt 16) są w systemie APT aproksymowane w postaci ciągu odcinków prostoliniowych. Aby zapewnić odpowiednią dokładność obróbki należy w programie obróbki części określić pasmo tolerancji (rys. 103, 104 i 105). Służą one do tego instrukcje INTOL, OUTTOL oraz TOLER.



Rys. 103. Droga narzędzia przy zdefiniowanych tolerancjach

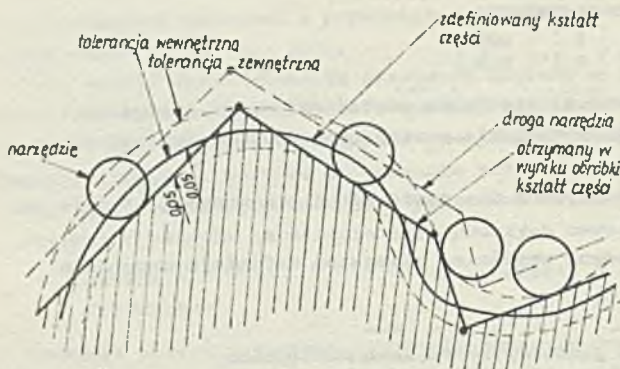
INTOL/Ø.1  
OUTTOL/Ø



Rys. 104. Droga narzędzia przy zdefiniowanych tolerancjach

INTOL/Ø  
OUTTOL/Ø.05





Rys. 105. Droga narzędzia przy zdefiniowywaniu pasmach tolerancji

INTOL/ $\phi.03$   
OUTTOL/ $\phi.05$

Para instrukcji INTOL oraz OUTTOL określa razem pasmo tolerancji. Na rys. 103 przedstawiono znaczenie instrukcji INTOL (gdy tolerancja zewnętrzna, określona instrukcją OUTTOL jest równa zero). Zaznaczone na nim fragment zdefiniowanego kształtu części oraz pasmo tolerancji wewnętrznej. Schematycznie zaznaczone na rysunku narzędzie porusza się w taki sposób, aby uzyskać kształt części zawierający się w zdefiniowanym paśmie tolerancji. Na rysunku zaznaczono również obliczoną przez system APT drogę narzędzia, czyli kolejne położenia punktu końcowego narzędzia.

Na rys. 104 przedstawiono z kolei zaznaczenie instrukcji OUTTOL (gdy tolerancja wewnętrzna określona instrukcją INTOL jest równa zero), zaś na rys. 105 - sytuację, gdy tolerancja wewnętrzna oraz zewnętrzna są różne od zera.

Należy podkreślić, że tolerancja wewnętrzna i zewnętrzna w odniesieniu do tej samej powierzchni nie mogą być równocześnie zerami.

Pasmo tolerancji można określić również za pomocą instrukcji:

TOLER/ $t_3$

Działanie tej instrukcji jest równoważne działaniu pary instrukcji:

OUTTOL/ $t_3$   
INTOL/ $\phi$

Jeżeli w programie obróbki części nie wystąpiła żadna instrukcja definiująca pasmo tolerancji (czyli INTOL, OUTTOL ani TOLER), przyjmowane są tolerancje standardowe:

OUTTOL/.0005  
INTOL/ $\phi$

Instrukcje definiujące pasmo tolerancji są obowiązujące dla wszystkich instrukcji ruchu dopóki nie wystąpi inna instrukcja tolerancji. Wówczas staje się obowiązujące ostatnio określone pasmo tolerancji. Należy jednak zwrócić uwagę, że każda nowa definicja tolerancji "przesłania" jedynie poprzednią definicję tego samego rodzaju.

#### Przykład

We fragmencie programu obróbki części

OUTTOL/ $\phi.01$   
:  
INTOL/ $\phi.05$   
:  
:

do momentu pojawienia się instrukcji INTOL obowiązuje tolerancja zewnętrzna równa  $\phi.01$ , natomiast

Instrukcja INTOL ma postać:

INTOL/ $t_1$

gdzie:  $t_1$  - jest wielkością tolerancji wewnętrznej.

Instrukcja ta definiuje tzw. tolerancję wewnętrzną (dolną odchyłkę). Jest to maksymalna wielkość "ubytku" materiału w stosunku do zadanego kształtu.

Instrukcja OUTTOL definiuje tzw. tolerancję zewnętrzną (górną odchyłkę) czyli maksymalną wielkość "naddatku" materiału w stosunku do zadanego kształtu. Ma ona postać:

OUTTOL/ $t_2$

gdzie:  $t_2$  - jest wielkością tolerancji zewnętrznej.



w momencie pojawienia się instrukcji INTOL pasmo tolerancji zostanie rozszerzone (będzie wynikać równocześnie z instrukcji INTOL oraz OUTTOL) i będzie wynosił:  
tolerancja zewnętrzna = 0.01,                      tolerancja wewnętrzna = 0.05  
czyli w sumie pasmo tolerancji osiągnie szerokość 0.06.

## 12.2. Rozszerzone instrukcje tolerancji

W pkt. 14 będą omówione, stosowane w systemie APT, powierzchnie charakterystyczne służące do określenia przesunięcia narzędzia (tzw. powierzchnia przedmiotu, powierzchnia prowadząca i powierzchnia ograniczająca). W pewnych sytuacjach konieczne jest zdefiniowanie różnych pasm tolerancji dla tych powierzchni. Można to zrobić za pomocą rozszerzonych instrukcji tolerancji. Mają one postać:

```
OUTTOL/tps [, tds [, tos [, tos1 ]]]  
INTOL/tps [, tds [, tos [, tos1 ]]]  
TOLER/tps [, tds [, tos [, tos1 ]]]
```

gdzie: tps - jest tolerancją dla powierzchni przedmiotu  
tds - jest tolerancją dla powierzchni prowadzącej  
tos - jest tolerancją dla pierwszej powierzchni ograniczającej  
tos1 - jest tolerancją dla drugiej powierzchni ograniczającej.

Znaczenie określonego pasma tolerancji dla poszczególnych powierzchni jest takie samo, jak dla prostych instrukcji tolerancji.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że gdy w rozszerzonej instrukcji tolerancji określono mniej niż cztery parametry, to system APT stosuje ostatnio określoną wartość tolerancji dla pozostałych powierzchni (dla których wartości tolerancji nie zostały jawnie podane w instrukcji).

### Przykład

```
Instrukcja      INTOL/0.001  
jest równoważna wystąpieniu instrukcji  
                INTOL/0.001,0.001,0.001,0.001  
zaś instrukcja  
                OUTTOL/0.1,0.01,0.05  
jest równoważna wystąpieniu instrukcji  
                OUTTOL/0.1,0.01,0.05,0.05
```

## 13. PROGRAMOWANIE PUNKTOWE

System APT jest w zasadzie przeznaczony do przygotowywania programów obróbki części opisujących wykonanie części o złożonych kształtach przestrzennych na obrabiarkach sterowanych numerycznie w 3 do 5 osiach. Aby określić przesunięcie narzędzia, w wyniku którego otrzymuje się tak złożony kształt, wykorzystuje się instrukcje ruchu narzędzia (zob. pkt 16) oraz instrukcje przesuwu wstępnego (zob. pkt 15).

Potrzebne jest jednak określenie punktu początkowego, w którym będzie ustawione narzędzie, (tzn. punkt końcowy narzędzia, oznaczony S na rys. 100a), jak również często potrzebne będzie określenie pewnych punktów pośrednich, do których wycofuje się narzędzie po wykonaniu fragmentów części. Do tego celu służą instrukcje powodujące przesunięcie narzędzia do określonych punktów. Instrukcje te mogą być również wykorzystane do opisu wykonania pewnej liczby otworów w obrabianej części.

Należy jednak zwrócić uwagę, że instrukcje punktowego ruchu narzędzia pełnią pomocniczą rolę w języku APT przy opisie drogi narzędzia.

Wszystkie tego typu instrukcje powodują umieszczenie punktu końcowego narzędzia (punkt S na rys. 100a) w punkcie podanym w instrukcji.

### 13.1. Instrukcja początkowego ustawienia narzędzia

Instrukcja początkowego ustawienia narzędzia (FROM) określa położenie, w którym należy



umieścić punkt końcowy narzędzia (punkt S). Instrukcję tę należy podać zanim zostanie podana jakakolwiek inna instrukcja definiująca pozycję narzędzia.

Później użyte w programie obróbki części instrukcje FROM będą zwykle powodować ruch narzędzia z aktualnego położenia narzędzia do punktu podanego w instrukcji FROM.

Ogólna postać instrukcji FROM jest następująca:

FROM/x,y

lub

FROM/  $\left[ \frac{PT}{x,y,z} \right] \left[ \frac{WE}{a,b,c} \right] [f]$

gdzie: PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego

punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu,

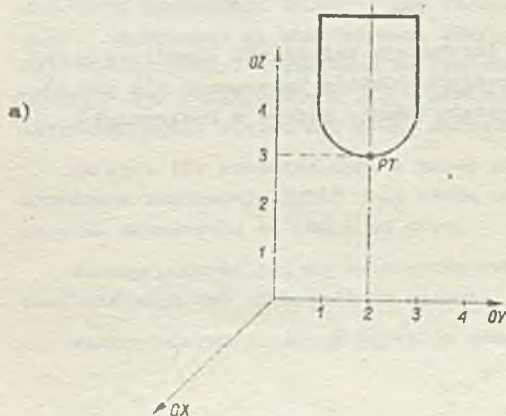
x,y,z - są odpowiednimi współrzędnymi prostokątnymi punktu,

WE - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego wektora lub definicją zagnieżdżoną wektora,

a,b,c - są odpowiednimi składowymi wektora względem osi OX, OY, OZ,

f - jest wartością szybkości posuwu.

Punkt podany w instrukcji FROM określa położenie, w jakim ma zostać umieszczony punkt końcowy narzędzia (punkt S). Podany w instrukcji wektor (w postaci nazwy wektora lub składowych wektora) opisuje położenie osi narzędzia (zob. rys. 100). Gdy parametr określający położenie osi narzędzia będzie w instrukcji FROM pominięty, wówczas system APT przyjmuje, że oś narzędzia jest prostopadła do płaszczyzny XY, czyli, że położenie osi narzędzia opisuje wektor (0,0,1) (rys. 106).



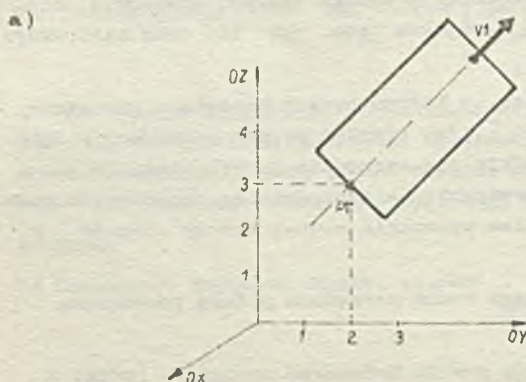
b) CUTTER/2,1  
FROM/0,2,3

lub

PT=POINT/0,2,3  
CUTTER/2,1  
FROM/PT

Rys. 106. Ustawienie narzędzia za pomocą instrukcji FROM gdy nie jest podany wektor osi narzędzia

- a) instrukcja graficzna  
b) instrukcje języka APT



b) CUTTER/2  
FROM/0,2,3,0,1,1

lub

CUTTER/2  
V1=VECTOR/0,1,1  
FROM/0,2,3,V1

lub

CUTTER/2  
PT=POINT/0,2,3  
V1=VECTOR/0,1,1  
FROM/PT,V1

Rys. 107. Ustawienie narzędzia za pomocą instrukcji FROM gdy określony jest wektor osi narzędzia

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Na rys. 107 przedstawiono ustawienie narzędzia spowodowanego przez instrukcję FROM. Podano dwa sposoby opisu położenia osi narzędzia, tj. za pomocą nazwy wcześniej zdefiniowanego wektora oraz składowych wektora.

Ostatnie, opcjonalne pole w instrukcji FROM służy do określenia szybkości posuwu (jest to parametr technologiczny obróbki - zob. instrukcje postprocesora), która ma być zachowana aż do wystąpienia nowej wartości w następnych instrukcjach.

Należy zwrócić uwagę, że przy zastosowaniu pierwszej postaci instrukcji (FROM/x,y) nie można zdefiniować położenia osi narzędzia oraz szybkości posuwu. W tej postaci instrukcji FROM do określenia współrzędnej z punktu opisującego położenie narzędzia może być wykorzystana instrukcja ZSURF (zob. pkt 5). Współrzędna ta przyjmuje wartość zero, gdy instrukcja ZSURF nie wystąpiła.

### 13.2. Instrukcja ruchu bezwzględnego

Instrukcja ruchu bezwzględnego GOTO jest stosowana w celu przesunięcia narzędzia z jego aktualnego położenia do podanego w instrukcji punktu. Punkt końcowy narzędzia zostanie umieszczony w określonym punkcie. Ogólna postać instrukcji jest następująca:

GOTO/x,y

gdzie: PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu,  
x,y,z - są odpowiednimi współrzędnymi punktu,  
WE - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego wektora lub definicją zagnieżdżoną wektora,  
a,b,c - są odpowiednimi składowymi wektora względem osi OX, OY, OZ,  
f - jest wartością szybkości posuwu.

lub

$$\text{GOTO} / \left[ \begin{matrix} \text{PT} \\ x,y,z \end{matrix} \right] \left[ \begin{matrix} \text{WE} \\ a,b,c \end{matrix} \right] \left[ ,f \right]$$

Instrukcja spowoduje takie przesunięcie narzędzia, że jego punkt końcowy zostanie umieszczony w podanym w instrukcji punkcie. Punkt ten można określić przez podanie nazwy wcześniej zdefiniowanego punktu lub przez podanie współrzędnych tego punktu. Pozostałe parametry w instrukcji mają takie samo znaczenie, jak w instrukcji FROM (zob. pkt 13.1).

W wypadku zastosowania instrukcji w postaci GOTO/x,y do określenia współrzędnej z punktu opisującego położenie narzędzia może być wykorzystana instrukcja ZSUR (zob. pkt 5). Współrzędna ta przyjmuje wartość zero, gdy instrukcja ZSURF nie wystąpiła.

### 13.3. Instrukcja ruchu przyrostowego

Instrukcja GODLTA opisuje ruch narzędzia w sposób przyrostowy. Oznacza to, że w instrukcji podane są wartości przyrostów, które mają być dodane do odpowiednich współrzędnych opisujących aktualne położenie narzędzia (przez aktualne położenie narzędzia rozumiemy położenie jego punktu końcowego). Za pomocą tej instrukcji zostaje opisany ruch narzędzia w kierunku każdej z osi, natomiast nie jest podany punkt, do którego ma być przesunięte narzędzie (jak to ma miejsce w instrukcji GOTO).

Ogólna postać instrukcji GODLTA jest następująca:

$$\text{GODLTA} \left[ \begin{matrix} \text{WE} \\ dx,dy,dz \\ d \end{matrix} \right] \left[ ,f \right]$$

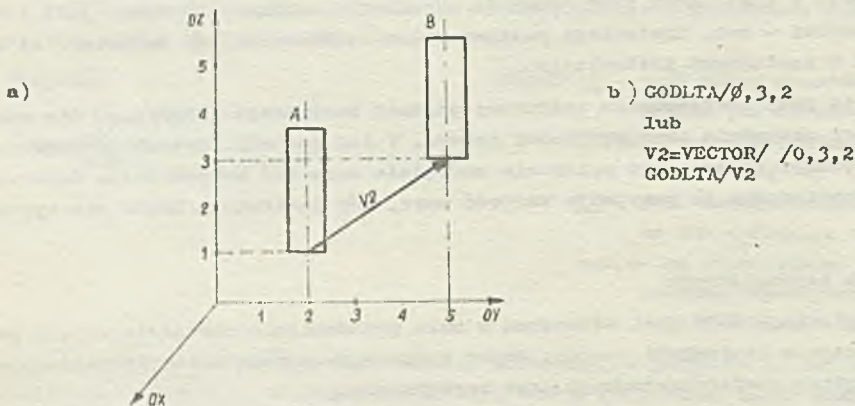
gdzie: WE - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego wektora lub definicją zagnieżdżoną wektora; składowe wektora będą dodane do odpowiednich współrzędnych punktu opisującego aktualne (tzn. w momencie wystąpienia instrukcji GODLTA) położenie narzędzia w celu uzyskania współrzędnych punktu opisującego nowe położenie narzędzia,

dx,dy,dz - są przyrostami wartości współrzędnych wzdłuż odpowiednio osi OX,OY,OZ; przyrosty te zostaną dodane do odpowiednich współrzędnych punktu opisującego aktualne położenie narzędzia w celu uzyskania współrzędnych punktu opisującego nowe położenie narzędzia,

d - wskazuje, o jaką wielkość należy przesunąć narzędzie wzdłuż osi narzędzia; dodatnia wartość d określa ruch narzędzia podobny do odsuwania narzędzia, natomiast ujemna wartość - definiuje ruch podobny do operacji zagłębiana narzędzia,



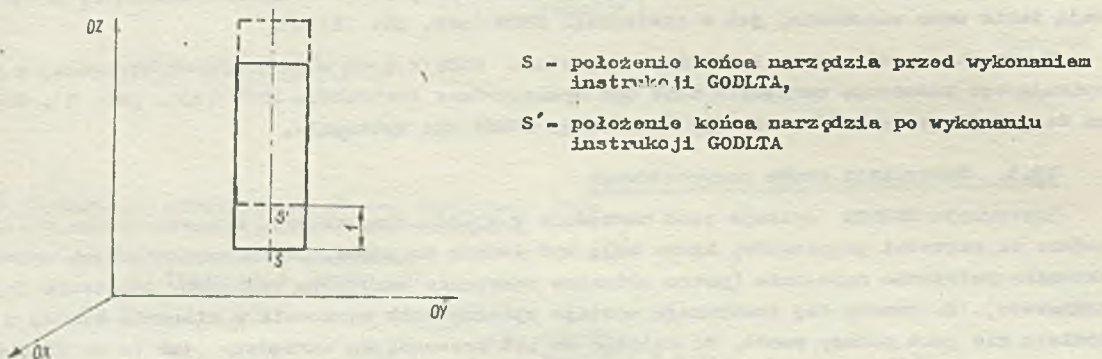
f - określa szybkość posuwu. Parametr ten ma analogiczne znaczenie, jak w instrukcji FROM.



Rys. 108. Przesunięcie narzędzia za pomocą instrukcji GODLTA (A - aktualne położenie narzędzia, w momencie wystąpienia instrukcji GODLTA, B - położenie narzędzia po wykonaniu instrukcji GODLTA)

a) instrukcja graficzna  
 b) instrukcja języka APT

Na rys. 108 przedstawiono dwa sposoby określenia przesunięcia narzędzia wykorzystujące instrukcję GODLTA - przez podanie wielkości przyrostów wzdłuż osi układu współrzędnych, bądź też przez podanie wektora opisującego analogiczne przesunięcie. Z kolei rys. 109 pokazuje przesunięcie narzędzia wzdłuż jego osi.



Rys. 109. Przesunięcie narzędzia wzdłuż jego osi za pomocą instrukcji GODLTA/1

#### 13.4. Instrukcje ruchu punkowego wykorzystujące rozkłady punktów

Można zdefiniować punktowy ruch narzędzia wykorzystując definicję rozkładu punktów. Instrukcja taka ma następującą postać:

$GOTO/ RP [ , \text{modyfikatory} ]$

gdzie: RP - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego rozkładu punktów,

modyfikatory - są ciągami oddzielonych przecinkami modyfikatorów OMIT, CONST, INVERS,

RETAIN, AVOID lub THRU wraz z odpowiednimi parametrami. Znaczenie poszczególnych modyfikatorów będzie omówione poniżej.



## Instrukcja

### GOTO/RP

jest równoważna serii instrukcji GOTO określających ruch narzędzia do każdego z punktów zdefiniowanych przez rozkład punktów. Ruch odbywa się od pierwszego do ostatniego punktu w rozkładzie, zgodnie z kolejnością ustaloną przez definicję rozkładu punktów. Przesunięcie między punktami będzie odbywać się po najkrótszej drodze łączącej te punkty i będzie równoległe do płaszczyzny OXY, o ile współrzędne "z" punktów sąsiadnych są takie same.

Na rys. 110 przedstawiono przykład instrukcji GOTO określającej ruch między punktami zdefiniowanymi za pomocą rozkładu kołowego ROZ1. Rozkład ten składa się z 5 punktów (kolejność punktów w rozkładzie jest zaznaczona na rysunku). W wyniku wykonania instrukcji GOTO/ROZ1 narzędzie zostanie przesunięte między punktami 1-2-3-4-5 po najkrótszej drodze.

Modyfikatory INVERS, OMIT, RETAIN, AVOID, THRU, CONST zwiększają elastyczność zastosowania instrukcji ruchu punktowego wykorzystującej rozkład punktów. Pozwalają one m.in. na pominięcie pewnych punktów bądź też na zmianę kolejności punktów, ustaloną przez definicję rozkładu punktów.

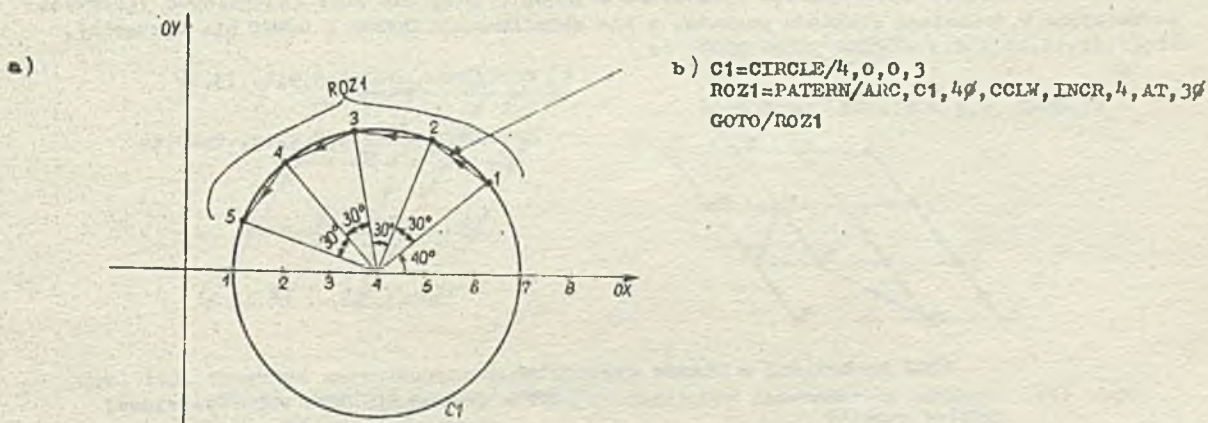
Znaczenie poszczególnych modyfikatorów będzie omówione poniżej.

#### • Modyfikator INVERS

Modyfikator ten określa, że przesunięcia między punktami rozkładu należy dokonać w kolejności odwrotnej w stosunku do podanej w definicji rozkładu punktów. Tak więc, gdy rozkład punktów RP definiuje  $N$  punktów o numerach  $1, 2, \dots, N$ , to instrukcja

GOTO/RP, INVERS

powoduje ruch między punktami w kolejności  $N, N-1, \dots, 2, 1$ .



Rys. 110. Przesunięcie narzędzia spowodowane instrukcją GOTO wykorzystującą rozkład punktów

- a) instrukcja graficzna  
b) instrukcja języka APT

Na przykład w sytuacji przedstawionej na rys. 110 instrukcja

GOTO/ROZ1, INVERS

będzie powodował przesunięcie narzędzia między punktami 5-4-3-2-1.

#### • Modyfikator THRU

Modyfikator ten określa przedział punktów (a właściwie przedział numerów punktów), który będzie używany przez modyfikatory OMIT, RETAIN i AVOID. Modyfikator ten ma postać:

$\dots, P_p, \text{THRU}, P_k, \dots$

gdzie:  $P_p$  - jest numerem pierwszego punktu,

$P_k$  - jest numerem ostatniego punktu.

Powyższy zapis oznacza, że będą brane pod uwagę punkty o numerach  $P_p, P_p+1, P_p+2, \dots, P_k$ .



### Przykład 1

Zapis

3, THRU, 8

oznacza, że będą brane pod uwagę punkty o numerach 3, 4, 5, 6, 7, 8. Należy zwrócić uwagę, że przedział określony modyfikatorem THRU nie musi być określony zgodnie z kolejnością ruchu w instrukcji GOTO, np. zapis

8, THRU, 3

jest równoważny zapisowi przedstawionemu w powyższym przykładzie.

### • Modyfikator OMIT

Modyfikator OMIT pozwala na pominięcie przesunięcia do pewnych punktów określonych w definicji rozkładu punktów. Umieszczenie w instrukcji ruchu punkowego wykorzystującej rozkład punktów modyfikatora

$$..., OMIT, \begin{Bmatrix} p_1, p_2, \dots, p_n \\ p_p, THRU, p_k \end{Bmatrix} ...$$

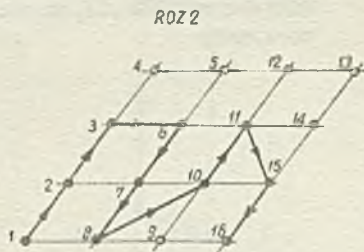
spowoduje pominięcie przy przesunięciu punktów o numerach:

- $p_1, p_2, \dots, p_n$  (gdy użyte będą parametry podane po modyfikatorze OMIT w pierwszej postaci),
- od  $p_p$  do  $p_k$  (gdy użyte będą parametry w drugiej postaci, z zastosowaniem modyfikatora THRU).

Należy zauważyć, że w obu wypadkach obowiązuje następująca numeracja kolejnych punktów:

- ustalona przez modyfikatory INVERS i CONST (modyfikator CONST zostanie omówiony w dalszej części niniejszego punktu),
- ustalona w definicji rozkładu punktów, o ile modyfikatory INVERS i CONST nie wystąpiły.

a)



b) GOTO/ROZ2, OMIT, 4, 5, 9, 12, 13, 14

lub

GOTO/ROZ2, OMIT, 4, 5, 9, 12, THRU, 14

Rys. 111. Przykład zastosowania modyfikatora OMIT w instrukcji GOTO wykorzystującej rozkład punktów

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

Na rys. 111 przedstawiono przykład zastosowania modyfikatora OMIT w wypadku rozkładu równoległego ROZ2. Przy ruchu narzędzia punkty o numerach 4, 5, 9, 12, 13, 14 będą pominięte. Należy zauważyć, że przy zastosowaniu modyfikatora INVERS w analogicznej instrukcji (rys. 112), numeracja punktów będzie odwrotna i w efekcie zostaną pominięte punkty o numerach 3, 4, 5, 8, 12, 13 w definicji rozkładu punktów. W obu przykładach przedstawiono również inny sposób zapisu instrukcji GOTO - z wykorzystaniem modyfikatora THRU.

### • Modyfikator RETAIN

Modyfikator ten umożliwia wskazanie numerów pewnych punktów w rozkładzie punktów, do których ma nastąpić ruch. Tak więc umieszczenie modyfikatora w instrukcji ruchu punkowego wykorzystującej rozkład punktów

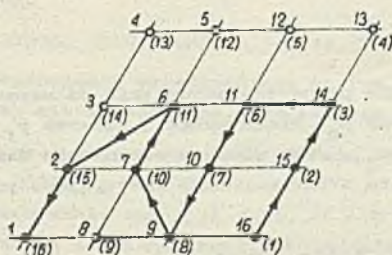
$$..., RETAIN, \begin{Bmatrix} p_1, p_2, \dots, p_n \\ p_p, THRU, p_k \end{Bmatrix} ....$$



a)

ROZ2

b) GOTO/ROZ2, INVERS, OMIT, 4, 5, 6, 12, 13, 14  
lub  
GOTO/ROZ2, INVERS, OMIT, 4, 5, 9, 12, THRU, 14



Rys. 112. Przykład zastosowania modyfikatorów OMIT i INVERS w instrukcji GOTO wykorzystującej rozkład punktów (w nawiasach podano numerację punktów wynikającą z zastosowania modyfikatora INVERS)

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

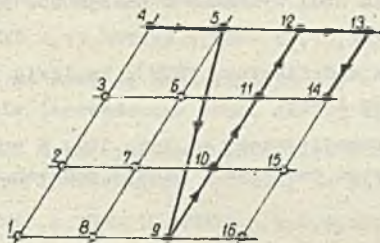
spowoduje wykonanie przesunięcia do punktów o numerach:

- $P_1, P_2, \dots, P_n$  (gdy będą użyte parametry w pierwszej postaci),
- od  $P_p$  do  $P_k$  (gdy będą użyte parametry w drugiej postaci, z zastosowaniem modyfikatora THRU).

Przyjęty sposób numerowania punktów jest analogiczny do omówionego przy modyfikatorze AVOID (tzn. zależy od zastosowania modyfikatorów INVERS i CONST).

Na rys. 113 przedstawiono przykład zastosowania modyfikatora RETAIN w instrukcji ruchu wykorzystującej równoległy rozkład punktów ROZ2, zaś na rys. 113b przedstawiono dwa sposoby zapisu instrukcji powodującej taki sam ruch - jedna z instrukcji wykorzystuje modyfikator THRU.

a)



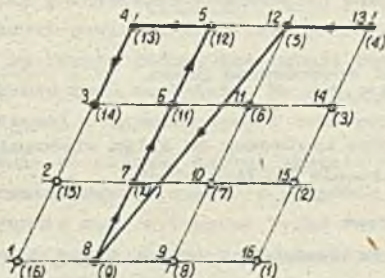
b) GOTO/ROZ2, RETAIN, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14  
lub  
GOTO/ROZ2, RETAIN, 4, 5, 9, THRU, 14

Rys. 113. Przykład zastosowania modyfikatora RETAIN w instrukcji GOTO wykorzystującej rozkład punktów

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Należy zwrócić uwagę, że zastosowanie modyfikatora INVERS zmienia obowiązującą numerację punktów, tak więc analogiczna instrukcja ruchu spowoduje przesunięcie do innych punktów - co zostało zilustrowane na rys. 114.

a)



b) GOTO/ROZ2, INVERS, RETAIN, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14  
lub  
GOTO/ROZ2, INVERS, RETAIN, 4, 5, 9, THRU, 14

Rys. 114. Przykład zastosowania modyfikatorów RETAIN oraz INVERS w instrukcji GOTO wykorzystującej rozkład punktów (w nawiasach podano numerację punktów wynikającą z zastosowania modyfikatora INVERS) a) ilustracja graficzna b) instrukcje języka APT



### • Modyfikator AVOID

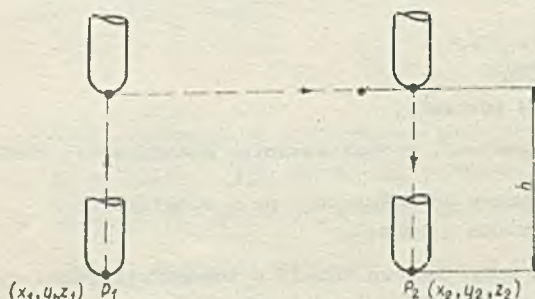
Zastosowanie modyfikatora AVOID umożliwi uzyskanie pionowego odsunięcia od normalnej drogi narzędzia między kolejnymi punktami o numerach  $p_1$  oraz  $p_2$ . Niech punkt o numerze  $p_1$  ma współrzędne  $(x, y, z)$ , zaś punkt  $p_2$  ma współrzędne  $(x_2, y_2, z_2)$ . Jako pionowe odsunięcie została zdefiniowana wielkość  $h$ . W wyniku zastosowania modyfikatora AVOID uzyskamy następujące przesunięcie między punktami  $p_1$  i  $p_2$ :

$$(x, y, z), (x_1, y_1, z_1 + h), (x_2, y_2, z_2 + h), (x_2, y_2, z_2)$$

Zostało to zilustrowane na rys. 115.

Modyfikator AVOID może być stosowany w następującej postaci:

$$..., \text{AVOID}, h, \left[ \begin{matrix} p_1, p_2, \dots, p_n \\ p_p, \text{THRU}, p_k \end{matrix} \right] ...$$



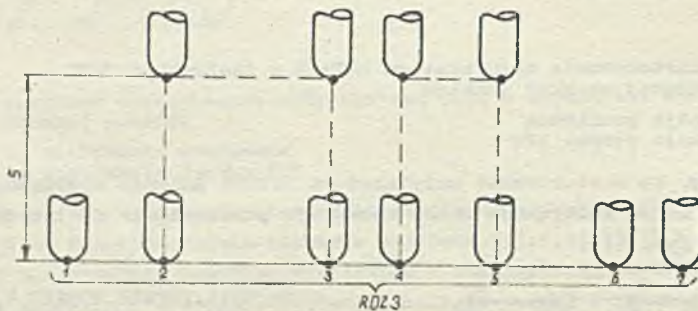
Rys. 115. Przesunięcie między kolejnymi punktami spowodowane zastosowaniem modyfikatora AVOID

Zastosowanie jego spowoduje, że narzędzie będzie "odsunięte" pionowo o wielkość  $h$  przy przesunięciu między dwoma kolejnymi punktami o numerach  $p_1$  oraz  $p_1 + 1$ ; czynność taka zostanie wykonana dla każdego punktu o numerze  $p_1$  pochodzącego:

- z listy  $p_1, p_2, \dots, p_n$  podanej po modyfikatorze AVOID (przy zastosowaniu parametrów w pierwszej postaci); w tym wypadku cała lista punktów podawana jest explicit i przesunięcia będą wykonane w kolejności ich wymienienia,

- z listy punktów od  $p_p$  do  $p_k$  (w wypadku zastosowania modyfikatora THRU); ta lista punktów zdefiniowana jest przez podanie dwóch końcowych punktów  $li + y$ .

Przykład zastosowania modyfikatora AVOID został przedstawiony na rys. 116. W przykładzie tym przy przesunięciu narzędzia między drugim i trzecim oraz otwartym i piątym punktem rozkładu ROZ3 narzędzie będzie podniesione na wysokość 5.



Rys. 116. Przesunięcie między punktami spowodowane przez instrukcję GOTO/ROZ3, AVOID, 5, 2, 4

Należy zwrócić uwagę, że modyfikator ten jest bardzo użyteczny do opisu wiercenia zespołu otworów, gdyż pozwala na wycofanie narzędzia po wywierceniu każdego otworu.

### • Modyfikator CONST

Modyfikator CONST umożliwia programiście określenie numerów punktów dla modyfikatorów OMIT, RETAIN, AVOID zgodnie z kolejnością punktów podaną w definicji rozkładu punktów, a nie ostatnią kolejnością określoną przez modyfikator INVERS.



### Przykład 2

#### Instrukcja

GOTO/ROZ2, INVERS, CONST, OMIT, 4, 5, 9, 12, THRU, 14

spowoduje przesunięcie przedstawione na rys. 111, ale nie takie jak na rys. 112, co miało by miejsce, gdyby nie zastosowano modyfikatora CONST.

W pojedynczej instrukcji GOTO/RP mogą być podawane różne kombinacje modyfikatora AVOID z modyfikatorami RETAIN lub OMIT.

Kolejność wykonywania operacji OMIT, RETAIN i AVOID musi być określona przez wyprowadzany ciąg punktów. Wyjaśnią to bliżej poniższe przykłady.

### Przykład 3

#### Instrukcja

GOTO/ROZ4, AVOID, 5, 3, OMIT, 7, AVOID, 5, 9

w której ROZ4 jest nazwą wcześniej zdefiniowanego rozkładu punktów, powoduje następujące działanie:

- między trzecim i czwartym punktem rozkładu ROZ4 występuje pionowe odsunięcie o wielkości 5
- punkt o numerze 7 zostaje pominięty
- odsunięcie pionowe występuje pomiędzy dziewiątym i dziesiątym punktem.

Obowiązuje numeracja punktów określona w definicji rozkładu punktów.

W instrukcji ruchu punktowego wykorzystującej rozkład punktów dopuszczalne jest nakładanie się operacji jednego rodzaju (opisanej odpowiednim modyfikatorem) z pojedynczą operacją innego rodzaju. Ilustruje to poniższy przykład.

### Przykład 4

Dopuszczalna jest instrukcja:

GOTO/ROZ5, AVOID, 2, 13, RETAIN, 4; THRU, 10, 12, THRU, 15

Powoduje ona, że zostają zachowane punkty o numerach od 4 do 10 oraz od 12 do 15, natomiast pionowe odsunięcie (spowodowane przez AVOID) występuje między trzynastym i czternastym punktem.

Gdyby potrzebne było wykonanie pionowego odsunięcia (o wielkości 3.5) między szóstym a siódmym oraz dziewiątym i dziesiątym punktem, to należałoby zastosować instrukcję o postaci:

GOTO/ROZ3, RETAIN, 4, THRU, 10, AVOID, 3, 5, 6, 9, RETAIN, 12, THRU, 15.

## 14. POWIERZCHNIE WYMAGANE PRZY OPISIE DROGI NARZĘDZIA

System APT wymaga, aby ruch narzędzia opisywany był za pomocą trzech charakterystycznych powierzchni - powierzchni przedmiotu (PS), powierzchni prowadzącej (DS) i powierzchni ograniczającej (CS). Instrukcje powodujące przesunięcie narzędzia względem tych powierzchni zostaną omówione w punkcie 16. Powierzchnia przedmiotu jest jedną z dwóch powierzchni, względem których porusza się narzędzie. Kontroluje ona zwykle głębokość skrawania. Drugą powierzchnią, wzdłuż której przesuwa się narzędzie jest powierzchnia prowadząca.

Ruch wzdłuż powierzchni prowadzącej odbywa się tak długo, dopóki narzędzie nie napotka trzeciej z omawianych powierzchni - tzw. powierzchni ograniczającej. Takie przesunięcie narzędzia opisane jest za pomocą jednej instrukcji ruchu (zob. pkt 16), która jest podstawową instrukcją opisującą roboczy ruch narzędzia. Na rys. 117 przedstawiono przykład położenia powierzchni przedmiotu, prowadzącej i ograniczającej oraz odbywający się względem nich ruch narzędzia.

Powierzchnia obrabiana, której kształt opisuje zbiór definicji geometrycznych (zob. pkt 5) jest zdefiniowana przez system APT w sposób dokładny. Ponieważ jednak większość obrabiarek sterowanych numerycznie może wykonywać tylko ruchy prostoliniowe, należy więc wygenerować szereg odcinków prostoliniowych, które będą aproksymować - w zakresie zadanej tolerancji (zob. pkt 12) - żądany kontur. Takie pojedyncze przesunięcie po odcinku prostoliniowym nazywane jest "podstawowym wektorem drogi narzędzia". Ciąg takich przesunięć, które składają się na ruch określony



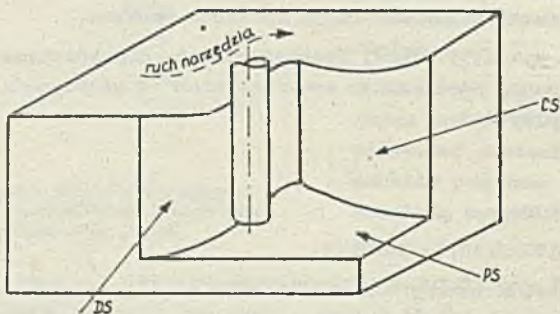
przez podaną kombinację powierzchni przedmiotu, prowadzącej i ograniczającej (czyli opisany za pomocą jednej instrukcji ruchu) nazywać będziemy ciągiem podstawowych przesunięć.

Przedstawione powyżej pojęcia zilustrujemy na następującym przykładzie. Niech narzędzie - w swoim położeniu początkowym - będzie umieszczone w przestrzeni w pewien określony sposób względem powierzchni przedmiotu (PS) i powierzchni prowadzącej (DS). W skutek instrukcji ruchu narzędzie zostaje przesunięte w przestrzeni wzdłuż powierzchni prowadzącej, przy zachowaniu podanego wcześniej ustawienia względem powierzchni przedmiotu, dopóki nie będzie spełniony określony warunek w odniesieniu do powierzchni ograniczającej. W celu opisanego powyższego przesunięcia system APT wygeneruje taką liczbę wektorów drogi narzędzia, aby były spełnione wymagania dotyczące tolerancji w odniesieniu do każdej z powierzchni charakterystycznych.

Poniżej będzie dokładnie omówiony sposób opisu ustawienia narzędzia względem powierzchni charakterystycznych, jak również sposób ich definiowania.

#### 14.1. Powierzchnia przedmiotu

Jak to już wcześniej wspomniano, powierzchnia przedmiotu jest jedną z dwóch powierzchni, wzdłuż których przesuwają się (oczywiście w zakresie tolerancji) narzędzie podczas ruchu roboczego i która zwykle kontroluje głębokość skrawania (rys. 117).



Rys. 117. Ilustracja znalezienia powierzchni przedmiotu (PS) prowadzącej (DS) i ograniczającej (CS)

Definicja powierzchni przedmiotu obowiązuje dla wszystkich następnych ruchów narzędzia, dopóki nie pojawi się definicja nowej powierzchni przedmiotu.

#### • Ustawienie narzędzia względem powierzchni przedmiotu

Ustawienie narzędzia względem powierzchni przedmiotu (dla potrzeb instrukcji ruchu - zob. pkt 16) opisują modyfikatory pozytywne TLONPS i TLOFPS.

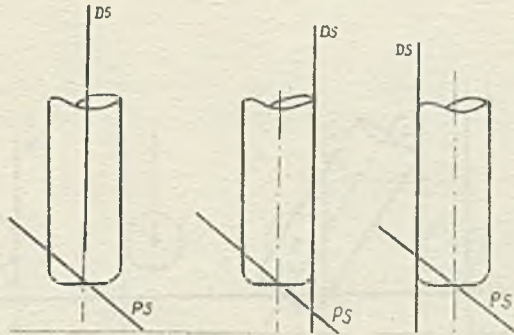
TLONPS określa, że punkt końcowy narzędzia ma być umieszczony na powierzchni przedmiotu. Znaczenie tego modyfikatora zilustrowano na rys. 118 przy trzech możliwych ustawieniach narzędzia względem powierzchni prowadzącej.

TLOFPS określa, że punkt końcowy narzędzia ma być umieszczony poza powierzchnią przedmiotu. W tej sytuacji narzędzie jest styczne do powierzchni przedmiotu jakimś innym punktem narzędzia wynikającym z kształtu narzędzia i jego ustawienia względem powierzchni prowadzącej. Znaczenie tego modyfikatora ilustruje rys. 119.

Gdy nie wystąpił żaden z modyfikatorów określających ustawienie narzędzia względem powierzchni przedmiotu to przyjmuje się, że wystąpił TLOFPS.

Raz podany modyfikator TLONPS lub TLOFPS obowiązuje również dla następnych instrukcji ruchu, dopóki nie zostanie podany nowy modyfikator (zob. pkt 16).





Rys. 118. Ilustracja znaczenia modyfikatora TŁONPS przy trzech możliwych ustawieniach narzędzia względem powierzchni przewodzącej  
(PS - powierzchnia przedmiotu,  
DS - powierzchnia przewodząca)

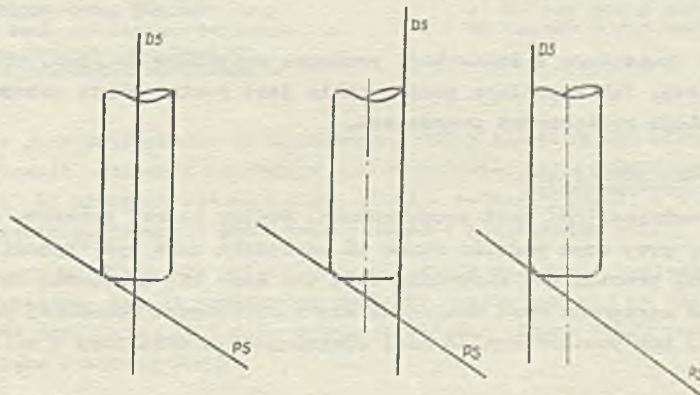
#### • Definicja powierzchni przedmiotu

Powierzchnia przedmiotu musi być określona przed każdą instrukcją ruchu. Jeśli nie jest ona zdefiniowana w sposób jawny, to za powierzchnię przedmiotu przyjmuje się płaszczyznę OXY. Definicja powierzchni przedmiotu pozostaje w mocy, dopóki nie wystąpi nowa definicja. Powierzchnię przedmiotu można zdefiniować w sposób jawny za pomocą instrukcji PSIS, AUTOPS lub za pomocą instrukcji przesunu wstępnego względem dwóch lub trzech powierzchni.

- Instrukcja PSIS ma następującą postać

PSIS/POW

gdzie POW - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni lub definicją zagnieżdżoną powierzchni. Wskazuje ona, że POW jest powierzchnią



Rys. 119. Ilustracja znaczenia modyfikatora TŁOPPS przy trzech możliwych ustawieniach narzędzia względem powierzchni przewodzącej (PS - powierzchnia przedmiotu, DS - powierzchnia przewodząca)

przedmiotu i pozostanie nią, dopóki nie zostanie zdefiniowana nowa powierzchnia.

- Instrukcja AUTOPS ma postać:

AUTOPS

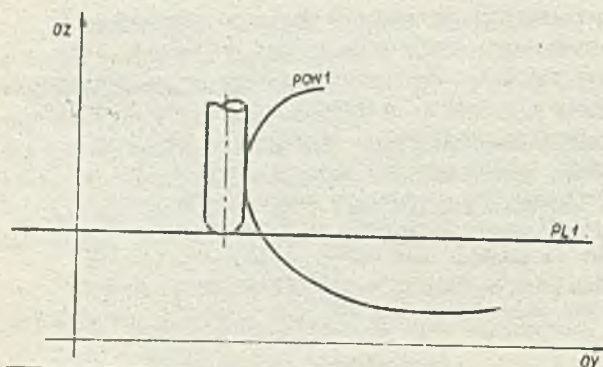
Powoduje ona, że płaszczyzna równoległa do płaszczyzny OXY o współrzędnej "z" określonej przez położenie narzędzia, staje się powierzchnią przedmiotu. Tak określona powierzchnia przedmiotu obowiązuje, dopóki nie pojawi się nowa definicja tego typu powierzchni. Przykład wykorzystania tej instrukcji podano na rys. 120. W wyniku wykonania pewnej instrukcji ustawiającej narzędzie, znalazło się ono w przedstawionym położeniu względem powierzchni POW1. W tej sytuacji instrukcja AUTOPS definiuje jako nową powierzchnię przedmiotu płaszczyznę PL1.

Należy podkreślić, że nie można zastosować instrukcji AUTOPS do zdefiniowania powierzchni przedmiotu w sytuacji, gdy oś narzędzia nie jest prostopadła do płaszczyzny OXY i równocześnie zostały określone pozytywne modyfikatory "odsunięcia" czyli TO, PAST lub TŁOPPS (modyfikatory TO i PAST będą omówione w pkt. 14.3) w stosunku do powierzchni przedmiotu.

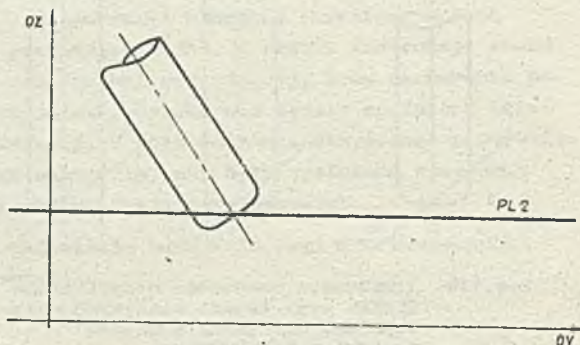
Sytuacja taka (przedstawiona na rys. 121) jest błędna, gdyż nowo zdefiniowana powierzchnia przedmiotu (płaszczyzna PL2) jest naruszana przez narzędzie, a jest to niedopuszczalne, ponieważ obowiązuje modyfikator określający, że narzędzie powinno być odsunięte od powierzchni przedmiotu.

Instrukcja AUTOPS może być natomiast zastosowana w tej sytuacji jeśli wcześniej określono w stosunku do powierzchni przedmiotu modyfikator TŁONPS - wówczas sytuacja przedstawiona na rys. 121 byłaby poprawna.





Rys.120. Przykład wykorzystania instrukcji AUTOPS do zdefiniowania powierzchni przedmiotu (PL1 - zdefiniowana powierzchnia przedmiotu)



Rys.121. Przykład użycia instrukcji AUTOPS w sytuacji, gdy narzędzie nie jest prostopadłe do płaszczyzny OXY, (PL2 - definiowana przez instrukcję AUTOPS powierzchnia przedmiotu)

- Druga powierzchnia wymieniona w instrukcji przesuwu wstępnego GO (zob. pkt 15) definiuje powierzchnię przedmiotu. Tak określona powierzchnia jest powierzchnią przedmiotu, dopóki nie wystąpi nowa definicja powierzchni przedmiotu.

#### 14.2. Powierzchnia prowadząca

Powierzchnia prowadząca (DS) jest powierzchnią, wzdłuż której przesuwa się narzędzie podczas ruchu roboczego, przy czym podczas ruchu oś narzędzia może być "odsunięta" od tej powierzchni o odległość równą promieniowi narzędzia bądź też może się znajdować na tej powierzchni. Mówiąc dokładniej, oś narzędzia musi znajdować się w określonym wcześniej paśmie tolerancji powierzchni prowadzącej lub powierzchni do niej równoległej i oddalonej o odległość równą promieniowi narzędzia.

Tak więc narzędzie, w czasie ruchu roboczego, przesuwa się wzdłuż powierzchni prowadzącej, przy czym zachowane jest również określone ustawienie narzędzia względem powierzchni przedmiotu (zob. rys. 117). Położenie narzędzia względem powierzchni prowadzącej opisują odpowiednie modyfikatory pozycyjne.

- Ustawienie narzędzia względem powierzchni prowadzącej

Mówiąc najogólniej, narzędzie może:

- być odsunięte od powierzchni prowadzącej, a więc być do niej styczne po jej lewej lub prawej stronie,
- leżeć na powierzchni prowadzącej (tzn. oś narzędzia leży na powierzchni prowadzącej).

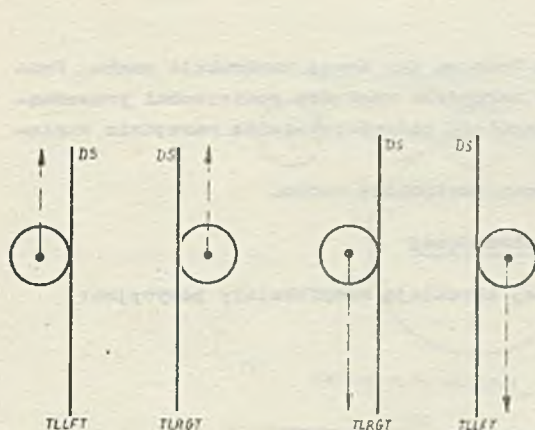
Położenie narzędzia względem powierzchni prowadzącej opisują następujące modyfikatory pozycyjne:

TLIFT  
TLRGT  
TLON  
TLNDON

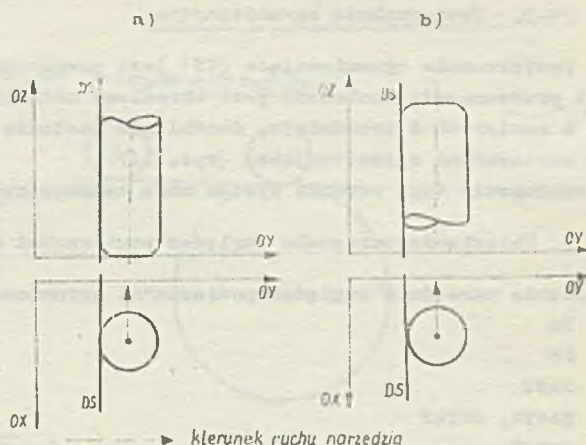
Modyfikator TLIFT oznacza, że narzędzie jest styczne do powierzchni prowadzącej po jej lewej stronie, natomiast modyfikator TLRGT oznacza, że narzędzie jest styczne do powierzchni prowadzącej po jej prawej stronie. Położenie "na prawo" bądź "na lewo" określa się patrząc w kierunku ruchu narzędzia. Znaczenie tych modyfikatorów przedstawia rys. 122.

Należy zwrócić uwagę, że znaczenie modyfikatora TLIFT oraz TLRGT zależy nie tylko od kierunku ruchu narzędzia, ale także od ukierunkowania osi narzędzia. Odpowiedni przykład przedstawiono na rys. 123.





Rys. 122. Znaczenie modyfikatorów TLLFT i TLRGT (---> oznacza kierunek ruchu narzędzia). Narzędzie jest prostopadłe do płaszczyzny papieru, przy czym punkt końcowy narzędzia znajduje się na powierzchni papieru, natomiast wierzchołek narzędzia - powyżej niej.



Rys. 123. Znaczenie położenia osi narzędzia dla określania modyfikatorów pozytywnych

- a) należy podać modyfikator TLRGT
- b) należy podać modyfikator TLLFT

Na rys. 123a narzędzie jest prostopadłe do płaszczyzny OXY i kierunek osi narzędzia określa wektor  $(0,0,1)$ . W tej sytuacji położenie narzędzia względem powierzchni prowadzącej określa modyfikator TLRGT. Na rys. 123b kierunek osi narzędzia określa wektor  $(0,0,-1)$  - w tej sytuacji położenie narzędzia względem powierzchni prowadzącej określa modyfikator TLLFT.

Określenie poprawnego modyfikatora opisującego położenie narzędzia względem powierzchni prowadzącej może być łatwiejsze, jeżeli wyobraźmy sobie, że znajdujemy się na wierzchołku narzędzia twarzą w kierunku ruchu narzędzia. Lewa ręka wskazuje wówczas stronę TLLFT powierzchni prowadzącej, natomiast prawa ręka - stronę TLRGT.

Modyfikatory pozytywne TLON i TLNDON określają, że punkt końcowy narzędzia leży na powierzchni prowadzącej (zob. rys. 124).



Rys. 124. Ilustracja znaczenia modyfikatorów TLON oraz TLNDON

Modyfikatory pozytywne TLLFT określają warunek "odsunięcia" narzędzia od powierzchni prowadzącej, natomiast modyfikatory TLON oraz TLNDON mają takie samo znaczenie i określają warunek "na" (tzn. punkt końcowy narzędzia ma się znajdować na powierzchni prowadzącej).

Jeżeli żaden modyfikator nie został określony w sposób jawny, przyjmowany jest warunek odsunięcia narzędzia od powierzchni prowadzącej.

Należy zwrócić uwagę, że jeżeli podany będzie błędny modyfikator, wówczas system APT poda komunikat ostrzegawczy o numerze 1601 (zob. Część III. Komunikaty o błędach), a następnie zakłada, że aktualnie określone ustawienie narzędzia względem powierzchni prowadzącej jest poprawne i kontynuuje przetwarzanie.

#### • Definicja powierzchni prowadzącej

Powierzchnia prowadząca musi być wyraźnie zdefiniowana w każdej instrukcji ruchu. Jest to pierwsza powierzchnia w instrukcji ruchu występująca na prawo od znaku / (zob. pkt 16). Powierzchnia prowadząca musi być określona dla każdej instrukcji ruchu, tzn. przy braku definicji system APT nie może przyjąć żadnej powierzchni za powierzchnię prowadzącą, jak również zdefiniowana powierzchnia prowadząca nie obowiązuje dla następnych instrukcji ruchu.



#### 14.3. Powierzchnia ograniczająca

Powierzchnia ograniczająca (CS) jest powierzchnią końcową dla danej instrukcji ruchu. Podczas przesunięcia zachowane jest określone ustawienie narzędzia względem powierzchni prowadzącej i powierzchni przedmiotu, dopóki nie zostanie osiągnięte podane położenie narzędzia względem powierzchni ograniczającej (rys. 117).

Po spełnieniu tego warunku system może zaakceptować nową instrukcję ruchu.

##### • Ustawienie narzędzia względem powierzchni ograniczającej

Położenie narzędzia względem powierzchni ograniczającej określają modyfikatory pozytywne:

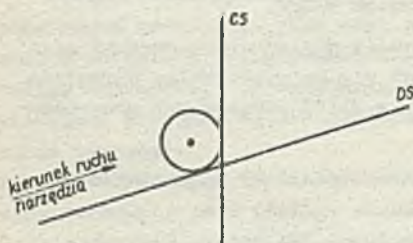
TO  
ON  
PAST  
TANTO, DSTAN  
PSTAN

Modyfikator TO wskazuje, że narzędzie osiągnie styczność do powierzchni ograniczającej po najbliższej, z punktu widzenia narzędzia, stronie powierzchni.

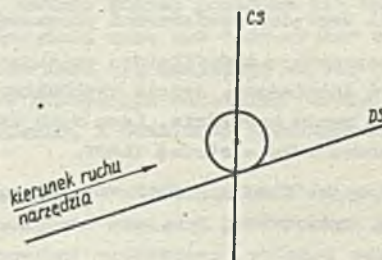
Modyfikator ON oznacza, że narzędzie w swojej końcowej pozycji leży na powierzchni ograniczającej (tzn. punkt końcowy narzędzia leży na powierzchni ograniczającej).

Modyfikator PAST oznacza, że narzędzie osiągnie styczność do powierzchni ograniczającej po przeciwnej stronie powierzchni z punktu widzenia narzędzia.

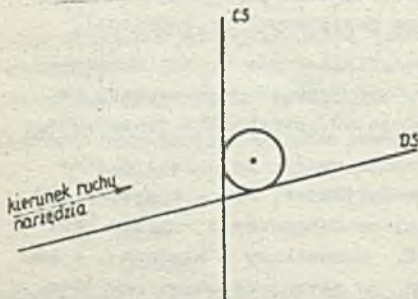
Ustawienie narzędzia względem powierzchni ograniczającej opisane modyfikatorami TO, ON, PAST ilustrują rys. 125, 126 i 127.



Rys. 125. Ilustracja znaczenia modyfikatora TO



Rys. 126. Ilustracja znaczenia modyfikatora ON



Rys. 127. Ilustracja znaczenia modyfikatora PAST

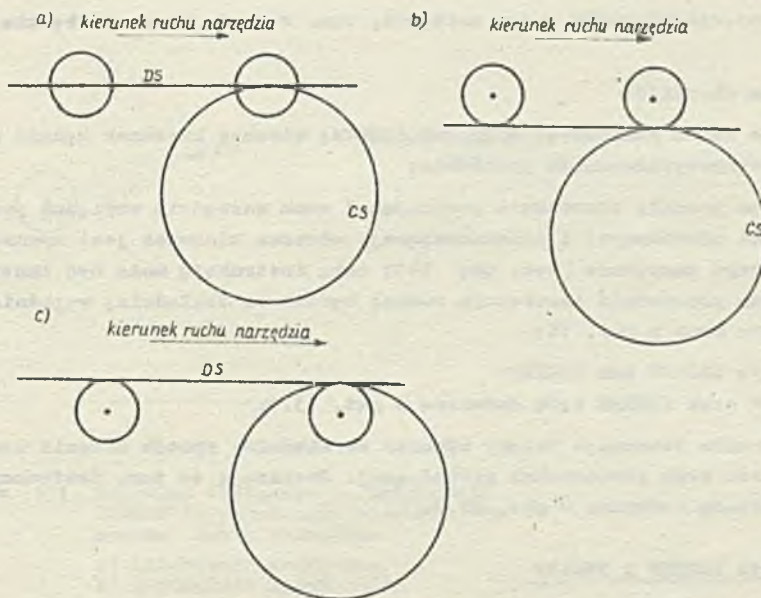
Jeżeli nie został określony żaden modyfikator dotyczący powierzchni ograniczającej, to zakłada się, że wystąpił modyfikator TO.

Modyfikator TANTO używany jest wówczas, gdy ruch narzędzia ma być zakończony w punkcie styczności powierzchni prowadzącej i powierzchni ograniczającej. Identyczny wynik uzyskujemy stosując modyfikator DSTAN. Przykład wykorzystania modyfikatora TANTO - uwzględniający różne ustawienie narzędzia względem powierzchni prowadzącej - przedstawia rys. 128. Pewne uwagi dotyczące sposobu stosowania modyfikatora TANTO

będą podane przy omawianiu instrukcji ruchu narzędzia (zob. pkt 16).

Modyfikator PSTAN wskazuje, że ruch narzędzia należy ukończyć w punkcie styczności powierzchni przedmiotu i powierzchni ograniczającej. Odpowiedni przykład przedstawia rys. 129.





Rys. 128. Illustracja mnożenia modyfikatora TANTO przy różnych ustawieniach narzędzia względem powierzchni prowadzącej. Opisane jest ono modyfikatorem:

- a) TLON
- b) TLLFT
- c) TLRGT



Rys. 129. Illustracja znaczenia modyfikatora PSTAN. W położeniu K ustawienie narzędzia względem powierzchni przedmiotu i powierzchni ograniczającej opisane jest modyfikatorem PSTAN

#### • Definicja powierzchni ograniczającej

Powierzchnię ograniczającą można zdefiniować w sposób jawny lub umowny. A mianowicie jeżeli w instrukcji ruchu jest podana więcej niż jedna powierzchnia, to druga i następna powierzchnia definiują powierzchnie ograniczające. W ten sposób można określić powierzchnię ograniczającą w sposób jawny.

Jeżeli w instrukcji ruchu jest podana tylko jedna powierzchnia, to jest ona traktowana jako powierzchnia prowadząca dla danego ruchu narzędzia. Za powierzchnię ograniczającą dla tego ruchu narzędzia przyjmowana jest powierzchnia prowadząca z następnej instrukcji ruchu

- jest to określona umownie powierzchnia ograniczająca. Dalsze informacje na temat sposobu niejawnego określania powierzchni ograniczającej a m.in. sposób określania modyfikatorów pozycyjnych położenia narzędzi dla otrzymanej w ten sposób powierzchni, jak również uwagi dotyczące tzw. wielokrotnej powierzchni ograniczającej, będą podane w punkcie 16.2, przy omówieniu instrukcji ruchu narzędzia.

#### 15. PRZESUN WSTĘPNY NARZĘDZIA

Ruch roboczy narzędzia czyli przesunięcie, za pomocą którego będziemy chcieli przeprowadzić obróbkę części, realizowane jest przez podanie w programie tzw. instrukcji ruchu narzędzia (zob. pkt 16). Zanim jednak zostanie podana tego typu instrukcja, muszą być spełnione pewne warunki, a mianowicie:



- należy określić początkowe ustawienie narzędzia w układzie współrzędnych, co można zrealizować za pomocą instrukcji FROM (zob. pkt 13.1).
- należy ustalić pojęcie kierunku ruchu narzędzi, tzn. w jakim kierunku będzie przesuwane narzędzie.

Kierunek ruchu można określić:

- podając instrukcje ruchu punktowego GOTO lub GODLTA; wówczas kierunek będzie określony przez przesunięcie do wyspecyfikowanego położenia;
- przez wcześniejsze podanie instrukcji powodującej ruch narzędzia względem powierzchni przedmiotu, powierzchni prowadzącej i ograniczającej; wówczas kierunek jest wyznaczony przez ostatni wektor drogi narzędzia (zob. pkt 14); taką instrukcją może być instrukcja przesuwu wstępnego bądź też poprzednia instrukcja ruchu; będzie to dokładniej wyjaśnione w dalszej części tego punktu oraz w pkt. 16;
- podając instrukcję INDIRV lub INDIRP;  
instrukcje INDIRV oraz INDIRP będą omówione w pkt. 15.1.

Przed rozpoczęciem ruchu roboczego należy również we właściwy sposób ustawić narzędzie względem powierzchni przedmiotu oraz powierzchni prowadzącej. Realizują to tzw. instrukcje przesuwu wstępnego, które zostaną omówione w pkt. 15.2.

#### 15.1. Instrukcje INDIRV i INDIRP

- Proste instrukcje INDIRV i INDIRP

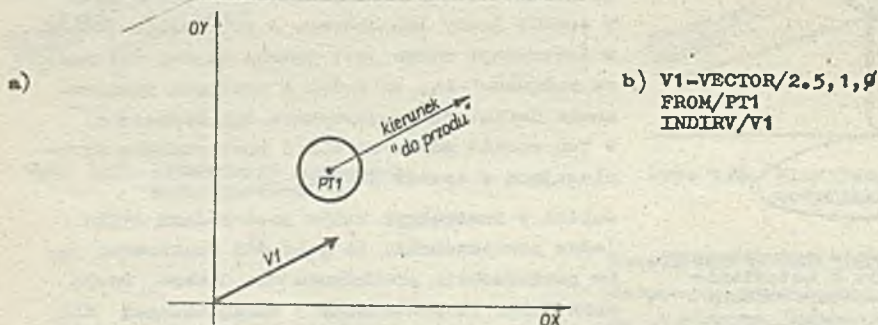
Instrukcja INDIRV ma następującą postać:

INDIRV/WE

gdzie WE - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego wektora bądź definicją zagnieżdżoną wektora.

Instrukcja ta wskazuje, że kierunek ruchu narzędzia "do przodu" ma być zgodny z kierunkiem podanego wektora WE.

Przykład zastosowania instrukcji INDIRV przedstawia rys. 130.



Rys. 130. Przykład zastosowania instrukcji INDIRV do określenia kierunku "do przodu" ruchu narzędzia

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

Instrukcja INDIRP ma następującą postać:

INDIRP/PT

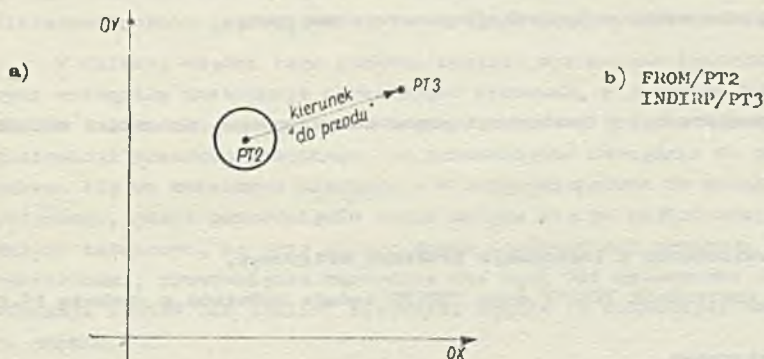
gdzie PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu.

Instrukcja ta określa wektor, którego początek znajduje się w miejscu położenia punktu końcowego narzędzia, natomiast koniec znajduje się w podanym punkcie PT.

Wektor ten definiuje kierunek "do przodu" dla ruchu narzędzia. Oczywiście musi być spełniony warunek, że punkt PT nie jest identyczny z położeniem punktu końcowego narzędzia.



Na rys. 131 przedstawiono przykład wykorzystania instrukcji INDIRP.



Rys. 131. Przykład zastosowania instrukcji INDIRP do określania kierunku "do przodu" ruchu narzędzia

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Należy podkreślić, że kierunek określany przez instrukcję INDIRV oraz INDIRP dodatkowo wyznacza ogólny kierunek przesunięcia narzędzia do powierzchni podanych w instrukcji przesuwu wstępnego. Narzędzie nie może przesuwać się dokładnie w kierunku podanym przez instrukcję INDIRV oraz INDIRP, gdyż dodatkowe ograniczenie stanowi konieczność poruszania się w zakresie tolerancji w odniesieniu do powierzchni podanych w instrukcji przesuwu wstępnego.

#### \* Rozszerzone instrukcje INDIRV i INDIRP

Warto zauważyć, że nieskierowana instrukcja przesuwu wstępnego (tzn. taka, dla której nie określono wcześniej kierunku ruchu) powoduje przesunięcie narzędzia do najbliższego położenia i po najkrótszej drodze (spełniającego wymagania podane w instrukcji przesuwu wstępnego). Często jednak chodzi nam o wybranie pewnego określonego położenia (niekoniecznie najbliższego) i do tego celu mogą być przydatne instrukcje INDIRV oraz INDIRP w swojej rozszerzonej postaci.

Ogólna postać tych rozszerzonych postaci jest następująca:

$$\text{INDIRV} / \left[ \begin{array}{c} \text{WEDS} \\ \left[ \begin{array}{c} \text{WEPS} \quad \text{WECS} \\ \text{WECS} \end{array} \right] \end{array} \right] \qquad \text{INDIRP} / \left[ \begin{array}{c} \text{PDS} \\ \left[ \begin{array}{c} \text{PPS} \quad \text{PCS} \\ \text{PCS} \end{array} \right] \end{array} \right]$$

gdzie

WEDS, WEPS, WECS - są nazwami wcześniej zdefiniowanych wektorów lub definicjami zagnieżdżonych wektorów. Wektory te dotyczą odpowiednio pierwszej, drugiej i trzeciej powierzchni podanych w instrukcji przesuwu wstępnego.

PDS, PPS, PCS - są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów lub definicjami zagnieżdżonych punktów. Punkty te są punktami końcowymi wektorów określających kierunek w odniesieniu do odpowiednio pierwszej, drugiej lub trzeciej powierzchni podanej w instrukcji przesuwu wstępnego. Sposób tworzenia tych wektorów jest analogiczny jak przy prostej instrukcji INDIRP.

W rozszerzonych instrukcjach INDIRV oraz INDIRP nie może być podanych więcej wektorów niż jest powierzchni podanych w instrukcji przesuwu wstępnego.

Dowolne dwa z trzech punktów (lub wektorów) mogą być pominięte, natomiast należy podać wszystkie przecinki związane z tą pozycją. Wyjaśnia to dokładnie poniższy przykład.



#### Przykład 1

W instrukcji

INDIRV/V1

wektor V1 odnosi się do pierwszej powierzchni w instrukcji przesuwu wstępnego.

W instrukcji

INDIRV/V1,,V3

wektor V1 odnosi się do pierwszej powierzchni w instrukcji przesuwu wstępnego, natomiast wektor V3 - do trzeciej powierzchni.

W instrukcji

INDIRV/,,V3

wektor V3 odnosi się do trzeciej powierzchni w instrukcji przesuwu wstępnego.

Zastosowanie rozszerzonych postaci instrukcji INDIRV oraz INDIRP będzie omówione w punkcie 15.2.

#### 15.2. Instrukcje przesuwu wstępnego

Instrukcja przesuwu wstępnego powoduje ustawienie narzędzia względem jednej, dwóch lub trzech podanych powierzchni. Podane w instrukcji modyfikatory dokładnie precyzują sposób ustawienia narzędzia względem tych powierzchni.

Ogólna postać instrukcji przesuwu wstępnego jest następująca:

GO/  $\left[ \begin{array}{c} \text{TO} \\ \text{PAST} \\ \text{ON} \end{array} \right], \text{POW1}, \left[ \begin{array}{c} \text{TO} \\ \text{PAST} \\ \text{ON} \end{array} \right], \text{POW2}, \left[ \begin{array}{c} \text{TO} \\ \text{PAST} \\ \text{ON} \end{array} \right], \text{POW3}$

gdzie

TO, PAST, ON - są modyfikatorami wskazującymi, w jaki sposób należy ustawić narzędzie względem podanych powierzchni; Znaczenie tych modyfikatorów jest opisane w punkcie 14.3;

POW1 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni lub definicją zagnieżdżoną powierzchni; powierzchnia ta będzie pełniła rolę powierzchni prowadzącej;

POW2 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni lub definicją zagnieżdżoną powierzchni; powierzchnia ta będzie powierzchnią przedmiotu dla następnych instrukcji ruchu (zob. pkt 14.1 - definicja powierzchni przedmiotu);

POW3 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni lub definicją zagnieżdżoną powierzchni. Powierzchnia ta pełni rolę powierzchni ograniczającej dla instrukcji przesuwu wstępnego.

Trzecią powierzchnią w instrukcji przesuwu wstępnego należy stosować wtedy, gdy konieczne jest dokładne określenie położenia narzędzia przed rozpoczęciem ruchu roboczego (opisanego za pomocą instrukcji ruchu narzędzia). Powierzchnią tej nie należy mylić z powierzchnią ograniczającą podawaną w instrukcji ruchu narzędzia (zob. pkt 16), o której była mowa w punkcie 14.3.

Należy zwrócić uwagę, że jedynie powierzchnia POW2 definiuje powierzchnię charakterystyczną (a mianowicie przedmiotu) dla następnych instrukcji ruchu. Podana w instrukcji powierzchnia POW1 nie stanowi definicji powierzchni prowadzącej dla następnej instrukcji ruchu (gdyż w instrukcji ruchu należy zawsze określić powierzchnię prowadzącą - zob. pkt 16), natomiast programista powinien podać w tym miejscu powierzchnię, która będzie używana jako powierzchnia prowadząca w następnej instrukcji ruchu. Wymaganie to musi być spełnione, aby we właściwy sposób ustawić narzędzie względem powierzchni prowadzącej przed pojawieniem się instrukcji ruchu, powodującej przesunięcie narzędzia wzdłuż tej powierzchni (zob. pkt 16). Taką rolę pełni instrukcja przesuwu wstępnego narzędzia w programie obróbki części.

Warto zauważyć, że kiedy w instrukcji GO podana jest tylko jedna powierzchnia, wówczas system APT ustawia narzędzie względem podanej powierzchni (POW1) oraz względem aktualnie obowiązującej powierzchni przedmiotu - o ile taka została zdefiniowana (zob. pkt 14.1 - definicje



powierzchni przedmiotu). O ile dotychczas nie pojawiła się definicja powierzchni przedmiotu, wówczas do określania prawidłowego położenia narzędzia używana jest płaszczyzna OXY.

Poniżej będzie dokładnie omówione działanie instrukcji przesuwu wstępnego, w której podano jedną, dwie lub trzy powierzchnie, jak również zostanie omówione znaczenie modyfikatorów określających położenie narzędzia w instrukcji przesuwu wstępnego.

W dalszej części tego punktu, zostały wyróżnione instrukcje przesuwu wstępnego, przed którymi wystąpiły instrukcje określające kierunek, w jakim ma być przesuwane narzędzie (INDIRV lub INDIRP) tzw. skierowane instrukcje przesuwu wstępnego. Różnią się one tym od nieskierowanych instrukcji przesuwu wstępnego, że przesunięcie narzędzia do podanych w instrukcji powierzchni odbywa się we wskazanym kierunku - w przeciwieństwie do nieskierowanych instrukcji przesuwu wstępnego, gdzie przesunięcie takie odbywa się po najkrótszej drodze do podanych powierzchni. Należy zaznaczyć, że przy skierowanych instrukcjach przesuwu wstępnego względem dwóch lub trzech powierzchni, przesunięcie narzędzia nie musi być wykonywane dokładnie we wskazanym (przez instrukcje INDIRV lub INDIRP) kierunku. Będzie to dokładniej omówione w dalszej części niniejszego punktu.

#### e. Znaczenie modyfikatorów w instrukcji przesuwu wstępnego

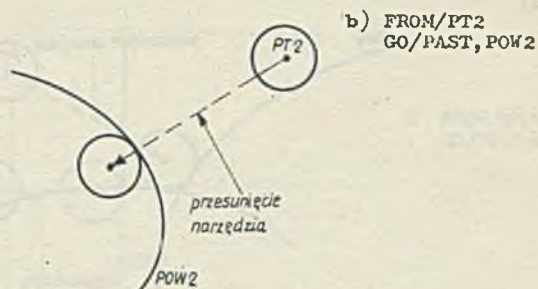
Modyfikatory TO, ON, PAST, podane w instrukcji przesuwu wstępnego, opisują dokładnie położenie narzędzia względem powierzchni podanych w tej instrukcji.

Modyfikator TO określa, że narzędzie ma być styżne do podanej powierzchni po jej najbliższej stronie w stosunku do aktualnego (tzn. przed pojawieniem się instrukcji przesuwu wstępnego) położenia narzędzia. Znaczenie tego modyfikatora ilustruje rys. 132.



Rys. 132. Przykład wykorzystania modyfikatora TO w instrukcji przesuwu wstępnego

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

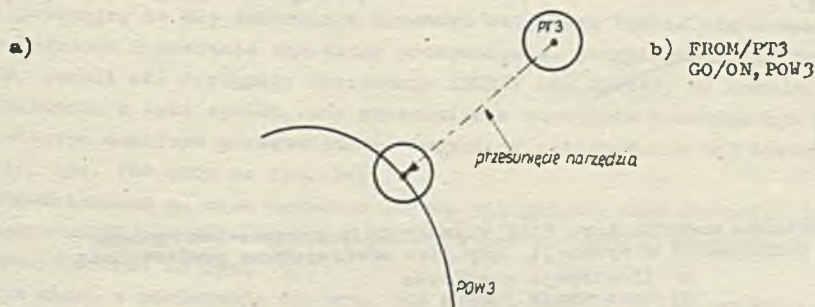


Rys. 133. Przykład wykorzystania modyfikatora PAST w instrukcji przesuwu wstępnego

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

Modyfikator PAST określa, że narzędzie ma być styżne do podanej powierzchni po stronie przeciwnej względem aktualnego położenia narzędzia. Znaczenie tego modyfikatora ilustruje rys. 133.

Modyfikator ON określa, że punkt końcowy narzędzia ma leżeć na wskazanej powierzchni. Znaczenie tego modyfikatora ilustruje rys. 134.



Rys. 134. Przykład wykorzystania modyfikatora ON w instrukcji przesuwu wstępnego

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT



Jeżeli w instrukcji przesuwu wstępnego nie podano żadnego modyfikatora odnoszącego się do wymienionej dalej powierzchni wówczas przyjmuje się, że wystąpił modyfikator TO.

• Instrukcja przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni

Instrukcja przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni ma następującą postać:

$$GO / \left\{ \begin{matrix} TO \\ ON \\ PAST \end{matrix} \right\}, \text{ POW1}$$

gdzie

TO, ON, PAST – są to modyfikatory opisujące sposób ustawiania narzędzia względem podanej powierzchni; znaczenie ich było omówione wcześniej

POW1 – jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni lub definicją zagnieżdżoną powierzchni.

Należy podkreślić, że powierzchnia POW1 powinna być podana jako powierzchnia prowadząca w następnej instrukcji ruchu narzędzia.

Instrukcja w tej postaci powoduje takie przesunięcie narzędzia, aby narzędzie w swojej końcowej pozycji było ustawione w sposób opisany podanym modyfikatorem względem powierzchni POW1 oraz spełniało warunek TO względem powierzchni przedmiotu. Odpowiednie przykłady przedstawione są na rys. 135, rys. 136 oraz na rys. 137. Na rysunkach tych pokazano, jak ustawienie narzędzia zależy od podanego modyfikatora pozycyjnego dotyczącego powierzchni POW1.

a)

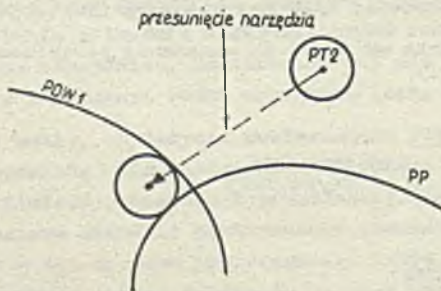


b) FROM/PT1  
PSIS/PP  
GO/TO, POW1

Rys. 135. Przykład wykorzystania modyfikatora TO w instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni w sytuacji, gdy jest zdefiniowana powierzchnia przedmiotu (PP)

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

a)



b) FROM/PT2  
PSIS/PP  
GO/PAST, POW1

Rys. 136. Przykład wykorzystania modyfikatora PAST w instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni w sytuacji, gdy jest zdefiniowana powierzchnia przedmiotu (PP)

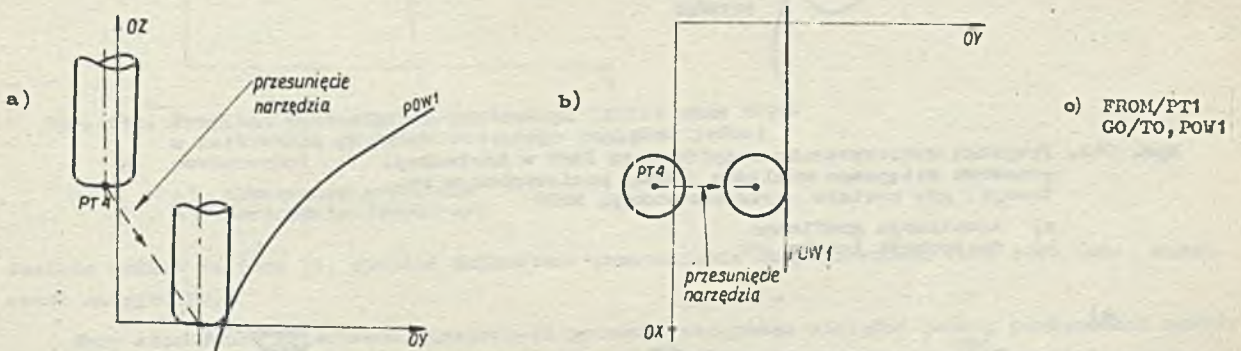
a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT





Rys. 137. Przykład wykorzystania modyfikatora ON w instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni w sytuacji, gdy jest zdefiniowana powierzchnia przedmiotu (PP)  
a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Jeżeli powierzchnia przedmiotu nie została wcześniej zdefiniowana wówczas zakłada się, że jest nią płaszczyzna OXY i w odpowiedni sposób ustawia się narzędzie względem podanej w instrukcji powierzchni POW1 oraz tej płaszczyzny. Odpowiedni przykład pokazujący ustawienie narzędzia przedstawia rys. 138.



Rys. 138. Przykład przesuwu wstępnego narzędzia względem jednej powierzchni w sytuacji, gdy nie została zdefiniowana powierzchnia przedmiotu  
a) ilustracja graficzna - rzut na płaszczyznę OYZ  
b) ilustracja graficzna - narzut na płaszczyznę OXY  
c) instrukcje języka APT

Przed instrukcją przesuwu wstępnego można podać instrukcję NOPS. Ma ona postać:

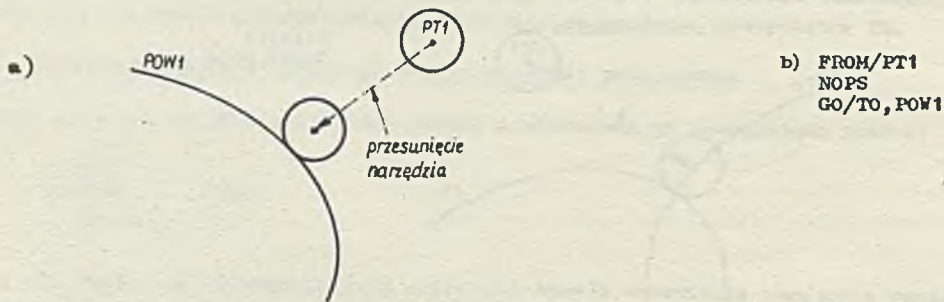
NOPS

i powoduje, że dla instrukcji przesuwu wstępnego będzie zignorowana zdefiniowana powierzchnia przedmiotu i zostanie określone przesunięcie, jedynie względem powierzchni podanej w instrukcji GO. Jeżeli nie wystąpiły instrukcje INDIRV lub INDIRP, to końcowa pozycja narzędzia zostanie obliczona w taki sposób, aby przesunięcie narzędzia z aktualnego do nowego położenia było najkrótszym możliwym przesunięciem. Przykłady zastosowania tej instrukcji NOPS podane są na rys. 139, rys. 140 oraz na rys. 141.

Przedstawione na nich sytuacje różnią się jedynie zastosowaniem instrukcji NOPS (a więc brakiem powierzchni przedmiotu, którą należy wziąć pod uwagę) od sytuacji przedstawionych na rys. 135, rys. 136 oraz na rys. 137.

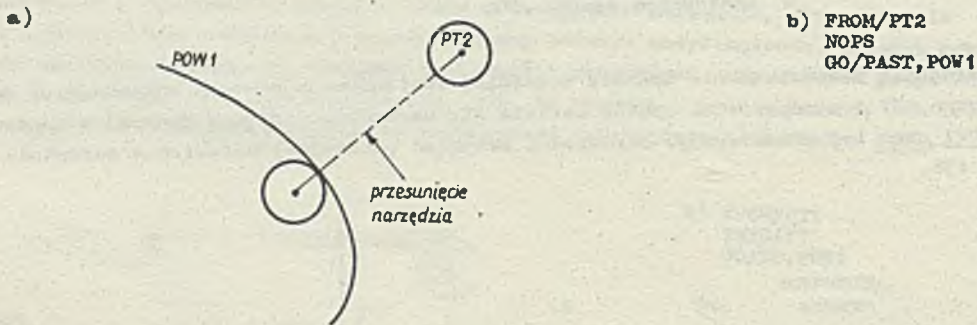
Jak widać z porównania np. rys. 135 i 139, lub 136 i 140 uzyskane przesunięcie narzędzia jest inne.





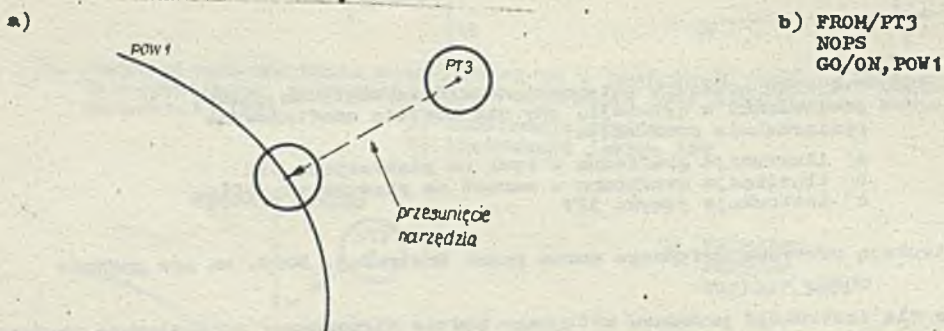
Rys. 139. Przykład wykorzystania modyfikatora TO w instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni w sytuacji, gdy została użyta instrukcja NOPS

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Rys. 140. Przykład wykorzystania modyfikatora FAST w instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni w sytuacji, gdy została użyta instrukcja NOPS

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Rys. 141. Przykład wykorzystania modyfikatora ON w instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni w sytuacji, gdy została użyta instrukcja NOPS

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Przy stosowaniu instrukcji NOPS może pojawić się następujący problem. Zdefiniowana powierzchnia przedmiotu, pomimo że zostanie pominięta w instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni, to jest w dalszym ciągu aktualna dla następnych instrukcji ruchu.

W tej sytuacji jeżeli narzędzie (tzn. punkt końcowy narzędzia) po wykonaniu przesuwu wstępnego nie znajduje się w paśmie tolerancji powierzchni przedmiotu, to każda próba przesunięcia narzędzia

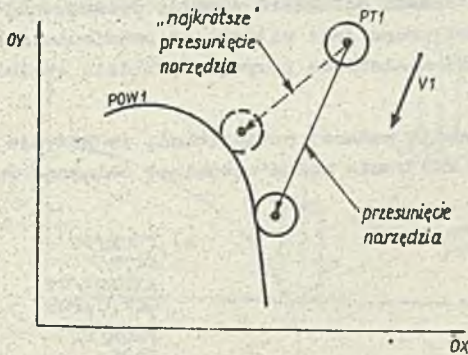


dzia zgodnie z instrukcją ruchu spowoduje wystąpienie błędu. Jak więc widać, przy stosowaniu instrukcji NOPS należy zachować ostrożność.

• Skierowana instrukcja przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni

Jeżeli instrukcja INDIRV lub INDIRP wystąpiła w połączeniu z instrukcją przesuwu wstępnego, wówczas mamy do czynienia z tzw. skierowaną instrukcją przesuwu wstępnego. Kierunek określony przez instrukcje INDIRV lub INDIRP wskazuje, w jakim kierunku ma być przesuwane narzędzie aż do zetknięcia się z powierzchnią podaną w instrukcji GO. Znaczenie tak zdefiniowanego kierunku jest różne wtedy, gdy użyjemy instrukcji przesuwu wstępnego poprzedzonej przez NOPS lub nie poprzedzonej przez NOPS.

Jeżeli przed instrukcją przesuwu wstępnego została podana instrukcja NOPS, wówczas narzędzie należy przesunąć dokładnie wzdłuż wektora (określonego przez instrukcję INDIRV lub INDIRP) w kierunku podanej w instrukcji GO powierzchni. Nie ma przy tym znaczenia, czy jest to "najkrótsze" możliwe przesunięcie czy nie. Odpowiedni przykład przedstawia rys. 142. Narzędzie zostanie prze-



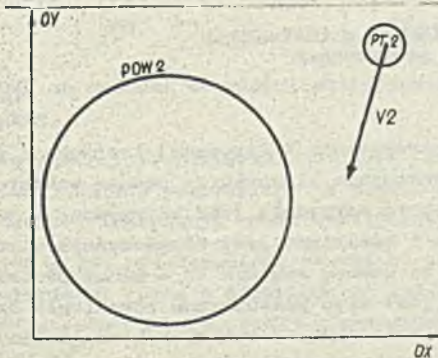
b) FROM/PT1  
INDIRV/V1  
NOPS  
GO/TO, POW1

Rys. 142. Przykład zastosowania instrukcji INDIRV oraz NOPS z instrukcją przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

sunięte wzdłuż wektora  $V_1$ , chociaż najkrótsze przesunięcie do powierzchni POW1 jest inne (zaznaczone na rysunku).

Przy stosowaniu skierowanej instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni należy zdawać sobie sprawę, że łatwo jest podać warunki niemożliwe do spełnienia. Następuje to wtedy, gdy wektor wskazujący kierunek (podany w instrukcji INDIRV lub INDIRP) zaczepiony w punkcie aktualnego położenia narzędzia nie przebija powierzchni wskazanej w instrukcji przesuwu wstępnego (mija się z nią). Odpowiedni przykład przedstawia rys. 143. Podany na nim wektor  $V_2$ , wskazu-



b) FROM/PT2  
INDIRV/V2  
NOPS  
GO/TO, POW2

Rys. 143. Przykład określenia przez instrukcje INDIRV oraz NOPS niemożliwych do spełnienia warunków dla instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



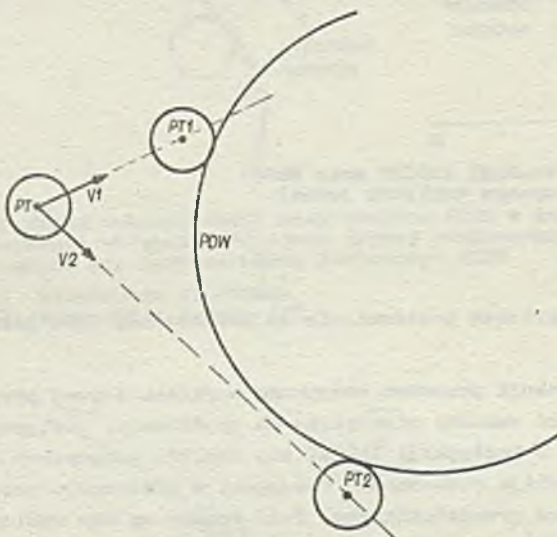
jący kierunek ruchu narzędzia, nie dochodzi do powierzchni POW2, a więc podane przez instrukcję APT warunki są niemożliwe do spełnienia - narzędzie przesuwając się w kierunku V1 nie może spełnić warunku TO względem powierzchni POW2.

W celu dokładnego zrozumienia możliwości popełnienia błędu, przy precyzowaniu warunków dla skierowanej instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni, należy prześledzić działanie systemu APT przy interpretacji takiej instrukcji. Wektor wskazujący kierunek używany jest do znalezienia tzw. punktu przebicia (czyli punktu, w którym wektor przebija podaną w instrukcji GO powierzchnię). Gdy taki punkt został znaleziony, wówczas narzędzie jest przesuwane w kierunku punktu przebicia. Jeśli narzędzie ma być odsunięte od powierzchni (tzn. podano modyfikator TO lub PAST), wówczas zostaje ono zatrzymane w punkcie, którego odległość od podanej powierzchni równa jest promieniowi narzędzia. O wyborze jednego spośród dwóch otrzymanych tą metodą punktów decyduje modyfikator pozycyjny (TO lub PAST).

Postępowanie jest inne, gdy wektor nie przebija podanej w instrukcji przesuwu wstępnego powierzchni. Wówczas znajdowana jest płaszczyzna równoległa do wektora i wykonywana jest instrukcja przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni. Jeżeli odległość prostej wyznaczonej przez wektor od powierzchni podanej w instrukcji przesuwu wstępnego jest większa od promienia narzędzia, wówczas wystąpi błąd. W przeciwnym wypadku zostanie znaleziona pozycja narzędzia spełniająca warunki podane w instrukcji przesuwu wstępnego.

Należy zwrócić uwagę, że jeżeli wektor nie przebija podanej powierzchni, to pozycje zatrzymania narzędzia mogą spełniać jedynie warunki TO lub PAST, nie można natomiast osiągnąć warunku ON.

a)



b) FROM/PT  
NOPS  
INDIRV/V1  
GO/TO, POW  
FROM/PT  
NOPS  
INDIRV/V2  
GO/TO, POW

Rys. 144. Przykład wykorzystania instrukcji INDIRV z instrukcją przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Na rys. 144 przedstawiono przykład dwukrotnego wykorzystania skierowanej instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni. W wypadku wskazania kierunku za pomocą wektora V1 zostaje znaleziony punkt przebicia powierzchni POW i w efekcie narzędzie jest zatrzymane w punkcie PT1. W punkcie tym znajduje się punkt końcowy narzędzia i spełniony jest równocześnie warunek TO względem powierzchni POW. W wypadku wskazania kierunku za pomocą wektora V2 - punkt przebicia powierzchni POW przez wektor V2 nie istnieje. Znajdowana jest więc płaszczyzna równoległa do wektora V2 i wykonywany jest przesuw wstępny względem dwóch powierzchni. W ten sposób znajdowany jest punkt PT2, gdzie będzie ustawiony punkt końcowy narzędzia po przesuwie wstępnym. Jest również spełniony warunek TO ustawienia narzędzia względem powierzchni POW.

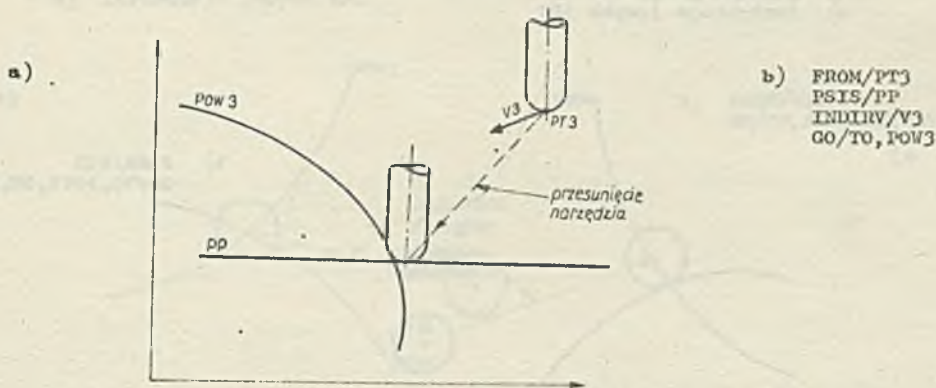
Gdy nie została podana instrukcja NOPS, definicja powierzchni przedmiotu w dalszym ciągu obowiązuje, zaś wektor (określony przez instrukcje INDIRV lub INDIRP) używany jest dodatkowo,



w celu określenia ogólnego kierunku przesunięcia do podanej w instrukcji przesuwu wstępnego powierzchni. Narzędzie nie musi być przesunięte dokładnie w kierunku wskazanym przez wektor, ponieważ ruch musi się odbywać w paśmie tolerancji określonej powierzchnią i powierzchnią przedmiotu, co stanowi dodatkowe ograniczenie.

Warto zauważyć, że w nieskierowanej instrukcji przesuwu wstępnego ruch do powierzchni prowadzącej będzie najkrótszym możliwym przesunięciem. Jeżeli powierzchnia przedmiotu nie jest płaszczyzną poziomą, to otrzymane przesunięcie w kierunku powierzchni przedmiotu prawdopodobnie nie będzie minimalne (po najkrótszej drodze).

W sytuacji gdy mamy do czynienia ze skierowaną instrukcją przesuwu wstępnego, wówczas ruch w kierunku powierzchni prowadzącej następuje dokładnie wzdłuż rzutu wektora (podanego w instrukcji INDIRV lub INDIRP) na powierzchnię przedmiotu. Oznacza to m.in., że przed przesunięciem wzdłuż podanego wektora narzędzie musi być prawidłowo ustawione przez programistę względem powierzchni prowadzącej. Przesunięcie wykonywane jest zawsze w kierunku wskazywanym przez wektor. Przykład przesunięcia spowodowanego przez skierowaną instrukcję przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni, gdy obowiązuje definicja powierzchni przedmiotu, przedstawiono na rys. 145.



Rys. 145. Przykład zastosowania instrukcji INDIRV z instrukcją przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni, gdy obowiązuje definicja powierzchni przedmiotu (PP)

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

#### • Instrukcja przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni

Instrukcja przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni ma następującą postać:

$$GO/ \left[ \begin{Bmatrix} TO \\ PAST \\ ON \end{Bmatrix} \right], \quad \underline{POW1}, \quad \left[ \begin{Bmatrix} TO \\ PAST \\ ON \end{Bmatrix} \right], \quad \underline{POW2}$$

gdzie

POW1, POW2 są nazwami wcześniej zdefiniowanych powierzchni lub definicjami zagnieżdżonymi powierzchni.

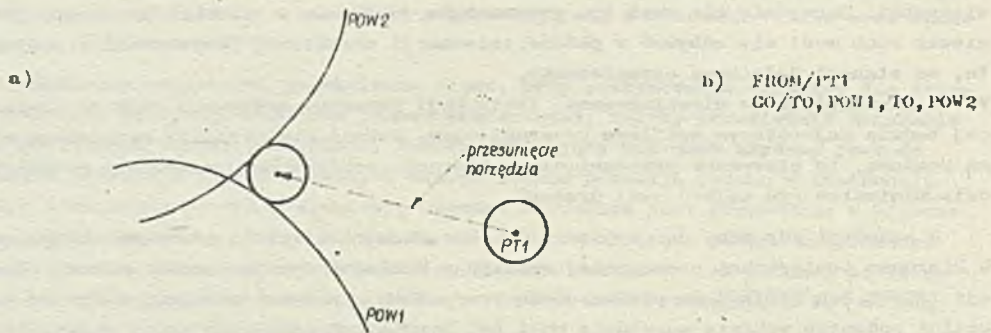
Druga podana w instrukcji powierzchnia (POW2) staje się powierzchnią przedmiotu dla następnych instrukcji ruchu. Należy podkreślić, że powierzchnię POW1 należy podać jako powierzchnię prowadzącą w pierwszej instrukcji ruchu występującej po takiej instrukcji przesuwu wstępnego.

Na rys. 146 + 154 przedstawiono przykłady zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni (wraz z odpowiednimi instrukcjami języka APT) dla różnych możliwych kombinacji modyfikatorów (TO, ON, PAST) opisujących ustawienie narzędzia względem obu powierzchni (POW1 oraz POW2).

#### • Skierowana instrukcja przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni

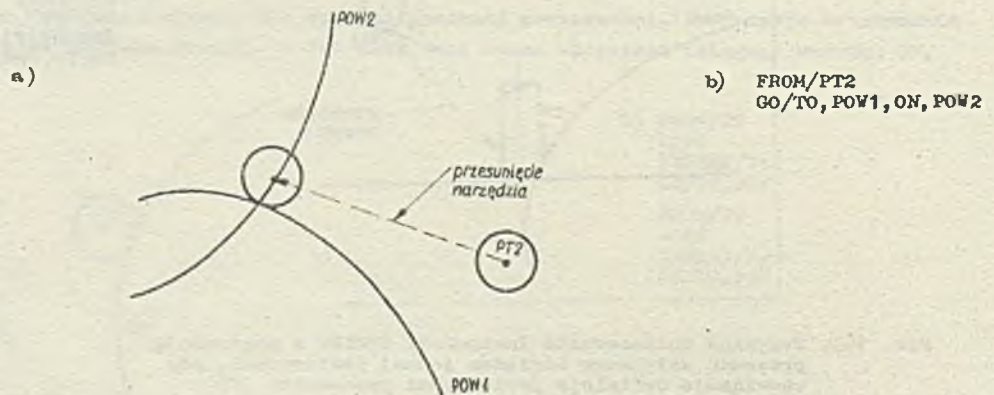
Jeżeli przed instrukcją przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni zostanie podana instrukcja INDIRV lub INDIRP określająca kierunek przesunięcia narzędzia, wówczas mamy do czynienia





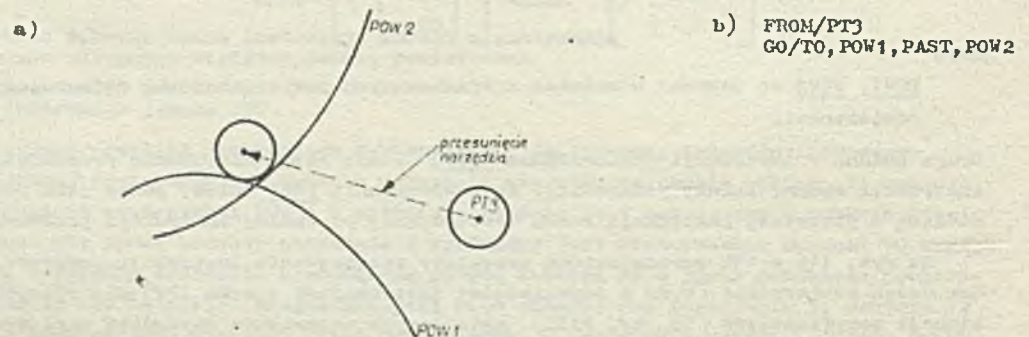
Rys. 146. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienie narzędzia względem obu powierzchni opisuje modyfikator TO

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Rys. 147. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienie narzędzia względem powierzchni POW1 opisuje modyfikator TO, natomiast względem powierzchni POW2 modyfikator ON

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

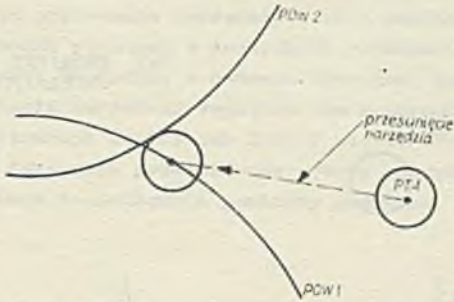


Rys. 148. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienie narzędzia względem powierzchni POW1 opisuje modyfikator TO, zaś względem powierzchni POW2 modyfikator PAST

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



a)

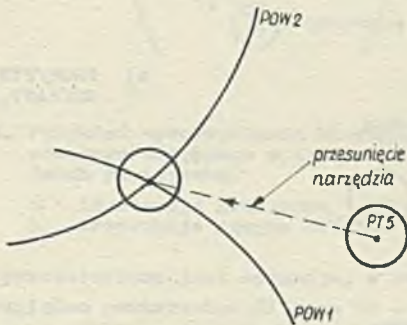


b) FROM/PT1  
GO/ON, POW1, TO, POW2

Rys. 149. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienia narzędzia względem powierzchni POW1 opisuje modyfikator ON, zaś względem powierzchni POW2- modyfikator TO

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

a)

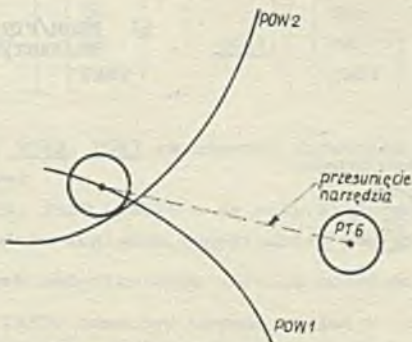


b) FROM/PT5  
GO/ON, POW1, ON, POW2

Rys. 150. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienia narzędzia względem obu powierzchni opisuje modyfikator ON

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

a)



b) FROM/PT6  
GO/ON, POW1, PAST, POW2

Rys. 151. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienie narzędzia względem powierzchni POW1 opisuje modyfikator ON, zaś względem POW2 - modyfikator PAST

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT





Rys. 152. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienie narzędzia względem powierzchni POW1 opisuje modyfikator PAST, zaś względem powierzchni POW2 modyfikator TO

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Rys. 153. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienie narzędzia względem powierzchni POW1 opisuje modyfikator PAST, zaś względem powierzchni POW2 - modyfikator ON

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Rys. 154. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni, gdzie ustawienie narzędzia względem obu powierzchni opisuje modyfikator PAST

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



ze skierowaną instrukcją przesuwną wstępnego. Podany kierunek będzie "głównym" kierunkiem, w jakim będzie przesuwno narzędzie w celu znalezienia poprawnego położenia końcowego (względem obu powierzchni podanych w instrukcji przesuwną wstępnego). Oznacza to, że narzędzie nie musi być przesuwno dokładnie w podany kierunek, ponieważ musi być także spełniony warunek właściwego ustawienia narzędzia względem obu powierzchni podanych w instrukcji przesuwną wstępnego. Podanie instrukcji INDIRV lub INDIRP nie definiuje więc dokładnego kierunku przesuwnicia, lecz pozwala na dokonanie prawidłowego wyboru poszukiwanej pozycji narzędzia spośród wielu możliwych. Wyjaśnia to dokładnie poniższy przykład.



Rys. 155. Przykład wykorzystania kierunku wskazanego przez instrukcję przesuwną wstępnego w instrukcji przesuwną wstępnego względem dwóch powierzchni

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Na rys. 155 przedstawiona jest sytuacja, w której są dwie możliwe pozycje narzędzia spełniające warunki TO względem powierzchni C1 oraz C2 - są to punkty PT1 i PT2.

Podanie wektora V1 w instrukcji INDIRV pozwala na wskazanie, że poszukiwanym położeniem narzędzia jest PT1. Również jak widać, narzędzie nie jest przesuwno dokładnie w kierunku wskazywanym przez wektor V1.

#### • Instrukcja przesuwną wstępnego względem trzech powierzchni.

Instrukcja przesuwną wstępnego względem trzech powierzchni ma następującą postać:

$$GO/ \left[ \begin{array}{c} TO \\ ON \\ PAST \end{array} \right], \underline{POW1}, \left[ \begin{array}{c} TO \\ ON \\ PAST \end{array} \right], \underline{POW2}, \left[ \begin{array}{c} TO \\ ON \\ PAST \\ TANTO \end{array} \right], \underline{POW3}$$

gdzie:

POW1, POW2, POW3 są nazwami wcześniej zdefiniowanych powierzchni lub definicjami zagnieźdżonymi

TO, ON, PAST, TANTO - są modyfikatorami pozycyjnymi opisującymi sposób ustawienia narzędzia względem odpowiedniej powierzchni.

Znaczenie tych modyfikatorów zostało omówione wcześniej.

Modyfikator TANTO może być używany tylko w odniesieniu do trzeciej podanej powierzchni (POW3). Oznacza on, że druga (POW2) i trzecia (POW3) powierzchnia są styczne w miejscu, gdzie chcemy ustawić narzędzie.

W podanej instrukcji przesuwną wstępnego względem trzech powierzchni podane powierzchnie mają następujące znaczenie:

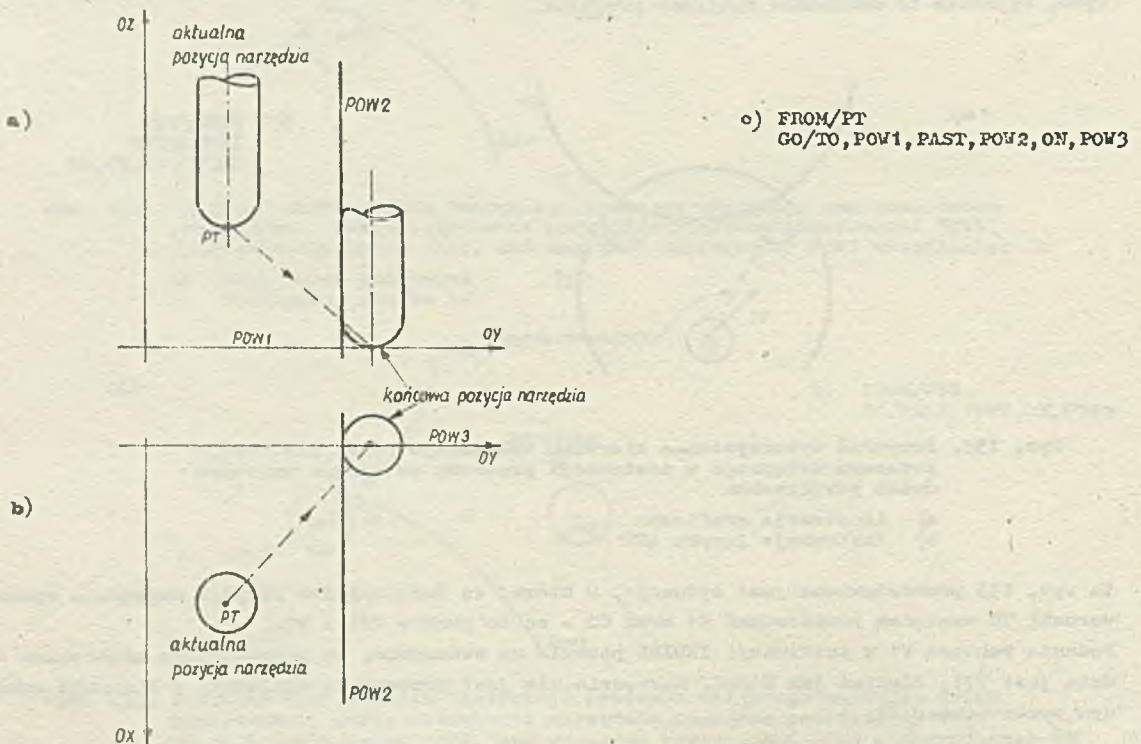
POW1 - jest powierzchnią prowadzącą, tzn. należy ją podać jako powierzchnię prowadzącą w instrukcji ruchu, występującą po tej instrukcji przesuwną wstępnego,

POW2 - stanowi powierzchnię przedmiotu dla następnych instrukcji - w tym dla instrukcji ruchu narzędzia - aż do momentu pojawienia się nowej definicji powierzchni przedmiotu,



POW3 - jest powierzchnią ograniczającą dla przesuwu wstępnego (nie należy jej mylić z powierzchnią ograniczającą w instrukcji ruchu narzędzia).

Działanie instrukcji przesuwu wstępnego względem trzech powierzchni powoduje przesunięcie narzędzia do najbliższej, w stosunku do aktualnej, pozycji, w której mogą być spełnione określone za pomocą modyfikatorów warunki.



Rys. 156. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem trzech powierzchni

- a) ilustracja graficzna - widok z boku
- b) ilustracja graficzna - widok z góry
- c) instrukcja języka APT

Na rys. 156 przedstawiono przykład wykorzystania instrukcji przesuwu wstępnego względem trzech powierzchni.

Należy zauważyć, że modyfikatory TO, ON, PAST w instrukcji przesuwu wstępnego ustalają sposób ustawienia narzędzia względem powierzchni prowadzącej (POW1) i ten sposób ustawienia narzędzia pozostaje w mocy dla kolejnych instrukcji ruchu, dopóki nie będzie podany inny modyfikator pozycyjny. Oczywiście modyfikatory te dotyczą ustawienia względem powierzchni prowadzącej w instrukcjach ruchu (TO i PAST oznaczają "odsunięcie" od powierzchni, natomiast ON określa warunek "na" powierzchni).

Interpretacja błędnej sytuacji - spowodowanej zwykle tym, że programista nie zdaje sobie sprawy z "kontynuacji" znaczenia modyfikatorów (dotyczących powierzchni prowadzącej) podanych w instrukcji przesuwu wstępnego w instrukcji ruchu narzędzia - powoduje najczęściej wykrycie błędu o numerze 502 lub 503 (zob. część III - Komunikaty o błędach).

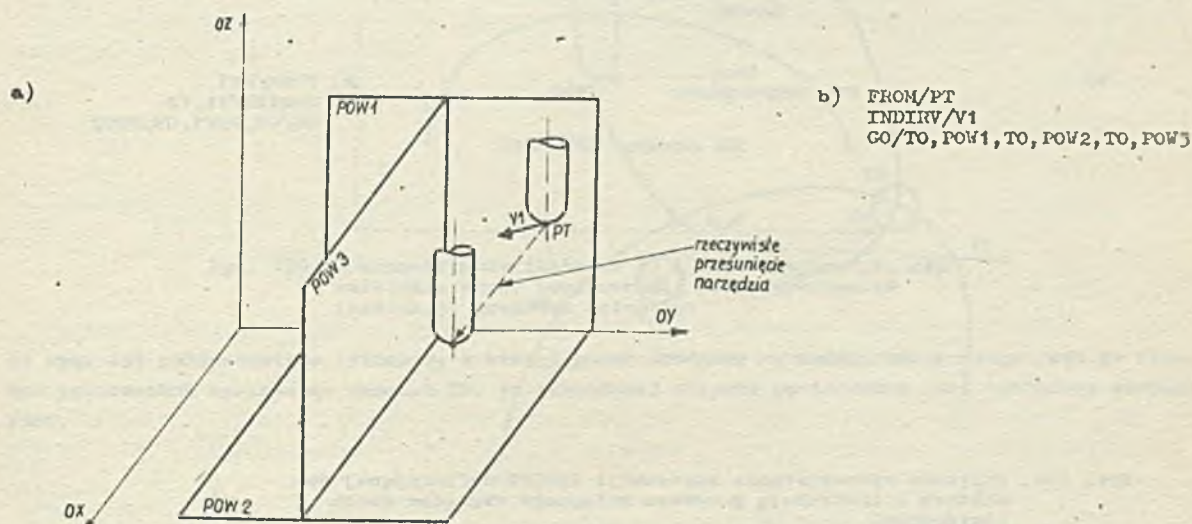
#### • Skierowana instrukcja przesuwu wstępnego względem trzech powierzchni

W celu skrócenia kierunku, w jakim podczas przesuwu wstępnego ma się poruszać narzędzie, przed instrukcją przesuwu wstępnego względem trzech powierzchni należy podać instrukcję INDIRV lub



INDIRP. Instrukcje te mają w tym wypadku analogicznie znaczenie co w odniesieniu do instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni (zob. pkt. - Skierowana instrukcja przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni). Wektory podawane w instrukcjach INDIRV lub INDIRP służą więc tylko do ustalenia "ogólnego" kierunku ruchu i nie muszą określać aktualnego kierunku ruchu narzędzia.

Przykład zastosowania skierowanej instrukcji przesuwu wstępnego względem trzech powierzchni przedstawia rys. 157.



Rys. 157. Przykład zastosowania instrukcji INDIRV w połączeniu z instrukcją przesuwu wstępnego względem trzech powierzchni

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

\* Stosowanie rozszerzonych instrukcji INDIRV lub INDIRP w połączeniu z instrukcją przesuwu wstępnego

Jeżeli instrukcją przesuwu wstępnego względem dwóch lub trzech powierzchni poprzedza rozszerzona instrukcja INDIRV lub INDIRP (czyli taka, w której został podany więcej niż jeden wektor lub punkt), wówczas mamy również do czynienia z tzw. skierowaną instrukcją przesuwu wstępnego. Różni się ona tym od omawianych poprzednio skierowanych instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch lub trzech powierzchni, że określono różne kierunki przesunięcia narzędzia względem powierzchni podanych w instrukcji przesuwu wstępnego.

W takiej sytuacji system APT oblicza (ale nie wyprowadza na zewnątrz) punkty pośrednie - opisujące położenie narzędzia dla każdego wektora określonego przez instrukcję INDIRV lub INDIRP.

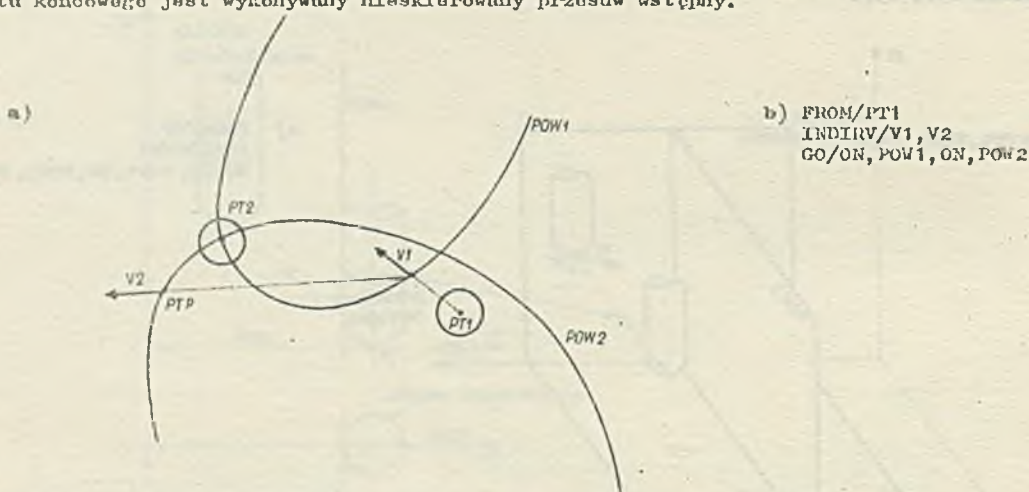
Jeżeli są podane wszystkie trzy wektory, to przesunięcie pośrednie realizowane jest następująco:

- wektora związanego z powierzchnią prowadzącą używa się do znalezienia punktu przebiecia powierzchni prowadzącej; punktem przebiecia nazywany jest punkt leżący na przecięciu odpowiedniej powierzchni z prostą przechodzącą przez punkt, w którym jest umieszczone narzędzie (a dokładniej jego punkt końcowy) i o kierunku określonym przez podany wektor; punkt przebiecia poszukiwany jest w kierunku wskazywanym przez wektor;
- jeżeli narzędzie ma się znajdować na powierzchni (zastosowano modyfikator ON), to zostanie ono przesunięte bezpośrednio do punktu przebiecia,
- jeżeli narzędzie ma być odsunięte od powierzchni prowadzącej wówczas jest ono przesuwane w kierunku przebiecia (zastosowano modyfikator TO lub PAST). Narzędzie zostaje zatrzymane w punkcie, którego odległość od powierzchni prowadzącej jest równa promieniowi narzędzia.



O wyborze jednego spośród dwóch otrzymanych tą metodą punktów decyduje podany modyfikator (TO lub PAST).

Podobno przesunięcie wykonywane jest względem powierzchni przedmiotu, przy czym wykorzystany zostaje wektor związany z tą powierzchnią. Punktem startowym do tego przesunięcia jest punkt pośredni otrzymany w wyniku przesunięcia względem powierzchni prowadzącej. W podany wyżej sposób wykonywane jest następane przesunięcie względem powierzchni ograniczającej dla przesuwu wstępnego (w tym wypadku względem trzech powierzchni). Do otrzymanego w wyniku tych przesunięć punktu końcowego jest wykonywany nieskierowany przesuw wstępny.



Rys. 158. Przykład wykorzystania instrukcji INDIRV definiującej dwa wektory z instrukcją przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcja języka APT

Rys. 158 przedstawia sytuację, w której do wybrania prawidłowego położenia końcowego narzędzia potrzebne są dwa wektory ( $V_1$  oraz  $V_2$ ) podane w instrukcji INDIRV. Wektor  $V_1$ , zaczepiony w punkcie początkowym  $PT_1$ , używany jest do znalezienia punktu przebicia na powierzchni  $POW_2$  (otrzymujemy punkt  $PTP$ ). Z ostatnio otrzymanego punktu przebicia (a więc punktu  $PTP$ ) wykonany zostaje nieskierowany przesuw wstępny względem dwóch powierzchni, co w efekcie daje pozycję końcową narzędzia w punkcie  $PT_2$ .

Jeżeli wektor (podany w instrukcji INDIRV lub INDIRP) nie przebija związanej z nim powierzchni, to system APT postępuje w następujący sposób:

- oblicza minimalną odległość do wszystkich podanych w instrukcji przesuwu wstępnego powierzchni, względem aktualnego położenia narzędzia,
- przesuwa narzędzie wzdłuż podanego wektora na odległość równą największej z otrzymanych wyżej odległości.

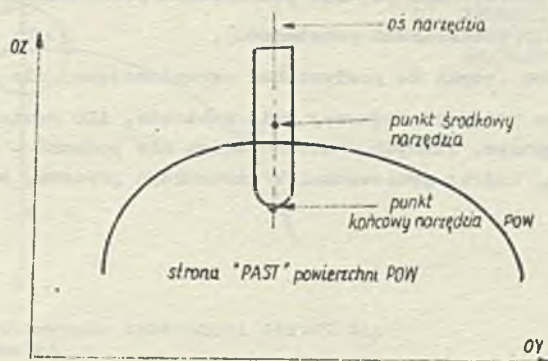
Należy zauważyć, że przy wykonywaniu instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni (gdy podany jest tylko jeden wektor w instrukcjach INDIRV lub INDIRP), system APT nie stosuje podanej wyżej metody. Jeżeli nie istnieje punkt przebicia powierzchni (czyli określony przez instrukcję INDIRV lub INDIRP wektor "nie przebija" powierzchni), wówczas znajdowana jest płaszczyzna równoległa do tego wektora i wykonywana jest instrukcja przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni.

### \* 15.3. Instrukcja SRFVCT

Dotychczas były omawiane instrukcje przesuwu wstępnego w sytuacjach, gdy w swoim początkowym położeniu narzędzie umieszczone było poza podanymi powierzchniami (nie dotyczyło ich). W takich sytuacjach umieszczenie modyfikatorów TO i PAST jest zrozumiałe. Natomiast, gdy przed wykonaniem instrukcji przesuwu wstępnego narzędzie zlebi powierzchnię, wówczas jako punkt odniesienia do

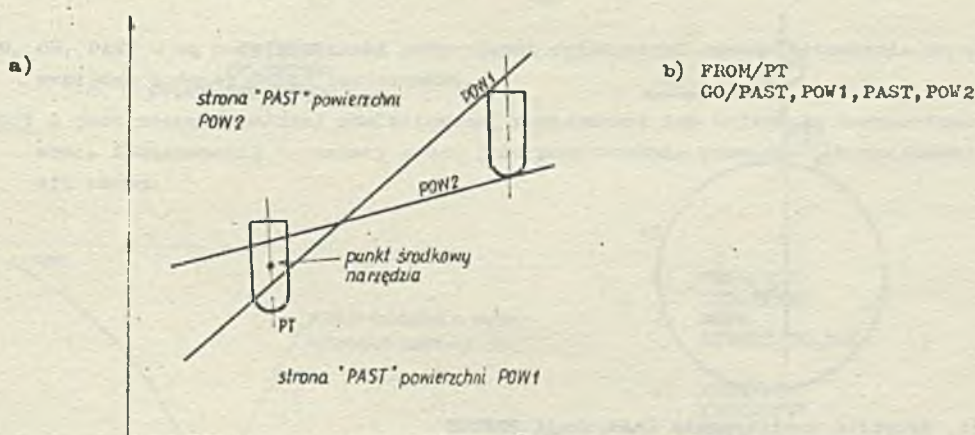


określania strony TO oraz PAST powierzchni używany jest punkt środkowy narzędzia (a nie jak dotychczas punkt końcowy narzędzia). Punktem środkowym narzędzia nazywamy punkt leżący na osi narzędzia w połowie wysokości ponad punktem końcowym. Modyfikator TO określa stronę powierzchni, po której leży punkt środkowy narzędzia, zaś modyfikator PAST stronę przeciwną.



Rys. 159. Znaczenie modyfikatorów TO i PAST w sytuacji, gdy narzędzie żłobi powierzchnię przed wykonaniem instrukcji przesuwu wstępnego

Na rys. 159 przedstawiono sytuację, w której punkt środkowy narzędzia umieszczony jest po stronie powierzchni spełniając warunek TO. Po przeciwnej stronie powierzchni jest spełniony warunek PAST.



Rys. 160. Przykład zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni w sytuacji, gdy w położeniu początkowym narzędzie żłobi powierzchnię

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

Na rys. 160 przedstawiono efekt zastosowania instrukcji przesuwu wstępnego względem dwóch powierzchni w sytuacji, w której na początku narzędzie żłobi zarówno powierzchnię POW1 jak i POW2.

Występują jednak wypadki, w których przed wykonaniem instrukcji przesuwu wstępnego narzędzie leży na odpowiedniej powierzchni, tzn. spełniony jest warunek ON. W takiej sytuacji znaczenie modyfikatorów TO i PAST jest nieokreślone. Wówczas - w celu prawidłowego określenia położenia końcowego narzędzia - należy zastosować instrukcję SRFVCT.

Instrukcja ta ma następującą postać:

$$\text{SRFVCT/} \left[ \begin{array}{c} \text{VDS} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{cc} \text{VPS} & \text{VCS} \\ \text{VCS} & \text{VCS} \end{array} \right]$$

gdzie VDS, VPS, VCS - są nazwami wcześniejsz zdefiniowanych wektorów lub definicjami zagnieżdzo-



nymi wektorów.

Podane wektory dotyczą odpowiednich powierzchni podanych w instrukcji przesuwu wstępnego, a mianowicie:

VDS - pierwszej podanej powierzchni (a więc powierzchni prowadzącej),

VPS - drugiej powierzchni (powierzchni przedmiotu),

VCS - trzeciej powierzchni (czyli do powierzchni ograniczającej dla przesuwu wstępnego).

W instrukcji SRFVCT można podać co najwyżej tyle wektorów, ile powierzchni będzie podanych w instrukcji przesuwu wstępnego. Pewnych wektorów można nie podawać - wówczas przecinki w instrukcji SRFVCT wskazują, której powierzchni w instrukcji przesuwu wstępnego będzie dotyczył dany wektor.

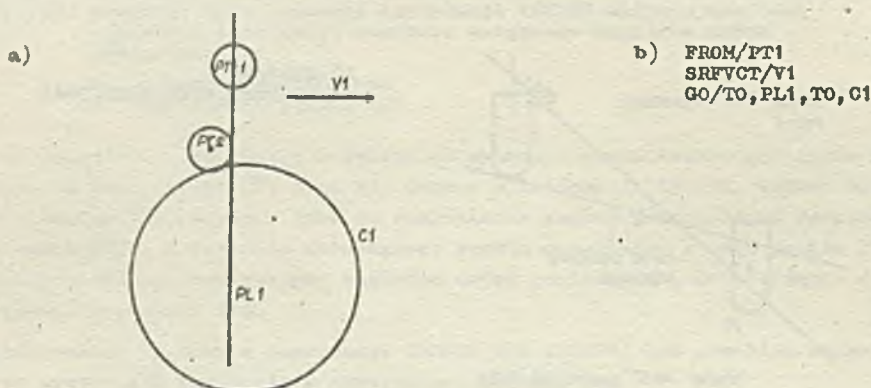
#### Przykład 2

W instrukcji

SRFVCT/V1,,V3

wektor V1 - dotyczy pierwszej powierzchni w instrukcji przesuwu wstępnego, zaś wektor V3 - trzeciej powierzchni.

Każdy wektor z podanych w instrukcji SRFVCT wskazuje kierunek od położenia TO do położenia PAST dla powierzchni w instrukcji przesuwu wstępnego, której ten wektor dotyczy. Umożliwia to znalezienie właściwego położenia narzędzia TO oraz PAST względem powierzchni w sytuacji, gdy narzędzie początkowo znajduje się "na" (ON) tej powierzchni. Natomiast na rys. 161 przedstawiono sytuację, w której narzędzie jest początkowo umieszczone na (ON) płaszczyźnie PL1. Wektor



Rys.161. Przykład zastosowania instrukcji SRFVCT dla jednej powierzchni

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

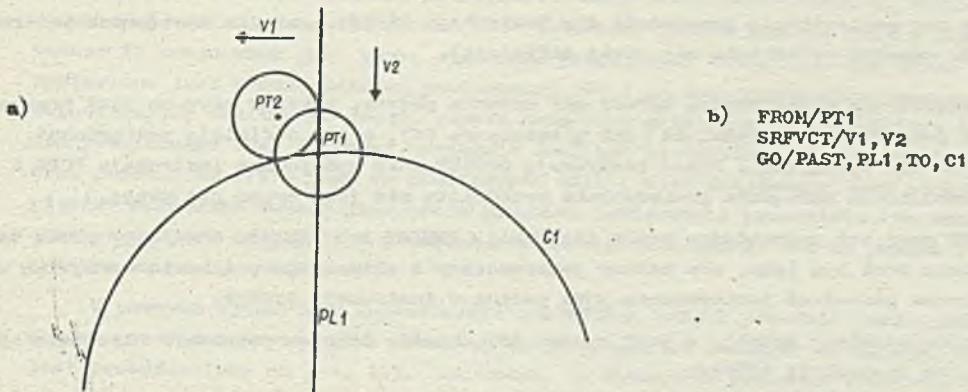
V1 wskazuje, że warunek TO (opisujący położenie narzędzia) spełniony jest na lewo od PL1, zaś warunek PAST - na prawo od PL1. Po przesunięciu spowodowanym zastosowaniem instrukcji przesuwu wstępnego (rys. 161b) narzędzie będzie umieszczone w punkcie PT2.

Na rys. 162 przedstawiono sytuację, w której instrukcja SRFVCT musi podać dwa wektory V1, V2 (rys. 162b), ponieważ w swoim początkowym położeniu narzędzie znajduje się na obu powierzchniach podanych w instrukcji przesuwu wstępnego (PL1 oraz C1). W wyniku wykonania instrukcji przesuwu wstępnego narzędzie zostanie umieszczone w punkcie PT2.

#### 15.4. Instrukcja OFFSET

Instrukcja OFFSET jest używana do innego niż w wypadku instrukcji GO ustawienia narzędzia w wyniku przesuwu wstępnego, a mianowicie aby narzędzie było styczne do powierzchni w punkcie przebiecia (rys. 163).





Rys. 162. Przykład zastosowania instrukcji SRFVCT dla dwóch powierzchni

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

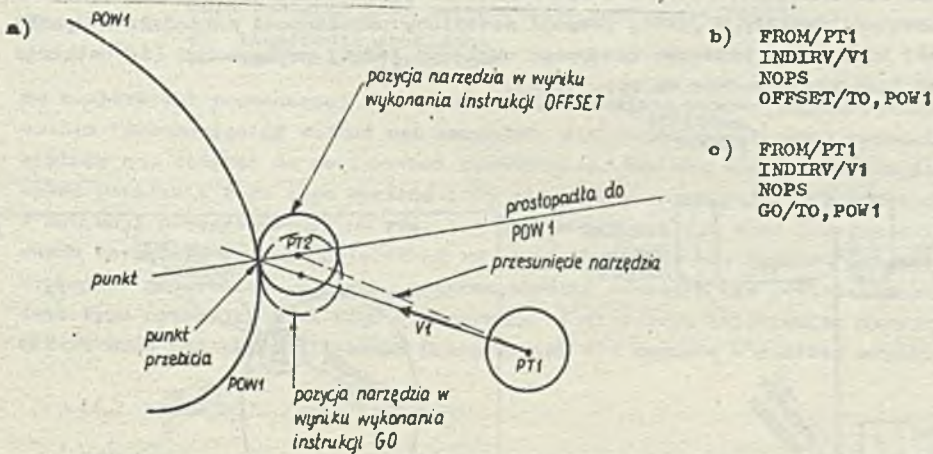
Instrukcja ta ma następującą postać:

OFFSET/  $\left[ \begin{matrix} \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \end{matrix} \right], \text{POW1}, \left[ \begin{matrix} \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \end{matrix} \right], \text{POW2}$

gdzie

TO, ON, PAST - są modyfikatorami pozytywnymi opisującymi sposób ustawienia narzędzia względem podanej dalej powierzchni.

POW1 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni lub definicją zagnieżdżoną powierzchni. Powierzchnię tę należy podać jako powierzchnię prowadzącą w następnej instrukcji ruchu.



Rys. 163. Przykład zastosowania instrukcji OFFSET dla zrealizowania odsunięcia względem jednej powierzchni

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT wykorzystujące instrukcję OFFSET  
c) instrukcje języka APT wykorzystujące instrukcję GO



POW2 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni lub definicją zagnieżdżoną powierzchni. Definiuje ona powierzchnię przedmiotu dla instrukcji OFFSET oraz dla następnych instrukcji (aż do momentu pojawienia się nowej definicji).

Jeżeli druga powierzchnia w instrukcji OFFSET nie została podana, wówczas używana jest poprzednio zdefiniowana powierzchnia przedmiotu (lub płaszczyzna OXY, o ile definicja powierzchni przedmiotu jeszcze nie wystąpiła). Przed instrukcją OFFSET może być podana instrukcja NOPS i wówczas przy przesunięciu narzędzia powierzchnia przedmiotu nie jest brana pod uwagę.

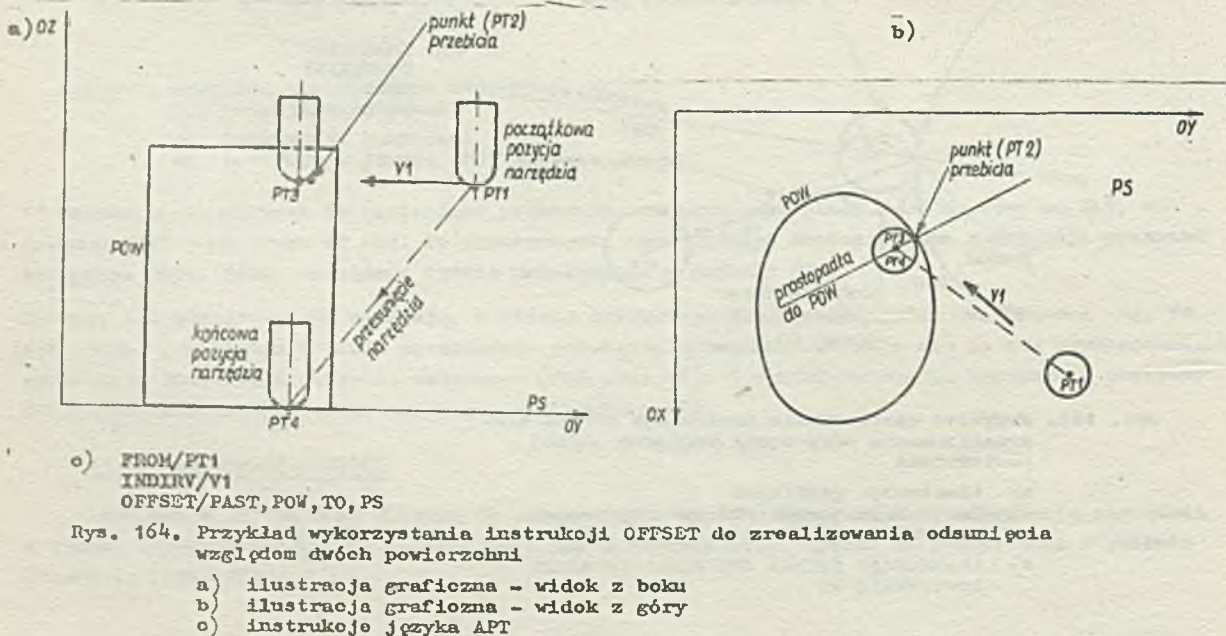
Instrukcja OFFSET musi być poprzedzona przez instrukcję INDIRV lub INDIRP. Określony przez te instrukcje kierunek musi być taki, aby wektor poprowadzony z aktualnego położenia narzędzia w tym podanym kierunku przecinał powierzchnię POW1 podaną w instrukcji OFFSET.

Poniżej będzie przedstawiony sposób, w jaki system APT określa końcowe położenie narzędzia spowodowane wykonaniem instrukcji OFFSET.

- (1) Wektor zdefiniowany za pomocą instrukcji INDIRV lub INDIRP używany jest do znalezienia punktu przecięcia powierzchni POW1 (czyli punktu, w którym wektor zaczepiony w punkcie określającym aktualne położenie narzędzia "przebiega" powierzchnią POW1).
- (2) W punkcie przecięcia wystawiana jest prostopadła do powierzchni POW1.
- (3) Narzędzie jest przesuwane wzdłuż tej prostopadłej, dopóki nie osiągnie pozycji spełniającej warunek (TO, ON lub PAST) określony w instrukcji OFFSET względem powierzchni POW1.
- (4) Jeżeli wcześniej została podana instrukcja NOPS, wówczas punkt otrzymany w wyniku wykonania czynności (1) + (3) określa końcowe położenie narzędzia uzyskane w wyniku wykonania instrukcji OFFSET.
- (5) Jeżeli instrukcja NOPS nie wystąpiła, wówczas narzędzie jest ustawiane względem powierzchni przedmiotu (POW2). Z pozycji określonej w kroku (3) jest ono przesuwane wzdłuż swojej osi, dopóki nie osiągnie prawidłowej pozycji (TO, ON lub PAST) względem powierzchni przedmiotu.

Jako efekt wykonania tych wszystkich operacji wyprowadzany jest jedynie punkt opisujący końcowe położenie narzędzia (a więc uzyskany w kroku (3) lub (5)).

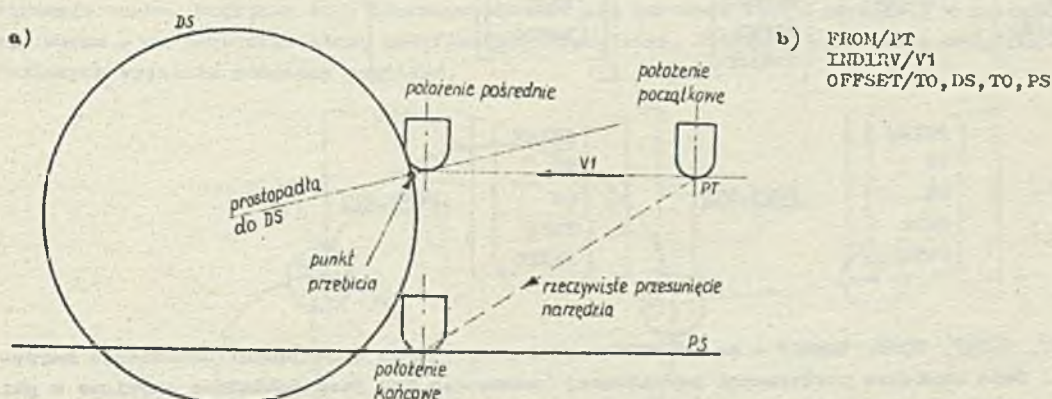
Przykład zastosowania instrukcji OFFSET w celu zrealizowania odsunięcia od jednej powierzchni przedstawia rys. 163. Po wykonaniu tej instrukcji narzędzie będzie umieszczone w punkcie PT2. Dla porównania zaznaczono również, w jakiej pozycji zostałoby umieszczone narzędzie w wyniku wykonania skierowanej instrukcji przesuwu wstępnego względem jednej powierzchni (to ostatnie przesunięcie opisują instrukcje podane na rys. 163a).





Na rys. 164 przedstawiono przykład wykorzystania instrukcji OFFSET do wykonania odsunięcia od dwóch powierzchni. Początkowo narzędzie ustawione jest w punkcie PT1. W kierunku wskazanym przez wektor V1 znajdujący jest punkt przebiecia powierzchni POW - jest nim punkt PT2. W punkcie tym wystawiona jest prostopadła do powierzchni POW i na tej prostopadłej znajduje się punkt PT3, odpowiadający takiemu położeniu punktu końcowego narzędzia, aby spełniało ono warunek PAST względem powierzchni POW. Ponieważ narzędzie musi być odpowiednio ustawione również względem powierzchni przedmiotu (PS - jest to płaszczyzna OXY), więc znajduje się punkt PT4, przez "przesunięcie" narzędzia wzdłuż jego osi w kierunku powierzchni przedmiotu. Po znalezieniu punktu PT4 dokonywane jest rzeczywiste przesunięcie narzędzia z punktu PT1 do punktu PT4 (zaznaczono linią przerywaną na rysunku).

W pewnych sytuacjach zastosowanie instrukcji OFFSET powoduje nieprawidłowe ustawienie narzędzia względem powierzchni prowadzącej po wykonaniu przesuwu wstępnego. Odpowiedni przykład jest przedstawiony na rys. 165. Jak widać, po wykonaniu przesuwu wstępnego narzędzie nie dotyka



Rys. 165. Przykład nieprawidłowego ustawienia narzędzia, jakie może wystąpić przy zastosowaniu instrukcji OFFSET

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

do powierzchni prowadzącej DS. Gdyby narzędzie miało wystarczającą wysokość, wówczas, po zakończeniu "przesunięcia" wzdłuż osi narzędzia w kierunku powierzchni przedmiotu, w dalszym ciągu mogłoby ono dotykać do powierzchni prowadzącej. Warunek ten nie zawsze jest spełniony. Z możliwości powstania tego typu wyników przy stosowaniu instrukcji OFFSET należy sobie zdawać sprawę. W sytuacji przedstawionej na rys. 165 system APT wykryje błąd przy pojawieniu się instrukcji ruchu narzędzia wzdłuż powierzchni DS (gdyż narzędzie nie będzie "dotykać" do tej powierzchni), natomiast programista - pisząc program obróbki części - nie powinien dopuszczać do powstawania tego typu sytuacji, gdyż błąd spowodowany niewłaściwym ustawieniem narzędzia przez instrukcję OFFSET może być zasygnalizowany przez system APT dopiero w dalszej części programu.

## 16. INSTRUKCJE RUCHU NARZĘDZIA

Instrukcje ruchu opisują przesunięcia narzędzia podczas obróbki materiału. Wykonanie tego typu instrukcji powoduje wygenerowanie zbioru wektorów drogi narzędzia, które składają się na ciąg podstawowych przesunięć (była już o tym mowa w pkt. 14). Przed wykonaniem instrukcji ruchu należy wcześniej właściwie ustawić narzędzie względem powierzchni podanych w tej instrukcji (względem których będzie następnie przesuwano narzędzie). Można to zrobić, stosując instrukcję:

- ruchu bezwzględnego GOTO,
- ruchu przyrostowego CODATA,
- przesuwu wstępnego GO,
- odsunięcia OFFSET.

Do ustawiania narzędzia przed wykonaniem instrukcji ruchu zaleca się stosowanie instrukcji GO



lub OFFSET, gdyż mamy wtedy gwarancję, że narzędzie będzie we właściwym położeniu względem odpowiednich powierzchni.

Instrukcje ruchu różnią się w zasadniczy sposób od instrukcji ustawiających narzędzie, a mianowicie:

- Instrukcje ustawiające narzędzie (GOTO, GODLTA, GO, OFFSET) powodują pojedyncze przesunięcie narzędzia i nie są używane do zeszkrawania materiału,
- instrukcja ruchu generuje ciąg prostoliniowych odcinków, wzdłuż których jest przesuwane narzędzie (tzw. ciąg podstawowych przesunięć) i stosowane są do usunięcia (zeszkrawania materiału).

Instrukcja ruchu ma następującą postać:

$$\left[ \begin{array}{c} \text{TLLFT} \\ \text{TLRGT} \\ \text{TLOF} \\ \text{TLNDON} \end{array} \right], \left[ \begin{array}{c} \text{TLOFNS} \\ \text{TLOFPS} \end{array} \right], \left\{ \begin{array}{c} \text{GOLFT} \\ \text{GORGT} \\ \text{GOUN} \\ \text{GODOWN} \\ \text{GOFWD} \\ \text{GOBACK} \end{array} \right\} / \text{POW1}, \left[ \begin{array}{c} \text{PSTAN} \\ \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \\ \text{TANTO} \end{array} \right], \text{POW2} \quad ;$$

$$\left[ \text{,ET1}, \left[ \begin{array}{c} \text{PSTAN} \\ \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \\ \text{TANTO} \end{array} \right] \text{POW3,ET2} \right], \left[ \begin{array}{c} \text{PSTAN} \\ \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \\ \text{TANTO} \end{array} \right], \text{POW4,ET3} \right] \text{,f}$$

gdzie

TLLFT, TLRGT, TLOF, TLNDON - są modyfikatorami pozycyjnymi opisującymi ustawienie narzędzia względem powierzchni prowadzącej (znaczenie ich jest dokładnie omówione w pkt. 14.2). Jeżeli podany będzie jeden modyfikator z tej grupy, to obowiązuje on również dla pojawiających się później instrukcji ruchu, dopóki nie zostanie określony inny modyfikator z tej grupy.

TLOFNS, TLOFPS - są modyfikatorami pozycyjnymi opisującymi ustawienie narzędzia względem powierzchni przedmiotu (znaczenie ich jest omówione w pkt. 14.1). Jeżeli będzie podany jeden z tych modyfikatorów, to obowiązuje on dla następnych instrukcji ruchu - dopóki nie pojawi się nowy modyfikator z tej grupy. Jeżeli żaden z tych modyfikatorów nie został podany to przyjmuje się, że wystąpił TLOFPS.

GOLFT, GORGT, GOUN, GODOWN, GOFWD, GOBACK - są modyfikatorami kierunkowymi, które określają kierunek ruchu narzędzia podczas wykonywania przesunięcia opisanego instrukcją ruchu. Jeden z takich modyfikatorów musi wystąpić w każdej instrukcji ruchu. Modyfikatory te będą opisane w pkt. 16.1.

POW1 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni. Powierzchnia ta jest powierzchnią prowadzącą dla danej instrukcji ruchu (pojęcie powierzchni prowadzącej zostało wprowadzone w pkt. 14.2).

TO, ON, PAST, TANTO, PSTAN - są modyfikatorami pozycyjnymi opisującymi końcowe położenie narzędzia względem powierzchni, która wystąpiła w instrukcji ruchu za tym modyfikatorem. Jeżeli nie został podany żaden modyfikator to zakłada się, że wystąpił modyfikator TO. Znaczenie tych modyfikatorów jest opisane w pkt. 14.3.

POW2 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej powierzchni lub definicją zagnieżdżoną powierzchnią. Powierzchnia ta jest powierzchnią ograniczającą dla danej instrukcji ruchu (pojęcie powierzchni ograniczającej jest wprowadzone w pkt. 14.3).

f - jest liczbą lub nazwą zmiennej, której wartość określa szybkość posuwu. Będzie ona obowiązywać aż do momentu podania nowej szybkości posuwu.

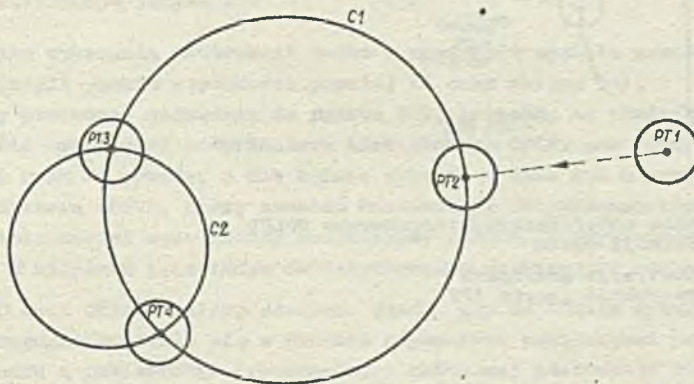


Pozostała część instrukcji tzn. począwszy od ET1 aż do ET3 zawiera informacje dotyczące wielokrotnej powierzchni ograniczającej. Będzie ona omówiona w pkt. 16.5.

Należy podkreślić, że znak § w zapisie postaci ogólnej instrukcji ruchu został użyty jedynie jako znak kontynuacji (zob. pkt 2.2.) instrukcji w następnej linii i nie wchodzi w skład samej instrukcji. Później będą dokładniej omówione zagadnienia związane ze stosowaniem instrukcji ruchu.

#### 16.1. Modyfikatory Kierunkowe

Jeżeli narzędzie zostało w sposób właściwy ustawione względem materiału, co w programie obróbki części jest równoznaczne z właściwym ustawieniem narzędzia względem powierzchni przedmiotu oraz powierzchni prowadzącej, wówczas narzędzie może rozpocząć ruch roboczy. Wstępne ustawienie narzędzia mogło być efektem działania instrukcji ustawiającej narzędzie (np. instrukcji przesuwu wstępnego) bądź też poprzedniej instrukcji ruchu. Warunkiem koniecznym jest również zdefiniowanie kierunku ruchu narzędzia - określa go kierunek wstępnego przesunięcia narzędzia bądź też jest to ostatni wektor z ciągu podstawowych przesunięć odpowiadającego poprzedniej instrukcji ruchu. Względem tego kierunku określa się kierunek ruchu narzędzia w następnej instrukcji ruchu - do tego celu służą modyfikatory kierunkowe. Potrzebę stosowania modyfikatorów kierunkowych wyjaśnia poniższy przykład.



Rys. 166. Przykład celowości stosowania modyfikatorów kierunkowych w instrukcjach ruchu

Na rys. 166 przedstawiono sytuację, w której narzędzie początkowo ustawiono w punkcie PT1. W wyniku przesunięcia wstępnego narzędzie zostało przeniesione do punktu PT2 (tak więc przesunięcie z punktu PT1 do PT2 określa kierunek ruchu). Następnie - w wyniku wykonania instrukcji ruchu narzędzie jest przesuwane wzdłuż powierzchni C1 (oczywiście w zakresie tolerancji) dopóki nie znajdzie się ono na powierzchni C2. W tym momencie należy określić, w jakim kierunku chcemy przesuwać narzędzie, gdyż możliwe są dwa przesunięcia:

- w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (w efekcie narzędzie znajdzie się w punkcie PT3)
- w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara (w wyniku takiego przesunięcia narzędzie znajdzie się w punkcie PT4).

Oba przesunięcia są zgodne z nałożonymi wymaganiami, tzn. w wyniku przesunięcia narzędzie znajdzie się na powierzchni C2.

Dlatego też - aby w sposób jednoznaczny zdefiniować przesunięcie narzędzia - potrzebny jest modyfikator kierunkowy. W języku APT mogą wystąpić trzy pary takich modyfikatorów, a mianowicie:

GOLEFT - GORGT

GOFWD - GOBACK

GOUP - GODOWN

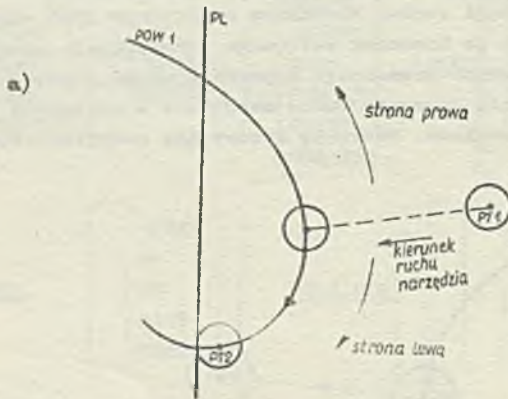
Będą one omówione poniżej.



• Modyfikatory GOLFT - GORGT

Modyfikator GOLFT wskazuje, że narzędzie należy zwrócić w lewo względem jego aktualnego położenia (przy powierzchni przedmiotu oraz powierzchni prowadzącej), zaś modyfikator GORGT wskazuje, że narzędzie należy zwrócić w prawo. Strona lewa i prawa ustalone są względem poprzedniego kierunku ruchu narzędzia. Mówią bardzo opisowo, jeżeli jesteśmy zwrócenii twarzą w kierunku określonym przez poprzednie przesunięcie narzędzia, wówczas prawa ręka wskazuje stronę prawą, zaś lewa ręka - lewą.

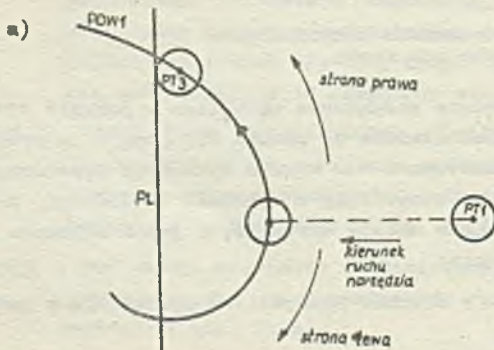
Przykłady zastosowania modyfikatorów kierunkowych GOLFT oraz GORGT, wyjaśniające dokładniej ich znaczenia, przedstawiono na rys. 167 oraz 168. Z porównania tych dwóch rysunków wynika, że w analogicznej sytuacji zastosowanie modyfikatora GOLFT powoduje przesunięcie narzędzia do punktu PT2 (rys. 167), zaś zastosowanie modyfikatora GORGT - przesunięcie do punktu PT3 (rys. 168).



b) FROM/PT1  
GO/ON, POW1  
TLON, GOLFT/POW1, TO, PL

Rys. 167. Znaczenie modyfikatora kierunkowego GOLFT w instrukcji ruchu

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



b) FROM/PT1  
GO/ON, POW1  
TLON, GORGT/POW1, TO, PL

Rys. 168. Znaczenie modyfikatora kierunkowego GORGT w instrukcji ruchu

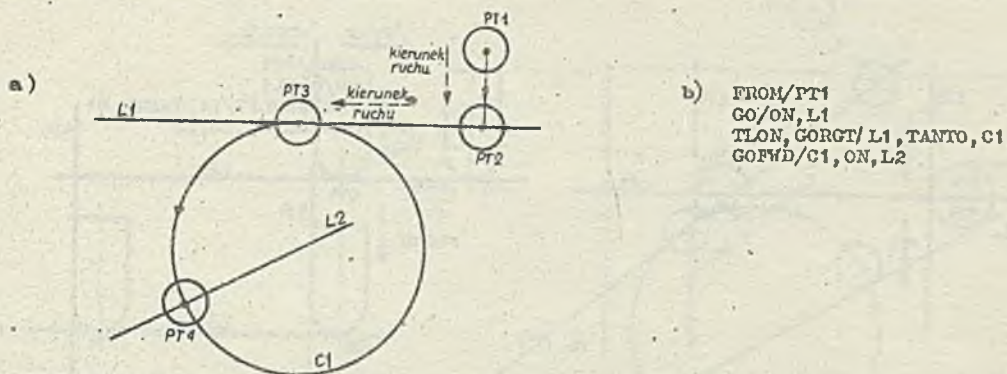
- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

• Modyfikatory GOFWD - GOBACK

Okazuje się, że w pewnych sytuacjach nie mogą być zastosowane modyfikatory GOLFT ani GORGT. Dzieje się tak wówczas, gdy przejście na inną krzywą nie pociąga za sobą ani zwrotu w prawo ani w lewo względem dotychczasowego kierunku ruchu, lecz jest kontynuacją aktualnego kierunku ruchu



"do przodu". W celu dokładniejszego zrozumienia tego problemu rozważmy przykład przedstawiony na rys. 169. Początkowo narzędzie było umieszczone w punkcie PT1 skąd - w wyniku przesuwu wstępnego - zostało przesunięte do punktu PT2.



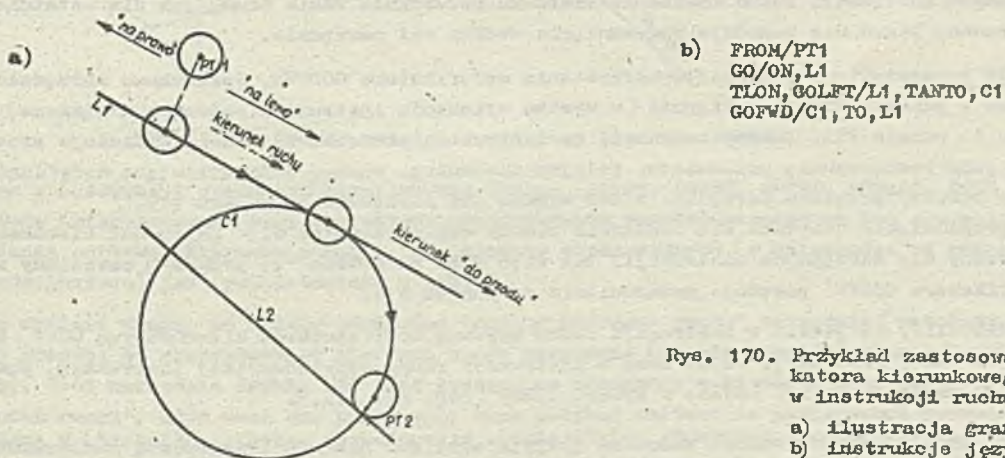
Rys. 169. Przykład konieczności stosowania modyfikatora kierunkowego GOFWD

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Następnie - w wyniku wykonania instrukcji ruchu - narzędzie zostało przesunięte wzdłuż prostej L1 do punktu PT3 (czyli punktu styczności prostej L1 oraz okręgu C1). Teraz obojętnie przesunąć narzędzie do punktu PT4, leżącego na przecięciu okręgu C1 z prostą L2. Do tego celu nie można użyć modyfikatora kierunkowego GOLFT ani GORGT, ponieważ narzędzie będzie kontynuować ruch do przodu, a nie będzie skręcać w lewo lub w prawo. W takiej sytuacji należy użyć modyfikatora GOFWD, który oznacza kontynuację dotychczasowego kierunku ruchu "do przodu". Analogicznie został wprowadzony modyfikator GOBACK, który oznacza, że narzędzie powinno być przesuwane w kierunku przeciwnym do dotychczasowego kierunku ruchu.

Modyfikatory GOFWD oraz GOBACK należy stosować wtedy, gdy na skutek wykonania poprzedniej instrukcji ruchu narzędzie znalazło się w punkcie styczności powierzchni prowadzącej z poprzedniej instrukcji ruchu i powierzchni prowadzącej z aktualnej instrukcji ruchu. Sytuacja taka występuje wtedy, gdy w poprzedniej instrukcji ruchu powierzchnia ograniczająca była styczna do powierzchni prowadzącej (czyli zastosowano modyfikator pozytywny TANTO), a ponadto ta powierzchnia ograniczająca poprzedniej instrukcji ruchu staje się powierzchnią prowadzącą w następnej instrukcji ruchu.

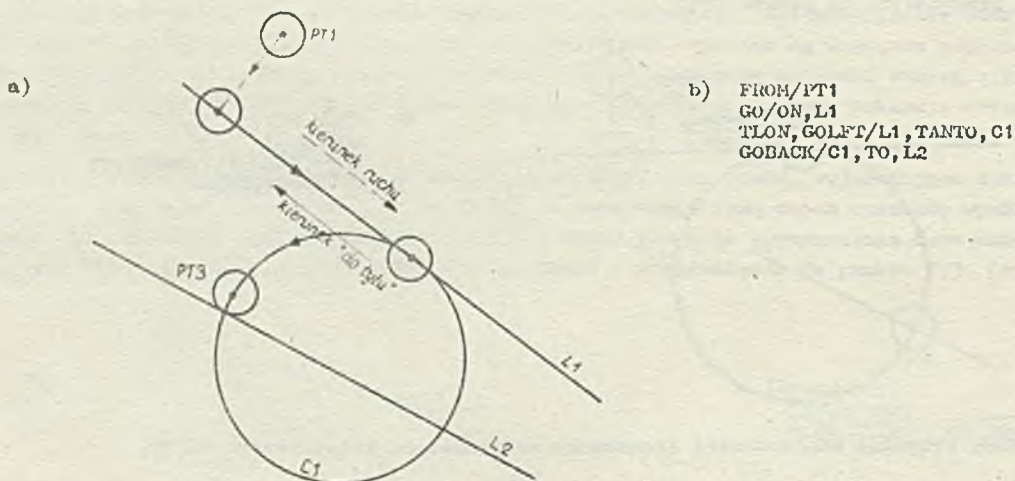
Znaczenie modyfikatorów kierunkowych GOFWD oraz GOBACK jest zilustrowane na rys. 170 oraz 171.



Rys. 170. Przykład zastosowania modyfikatora kierunkowego GOFWD w instrukcji ruchu

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT





Rys. 171. Przykład zastosowania modyfikatora kierunkowego GOBACK w instrukcji ruchu

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

W takiej samej sytuacji zastosowanie modyfikatora GOFWD powoduje umieszczenie narzędzia w punkcie PT2 (rys. 170), zaś modyfikatora GOBACK - w punkcie PT3 (rys. 171).

#### • Modyfikatory GOUP - GODOWN

Modyfikatory GOUP oraz GODOWN należy stosować tylko w sytuacji, w której modyfikatory GORGT, GOLF, GOFWD lub GOBACK nie są w stanie właściwie opisać nowego kierunku ruchu.

Omawiane dotychczas modyfikatory kierunkowe były ustalane względem poprzedniego kierunku ruchu narzędzia, natomiast GOUP i GODOWN opisują ruch wzdłuż osi narzędzia.

Modyfikator GOUP oznacza, że ruch powinien odbywać się w kierunku analogicznym do odsuwania się narzędzia (tzn. w górę osi narzędzia), zaś modyfikator GODOWN oznacza, że ruch powinien odbywać się w kierunku zagiębiania się narzędzia (tzn. w dół osi narzędzia).

Zastosowanie modyfikatorów GOUP lub GODOWN nie zmienia dotychczasowego znaczenia kierunku, o ile ruch wynikający z GOUP lub GODOWN odbywa się dokładnie wzdłuż osi narzędzia.

Dla następnych instrukcji ruchu znaczenie kierunku pozostanie takie samo, jak dla ostatniej instrukcji ruchu, która nie powoduje przesunięcia wzdłuż osi narzędzia.

Na rys. 172 przedstawiono przykład wykorzystania modyfikatora GODOWN. Początkowo narzędzie jest umieszczone w punkcie PT1, a następnie (w wyniku wykonania instrukcji przesuwu wstępnego) jest przesuwane do punktu PT2. Należy zauważyć, że instrukcja przesuwu wstępnego definiuje płaszczyznę PL jako powierzchnię przedmiotu. Kolejna instrukcja ruchu, wykorzystująca modyfikator kierunkowy GODOWN, przesuwa narzędzie w dół wzdłuż osi narzędzia do punktu PT3.

Ponieważ przesunięcie odbywało się dokładnie wzdłuż osi narzędzia, więc poprzedni kierunek ruchu jest zachowany dla następnych instrukcji. Tak więc ruch narzędzia "do przodu" (określony za pomocą modyfikatora GOFWD) powoduje przesunięcie do punktu PT4.

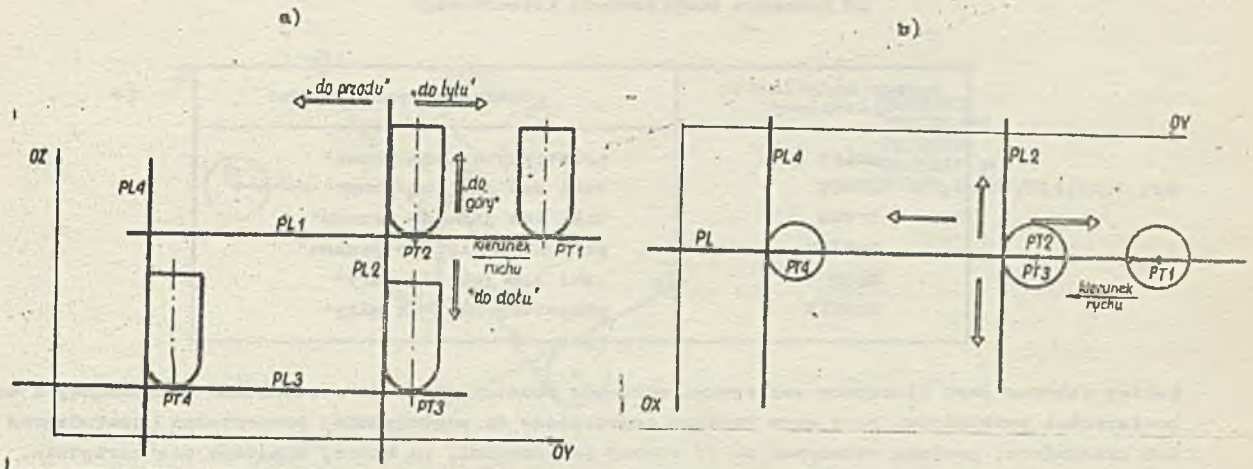
Należy podkreślić, że jeżeli w instrukcji ruchu używany modyfikatorów kierunkowych GOUP lub GODOWN, to w danej instrukcji ruchu oraz w instrukcji ruchu poprzedzającej instrukcję, powierzchnia ograniczająca musi być podana w sposób jawny (zob. pkt 16.3).

W celu lepszego zrozumienia znaczenia modyfikatorów kierunkowych warto prześledzić, w jaki sposób system APT określa kierunek przed wykonaniem instrukcji ruchu.

Do tego celu jest wykorzystywany poprzedni kierunek ruchu oraz aktualne ukierunkowanie osi na-



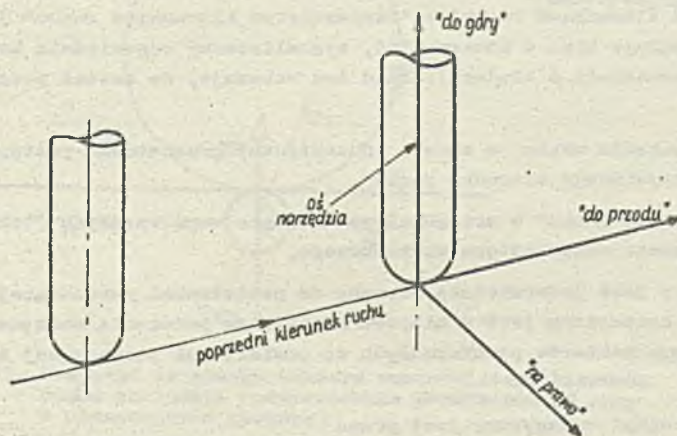
rzędzia. Na tej podstawie jest tworzony ortogonalny układ współrzędnych (rys. 173).



- o) FROM/PT1
- GO/TO, PL2, ON, PL, TO, PL1
- TLONPS, GODOWN/PL2, TO, PL3
- GOFWD/PL3, TO, PL4

Rys. 172. Przykład wykorzystania modyfikatora kierunkowego GODOWN w instrukcji ruchu narzędzia

- a) ilustracja graficzna - widok z boku
- b) ilustracja graficzna - widok z góry
- c) instrukcje języka APT



Rys. 173. Sposób ustalania ogólnego kierunku ruchu

Podane w instrukcji ruchu modyfikatory kierunkowe (GOLFT, GORGT, GOFWD, GOBACK, GOUP i GODOWN) są wtedy interpretowane względem układu współrzędnych przedstawionego na tym rysunku. Sposób ustalania ogólnego kierunku ruchu w tym układzie współrzędnych (w zależności od rodzaju podanego modyfikatora) jest przedstawiony w tab. 8.

Warto zwrócić uwagę, że należy odróżniać "ogólny kierunek ruchu" narzędzia (ustalony w podany wyżej sposób) od rzeczywistego kierunku ruchu narzędzia (sposób jego określania będzie podany dalej). Otóż narzędzie zwykle nie jest przesuwane dokładnie w kierunku określonym przez "ogólny kierunek ruchu", gdyż musi ono przez cały czas dotykać zarówno do powierzchni prowadzącej jak i do powierzchni przedmiotu. Dlatego też "rzeczywisty kierunek ruchu" jest zwykle trochę inny i jest on wskazywany przez wektor styczny zarówno do powierzchni prowadzącej, jak i do powierzchni przedmiotu i zaczepiony w miejscu aktualnego położenia narzędzia.



Tab. 8. Sposób ustalania ogólnego kierunku ruchu w zależności od podanego modyfikatora kierunkowego

Podany modyfikator kierunkowy	Ogólny kierunek ruchu
GOLFT	przeciwny do "na prawo"
GORGT	taki sam jak "na prawo"
GOFWD	taki sam jak "do przodu"
GOBACK	przeciwny niż "do przodu"
GOUP	taki sam jak "do góry"
GODOWN	przeciwny niż "do góry"

Wektor styczny jest iloczynem wektorowym wektorów prostopadłych do powierzchni prowadzącej i do powierzchni przedmiotu, przy czym wektory prostopadłe do odpowiedniej powierzchni (prowadzącej lub przedmiotu) powinny wskazywać na tę stronę powierzchni, po której znajduje się narzędzie. Iloczyn wektorowy tych dwóch wektorów, utworzony zgodnie z regułą prawej ręki, daje wektor styczny, a ten z kolei wskazuje "rzeczywisty kierunek ruchu" narzędzia.

Znaleziony wcześniej "ogólny kierunek ruchu" narzędzia używany jest przez system APT do dodatkowej kontroli, a mianowicie obliczany jest iloczyn skalarny wektora wskazującego ogólny kierunek ruchu i wektora stycznego. Gdy wynik mnożenia jest dodatni, oznacza to, że rzut wektora stycznego na wektor ogólnego kierunku ruchu będzie leżał na tym ostatnim wektorze.

Gdy iloczyn skalarny jest ujemny, to oznacza to, że rzut wektora stycznego leży na przedłużeniu wektora ogólnego kierunku ruchu i wówczas zwrot wektora stycznego zostaje zmieniony na przeciwny.

Jeżeli kąt między "ogólnym kierunkiem ruchu" a "rzeczywistym kierunkiem ruchu" jest większy niż  $88^\circ$ , wówczas system APT wykryje błąd o numerze 505, sygnalizowany odpowiednim komunikatem (zob. Część III opracowania - Komunikaty o błędach). Błąd ten wskazuje, że został podany niewłaściwy modyfikator kierunkowy.

Podsumowując powyższe rozważania można w sposób schematyczny przedstawić postępowanie prowadzące do znalezienia "rzeczywistego kierunku ruchu".

- Znajdujemy "ogólny kierunek ruchu" w ortogonalnym układzie współrzędnych (takim jak na rys. 173), na podstawie podanego modyfikatora kierunkowego.
- Znajdujemy wektor, który jest jednocześnie styczny do powierzchni prowadzącej oraz do powierzchni przedmiotu i zaczepiony jest w miejscu aktualnego położenia narzędzia. Wektor ten jest iloczynem wektorowym wektorów prostopadłych do powierzchni prowadzącej i do powierzchni przedmiotu.
- "Rzeczywisty kierunek ruchu" wskazywany jest przez
  - wektor styczny (jeżeli iloczyn skalarny wektora stycznego i wektora wskazującego ogólny kierunek ruchu jest dodatni).
  - wektor o zwrocie przeciwnym do wektora stycznego (gdy iloczyn skalarny jest ujemny).

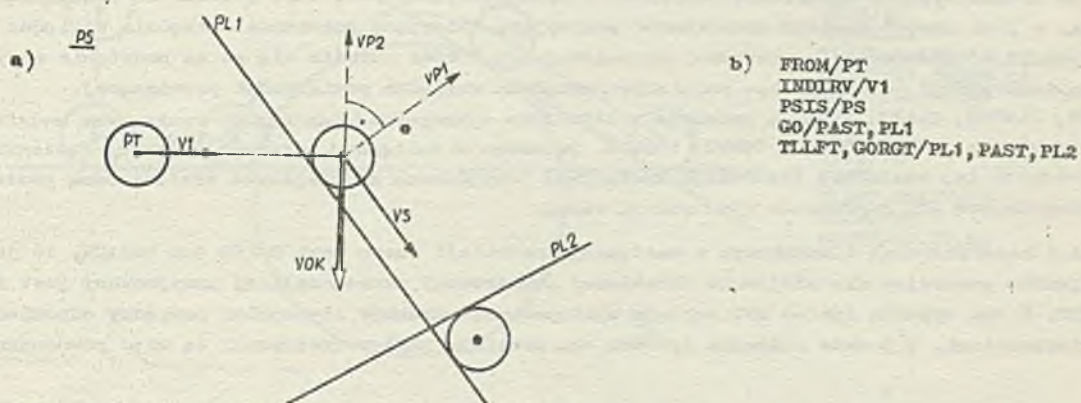
Sposób ustalania rzeczywistego kierunku ruchu zilustrowano odpowiednim przykładem na rys. 174. Wektor  $V_1$  wskazuje poprzedni kierunek ruchu. Na podstawie znajomości  $V_1$ , kierunku osi narzędzia oraz modyfikatora kierunkowego (GORGT) znajdowany jest wektor ogólnego kierunku ruchu ( $VOK$ ).

Następnie znajdujemy wektor styczny  $VS$  do powierzchni prowadzącej ( $PL_1$ ) jako iloczyn wektorowy wektora prostopadłego do powierzchni prowadzącej ( $VP_1$ ) oraz wektora prostopadłego do powierzchni przedmiotu ( $VP_2$ ). Ponieważ iloczyn skalarny wektora stycznego i ogólnego kierunku ruchu jest dodatni, więc wektor  $VS$  jest wektorem rzeczywistego kierunku ruchu.

Na rys. 175 przedstawiono sytuację, w której system APT wykryje, że podany modyfikator kierunkowy GOLFT jest błędny (właściwym modyfikatorem jest GOFWD).

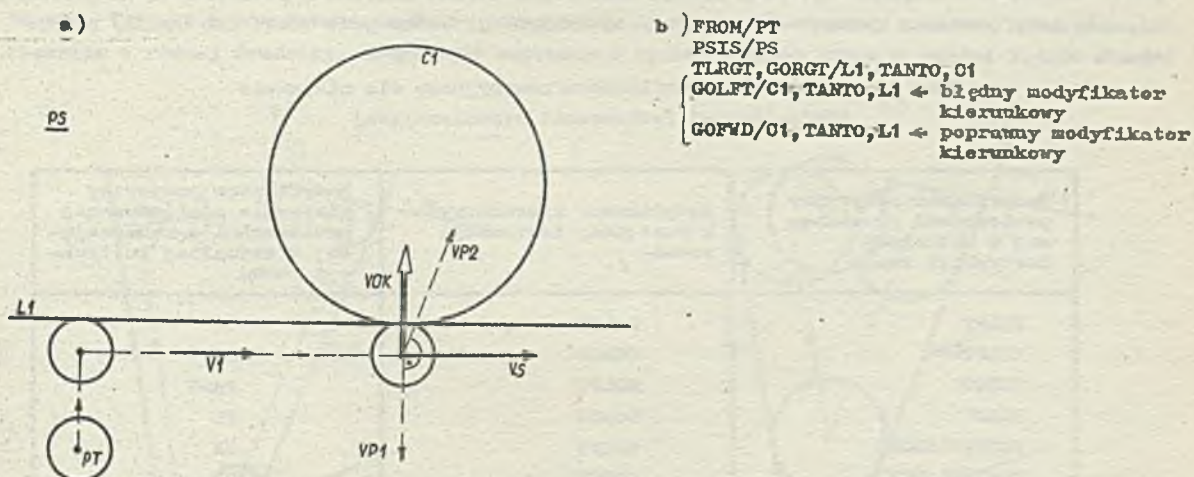
Na rysunku tym wektor  $V_1$  określa poprzedni kierunek ruchu narzędzia. W punkcie styczności





Rys. 174. Sposób ustalania rzeczywistego kierunku ruchu narzędzia (powierzchnia przedmiotu PS leży w płaszczyźnie rysunku)

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Rys. 175. Przykład ustalania wektora rzeczywistego kierunku ruchu narzędzia (powierzchnia przedmiotu PS leży w płaszczyźnie rysunku)

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

prostej L1 oraz okręgu C1 znajduje się wektor ogólnego kierunku ruchu narzędzia (wektor VOK). Przy znajdowaniu tego wektora uwzględniono podany w instrukcji modyfikator kierunkowy GOLFT. Następnie został znaleziony wektor rzeczywistego kierunku ruchu (VS) jako iloczyn wektorowy wektora prostopadłego do powierzchni prowadzącej C1 (a więc wektora VP1) oraz wektora prostopadłego do powierzchni przedmiotu PS (czyli wektora VP2). Ponieważ kąt między wektorem VS oraz wektorem VOK jest większy od  $88^\circ$ , więc system APT stwierdził, że podany modyfikator kierunkowy był błędny. Podany zostanie komunikat o wystąpieniu błędu 505.

## 16.2. Niejawnie określona powierzchnia ograniczająca

Jak to już było wspomniane (zob. pkt 14.3.) powierzchnia ograniczająca w instrukcji ruchu może być zdefiniowana:

- w sposób jawny i jest nią wówczas powierzchnia POW2 (zob. ogólna postać instrukcji ruchu).



- sposób niejawni i jest nią wówczas powierzchnia prowadząca podana w następnej instrukcji ruchu.

W tym drugim wypadku określania powierzchni ograniczającej pozostaje jeszcze do rozwiązania problem, w jaki sposób znaleźć modyfikator pozycyjny, opisujący położenie narzędzia względem tej niejawnie zdefiniowanej powierzchni ograniczającej. Otóż określa się go na podstawie modyfikatora pozycyjnego określającego położenie narzędzia względem powierzchni prowadzącej (TLON, TLNDON, TLLFT, TLRGT), podanego w aktualnie wykonywanej instrukcji ruchu oraz modyfikatora kierunkowego GOLFT, GORGT, GOFWD, GOBACK podanego w następnej instrukcji ruchu. Powierzchnia prowadząca tej następnej instrukcji ruchu jest przyjmowana za niejawnie zdefiniowaną powierzchnię ograniczającą dla poprzedniej instrukcji ruchu.

Jeżeli modyfikatorem kierunkowym w następnej instrukcji ruchu jest GOFWD lub GOBACK, to jako modyfikator pozycyjny dla niejawnie określonej powierzchni ograniczającej przyjmowany jest zawsze TANTO. W tym wypadku system APT zakłada występowanie warunków styżności pomiędzy odpowiednimi powierzchniami. Z punktu widzenia systemu oba poniższe zbiory instrukcji są więc równoważne:

•	•
•	•
•	•
GOFWD/POW1	GOFWD/POW1, TANTO, POW2
GOFWD/POW2	GOFWD/POW2
•	•
•	•
•	•

Sposób określania modyfikatora pozycyjnego dla niejawnie zdefiniowanej powierzchni ograniczającej, gdy modyfikatorem kierunkowym w następnej instrukcji ruchu jest GOLFT lub GORGT, podaje tab. 9.

Tab. 9. Określanie modyfikatora pozycyjnego dla niejawnie zdefiniowanej powierzchni ograniczającej

Modyfikator pozycyjny powierzchni prowadzącej w aktualnej instrukcji ruchu	Modyfikator kierunkowy w następnej instrukcji ruchu	Modyfikator pozycyjny niejawnie zdefiniowanej powierzchni ograniczającej w aktualnej instrukcji ruchu
TLLFT	GOLFT	TO
TLLFT	GORGT	PAST
TLRGT	GOLFT	PAST
TLRGT	GORGT	TO
TLON(TLNDON)	GOLFT	ON
TLON(TLNDON)	GORGT	ON

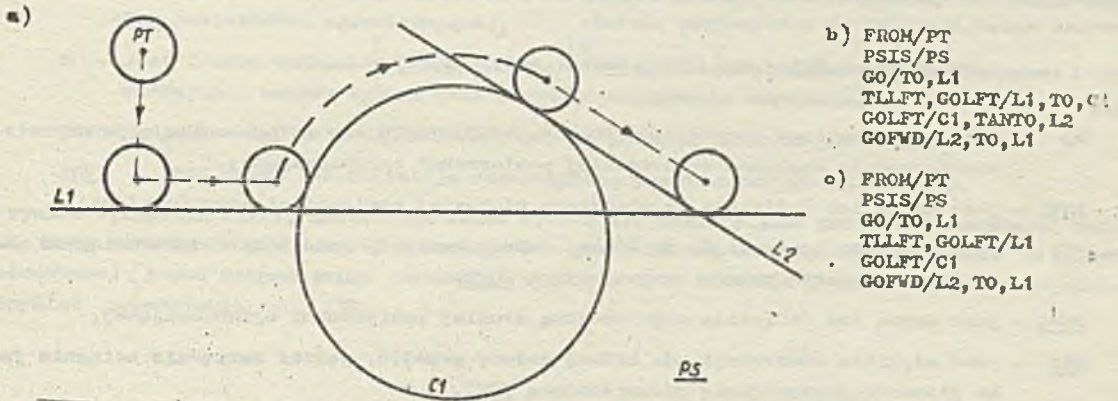
Na rys. 176 b i c przedstawiono dwa równoważne zbiory instrukcji opisujące ruch narzędzia naznaczony na rys. 176 a. Różnią się one między sobą tym, że w jednej z grup instrukcji (rys. 176c) wykorzystywano niejawnie zdefiniowaną powierzchnię ograniczającą.

Należy podkreślić, że modyfikatory kierunkowy GOUN i GODOWN nie mogą występować w instrukcjach ruchu, które niejawnie definiują powierzchnię ograniczającą. Instrukcje, w których występują te modyfikatory, muszą być również poprzedzone przez instrukcje ruchu, w których powierzchnia ograniczająca jest określona w sposób jawny.

### \* 16.3. Wielokrotna powierzchnia ograniczająca

W pewnych sytuacjach trudno jest się zdecydować, którą powierzchnię należy podać jako powierzchnię ograniczającą w instrukcji ruchu, gdyż nie można określić, którą z rozważanych powierzchni narzędzie osiągnie jako pierwszą podczas wykonywania instrukcji ruchu. Można to założyć od wielu warunków, a m.in. od średnicy narzędzia.

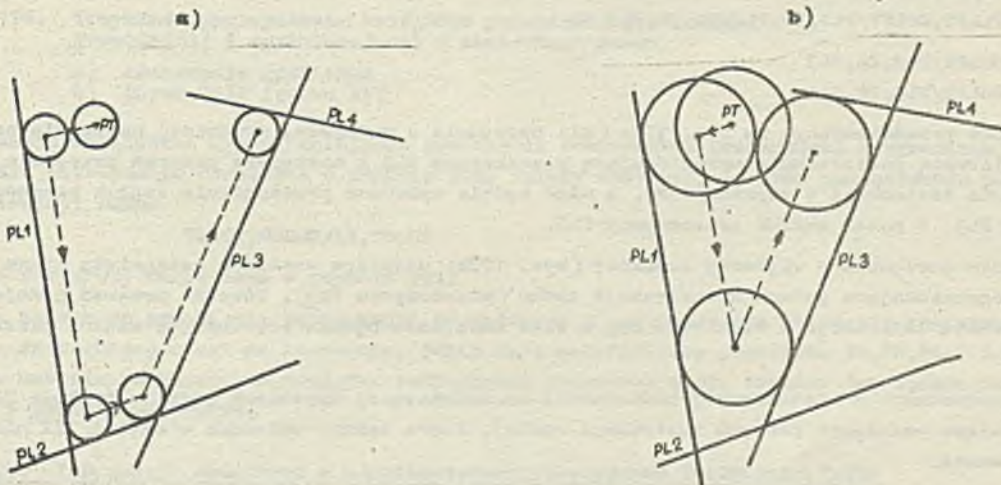




Rys. 176. Przykład programowania z jawnie, bądź niejawnie zdefiniowanymi powierzchniami ograniczającymi (powierzchnia przedmiotu PS leży w płaszczyźnie rysunku)

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT (powierzchnia ograniczająca są zdefiniowane w sposób jawny)  
c) instrukcje języka APT (powierzchnie ograniczające są zdefiniowane w sposób niejawnie)

Na rys. 177 a i b przedstawiono dwie identycznie zdefiniowane części, które są wykonywane narzędziami o różnej średnicy. Oczywiście uzyskany w wyniku obróbki kształt części będzie różny.



Rys. 177. Przykład zastosowania wielokrotnej powierzchni ograniczającej

- a) ilustracja graficzna - w wypadku narzędzia o małej średnicy  
b) ilustracja graficzna - w wypadku narzędzia o dużej średnicy

Z punktu widzenia programu obróbki części istotne jest jednak, aby sam program opisywał w sposób poprawny proces obróbki, bez względu na średnicę zastosowanego narzędzia (w tym wypadku chodzi o podanie właściwej powierzchni ograniczającej - PL2 lub PL3 - w instrukcji ruchu narzędzia).

Na rys. 177a narzędzie osiągnie płaszczyznę PL2, natomiast na rys. 177b narzędzie o większej średnicy dotknie najpierw do płaszczyzny PL3. W takiej sytuacji wygodnie jest zastosować wielokrotną powierzchnię ograniczającą.



W ogólnej instrukcji ruchu (podanej na początku punktu 16) fragment dotyczący wielokrotnej powierzchni ograniczającej ma następującą postać:

... [ [mp], POW2 ] [ ET1 [mp], POW3, ET2 ] [ [mp], POW4, ET3 ] .....

gdzie:

- mp - jest modyfikatorem pozycyjnym (TO, ON, PAST, TANTO lub PSTAN) opisującym ustawienie narzędzia względem odpowiedniej powierzchni ograniczającej,
- POW2 - jest nazwą lub definicją zagnieźdżoną pierwszej powierzchni ograniczającej,
- ET1 - jest etykietą instrukcji, do której należy przejść, jeżeli narzędzie osiągnie jako pierwszą powierzchnię ograniczającą POW2,
- POW3 - jest nazwą lub definicją zagnieźdżoną drugiej powierzchni ograniczającej,
- ET2 - jest etykietą instrukcji, do której należy przejść, jeżeli narzędzie osiągnie jako pierwszą powierzchnię ograniczającą POW3,
- POW4 - jest nazwą lub definicją zagnieźdżoną trzeciej powierzchni ograniczającej,
- ET3 - jest etykietą instrukcji, do której należy przejść, jeżeli narzędzie osiągnie jako pierwszą powierzchnię ograniczającą POW4.

Jak widać z przedstawionej wersji instrukcji ruchu mogą wystąpić co najwyżej 3 powierzchnie ograniczające.

W wypadku przedstawionym na rys. 177 można wykorzystać wielokrotną powierzchnię ograniczającą, opisując ruch narzędzia w następujący sposób:

FROM/PT

GO/TO, PL1

TLIFT, GOLFT/PL1, TO, PL2, E1, TO, PL3, E2

E1) GOLFT/PL2, TO, PL3

E2) GOLFT/PL3, TO, PL4

W wypadku przedstawionym na rys. 177a (dla narzędzia o mniejszej średnicy) narzędzie osiągnie jako pierwszą powierzchnię ograniczającą płaszczyznę PL2 i następnie program przejdzie do wykonywania instrukcji o etykiecie E1, a więc będzie wykonane przesunięcie wzdłuż płaszczyzny PL2 do PL3, a potem wzdłuż płaszczyzny PL3.

W wypadku narzędzia o większej średnicy (rys. 177b) najpierw zostanie osiągnięta druga powierzchnia ograniczająca podana w instrukcji ruchu (płaszczyzna PL3). Wówczas program przejdzie do wykonywania instrukcji o etykiecie E2, a więc narzędzie będzie przesunięte wzdłuż płaszczyzny PL3.

Przy korzystaniu z wielokrotnej powierzchni ograniczającej użyteczna jest instrukcja TRANTO (powodująca ominięcie pewnych instrukcji ruchu), która będzie omówiona w części III niniejszego opracowania.

#### 16.4. Wielokrotne przecięcia powierzchni ograniczającej

W instrukcji ruchu pozycja zatrzymania narzędzia jest zwykle związana z pierwszym napotkaniem przecięcia się powierzchni prowadzącej i powierzchni ograniczającej. Często jednak chcemy to pierwsze przecięcie ominąć, natomiast zatrzymać narzędzie przy drugim bądź trzecim przecięciu się powierzchni prowadzącej i ograniczającej. System API daje nam taką możliwość, gdyż dopuszczalna jest następująca postać odpowiedniego fragmentu instrukcji ruchu (dotyczącego powierzchni ograniczającej):

.... /POW2,  $\begin{bmatrix} \text{TO} \\ \text{ON} \\ \text{PAST} \\ \text{TANTO} \end{bmatrix}$ , n, INTRUF, POW3

gdzie

POW2 - jest nazwą lub definicją zagnieźdżoną powierzchni prowadzącej,



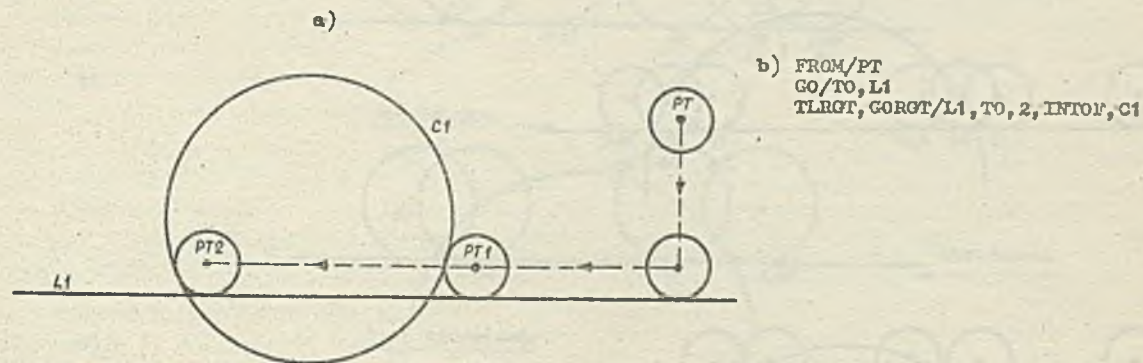
TO, ON, PAST, TANTO - są modyfikatorami pozycyjnymi opisującymi ustawienie narzędzia względem powierzchni ograniczającej,

n - jest liczbą oalkowitą określającą, które przecięcie powierzchni prowadzącej i ograniczającej należy wybrać jako pozycję zatrzymania narzędzia,

INTOF - jest modyfikatorem określającym, że podajemy kolejne przecięcie,

POW3 - jest nazwą lub definicją zagnieżdżoną powierzchni ograniczającej.

W wyniku wykonania takiej instrukcji ruchu system APT wybiera jako pozycję zatrzymania narzędzia n-te przecięcie powierzchni prowadzącej z powierzchnią ograniczającą, liczone od pozycji początkowej (przed rozpoczęciem instrukcji ruchu) wzdłuż kierunku ruchu narzędzia. Odpowiedni przykład przedstawia rys. 178.



Rys. 178. Przykład wykorzystania kolejnego przecięcia powierzchni prowadzącej i ograniczającej w instrukcji ruchu

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Wykorzystanie możliwości wyboru kolejnego przecięcia powierzchni prowadzącej z ograniczającą, spowodowało zatrzymanie narzędzia w punkcie PT2. Należy zauważyć, że przy zastosowaniu powyższej instrukcji ruchu

TLRG, GORGT/L1, TO, C1

narzędzie zostałoby zatrzymane w punkcie PT1.

Z wyborem kolejnego przecięcia powierzchni prowadzącej z ograniczającą wiąże się konieczność zwrócenia szczególnej uwagi na znaczenie, jakie mają modyfikatory pozycyjne TO, ON, PAST i TANTO opisujące ustawienie narzędzia względem powierzchni ograniczającej. Problem ten będzie szerzej omówiony w punkcie następnym.

#### \* 16.5. Informacje dodatkowe o modyfikatorach pozycyjnych TO, ON, PAST, TANTO

Modyfikatory pozycyjne TO, ON, PAST, TANTO opisują ustawienie narzędzia względem powierzchni ograniczającej. Są one zdefiniowane w punkcie 14.3.

W dotychczas rozważanych przykładach narzędzie, przed wykonaniem instrukcji ruchu, było zawsze ustawione na zewnątrz powierzchni ograniczającej, tzn. żaden punkt narzędzia nie znajdował się w paśmie tolerancji tej powierzchni. Wymaga dodatkowych wyjaśnień sytuacja, gdy przed wykonaniem instrukcji ruchu narzędzie z jakich powodów "narusza" powierzchnię ograniczającą tej instrukcji. Podobnie mogą zaistnieć problemy ze znajdowaniem poprawnej pozycji narzędzia przy kolejnym przecięciu powierzchni prowadzącej i ograniczającej. Wymaga więc dokładniejszego omówienia znaczenia modyfikatorów pozycyjnych. W tym celu należy podać następujące definicje:

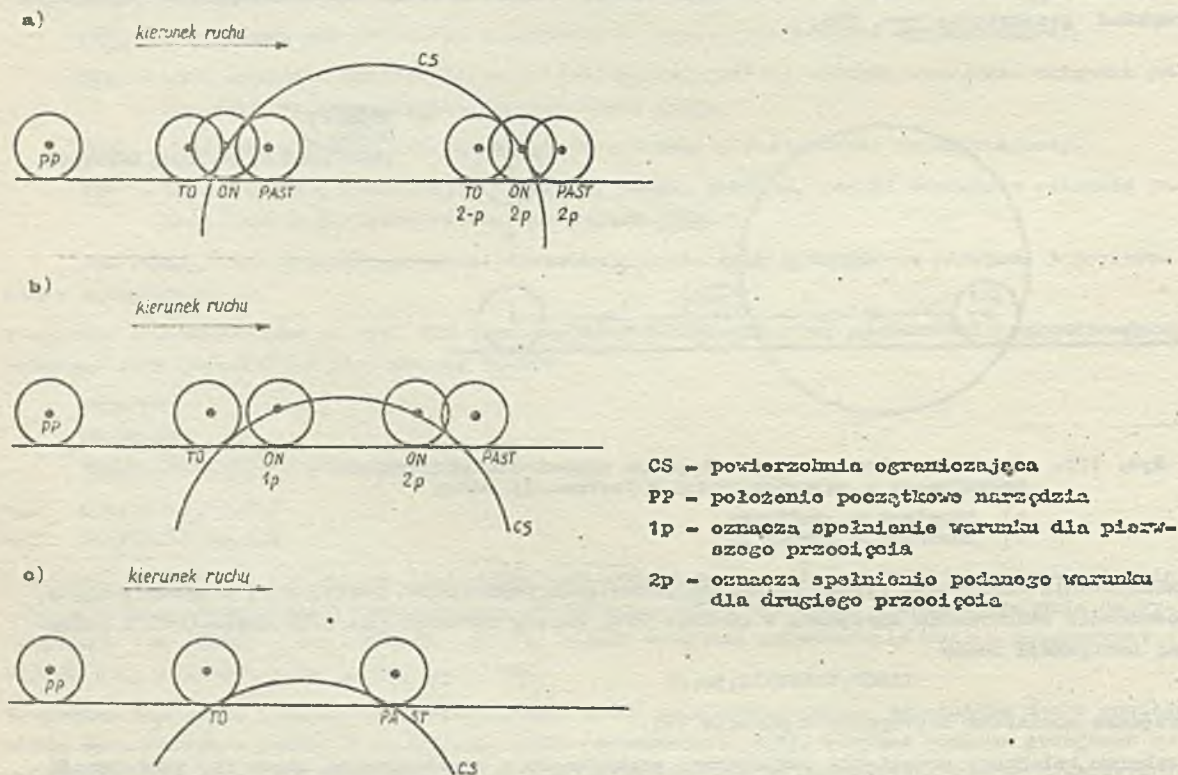
- narzędzie jest prawidłowo odsunięte od powierzchni (tzn. spełnia warunek TO lub PAST), gdy nie narusza powierzchni ani nie jest na zewnątrz tej powierzchni (tzn. przynajmniej jeden punkt narzędzia leży w zakresie tolerancji tej powierzchni, natomiast żaden punkt narzędzia nie narusza powierzchni więcej niż podaje to pasmo tolerancji),



- narzędzie jest ustawione prawidłowo na powierzchni (tzn. spełnia warunek ON), jeżeli środek narzędzia leży w paśmie tolerancji tej powierzchni, inne punkty narzędzia mogą naruszać powierzchnię.

#### • Modyfikatory TO i PAST

Jeżeli narzędzie przed wykonaniem instrukcji ruchu jest ustawione na zewnątrz powierzchni ograniczającej, to poruszając się wzdłuż powierzchni prowadzącej w kierunku powierzchni ograniczającej najpierw osiągnie położenie TO, następnie PAST w później TO drugiego przebiegu oraz PAST drugiego przebiegu (były tu wymieniane jedynie pozycje narzędzia spełniające warunek odsunięcia).



Rys. 179. Przykłady prawidłowej pozycji narzędzia spełniającej warunki TO, ON, PAST, gdy narzędzie w położeniu początkowym nie narusza powierzchni ograniczającej

Na rys. 179 przedstawiono trzy sytuacje różniące się położeniem narzędzia względem powierzchni ograniczającej. W każdej z tych sytuacji, przed wykonaniem instrukcji ruchu narzędzie leży na zewnątrz powierzchni ograniczającej.

W sytuacji przedstawionej na rys. 179a narzędzie, przy każdym przebiegu powierzchni prowadzącej z ograniczającą, ma trzy możliwe pozycje zatrzymania (TO, ON i PAST). Na rys. 179b po znalezieniu pierwszego prawidłowego warunku odsunięcia (tzn. TO), narzędzie narusza powierzchnię, dopóki nie znajdzie się po drugiej stronie powierzchni ograniczającej.

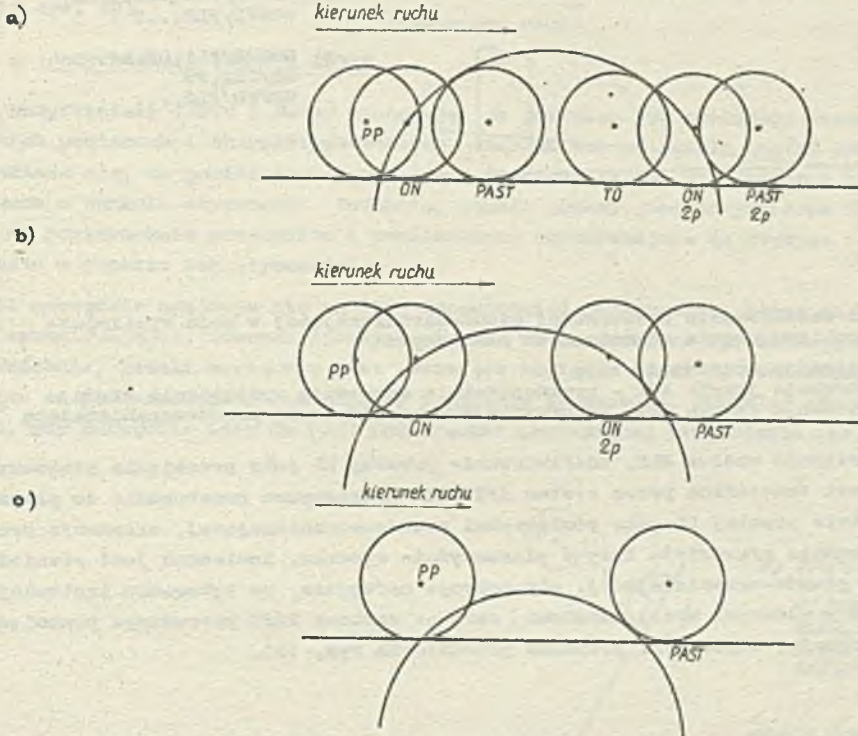
Pozycja ta jest drugą, która spełnia warunek odsunięcia - w tym wypadku jest to PAST (pierwszego przebiegu - chociaż jest to faktycznie drugie przebiegię powierzchni prowadzącej z ograniczającą, ale pierwsze przebiegię, które spełnia warunek PAST). Na rys. 179c przedstawiono sytuację, w której są prawidłowo zdefiniowane warunki TO i PAST, chociaż nie można określić prawidłowego położenia ON.

Jeżeli w położeniu początkowym narzędzie narusza powierzchnię ograniczającą lub spełnia w poprawny sposób warunek odsunięcia, wówczas pierwszym poprawnym położeniem odsunięcia (napotkanym



podczas ruchu narzędzia wzdłuż powierzchni przedmiotu i powierzchni prowadzącej) narzędzia jest PAST pierwszego przecięcia.

Następną pozycją, spełniającą warunek odsunięcia, jest TO pierwszego przecięcia (obowiązuje to drugie przecięcie drogi narzędzia skrawającego i powierzchni ograniczającej, ale pierwsze przecięcie, które spełnia warunek TO). Kolejnymi pozycjami narzędzia, które spełniają warunek odsunięcia będą PAST drugiego przecięcia, TO drugiego przecięcia itd.



Rys. 180. Przykłady prawidłowej pozycji narzędzia spełniającej warunki TO, ON, PAST w sytuacji, gdy narzędzie w położeniu początkowym (PP) narusza powierzchnię ograniczającą. Obowiązują analogiczne oznaczenia, jak na rys. 179.

Na rys. 180 przedstawiono trzy przykłady ilustrujące powyższe rozważania. W tym wypadku narzędzie w swoim położeniu początkowym narusza powierzchnię ograniczającą.

Na rys. 180a pierwszą prawidłową pozycją odsunięcia jest PAST. Następnie narzędzie przechodzi na drugą stronę powierzchni ograniczającej, gdzie spełnione są warunki TO oraz PAST drugiego przecięcia. Na rys. 180b pokazano, że jedynym dopuszczalnym warunkiem odsunięcia będzie PAST, podobnie jak na rys. 180c.

Przy stosowaniu płaszczyzn jako powierzchni przedmiotu, prowadzącej i ograniczającej w instrukcjach ruchu, gdy chcemy podać modyfikatory pozycyjne TO lub PAST, należy zwrócić uwagę na następujący problem. Teoretycznie każde dwie płaszczyzny, które się przecinają mogą być używane w instrukcji ruchu jednocześnie jako powierzchnia przedmiotu i prowadząca bądź powierzchnia przedmiotu i ograniczająca, bądź jako powierzchnia prowadząca i ograniczająca. W praktyce jednak dokładność obliczeń i algorytm stosowany do znajdowania położenia narzędzia nakłada ograniczenie na kąt, pod jakim będą się przecinać te płaszczyzny - nie mogą one być zbyt bliskie położenia równoległości.

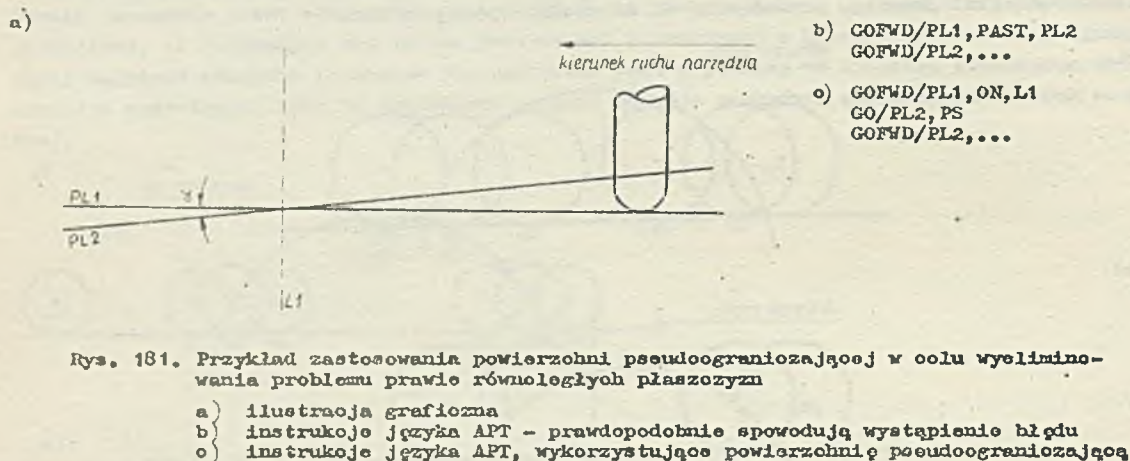
Dokładne ograniczenie jest funkcją kształtu narzędzia, zaprogramowanego ustawienia narzędzia względem powierzchni (TO, ON lub PAST), położenia początkowego narzędzia względem powierzchni i odległości od początku układu współrzędnych.

W praktyce nie zaleca się stosowania modyfikatorów TO lub PAST w odniesieniu do płaszczyzn, które są "prawie równoległe" tzn. kąt między nimi jest mniejszy od  $1^\circ$ . W przeciwnym wypadku może



zostać wykryty błąd 901 lub 902 (zob. Część III opracowania - Komunikaty o błędach).

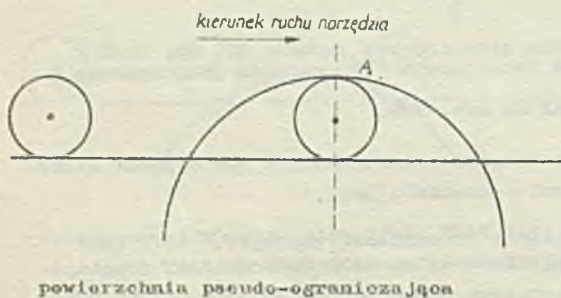
Gdy mamy do czynienia z parą płaszczyzn, które nie spełniają powyższego wymagania, problem można rozwiązać stosując modyfikator ON lub przez zastosowanie tzw. powierzchni pseudo-ograniczającej. Odpowiedni przykład przedstawia rys. 181. Narzędzie przesuwa się wzdłuż płaszczyzny PL1 do



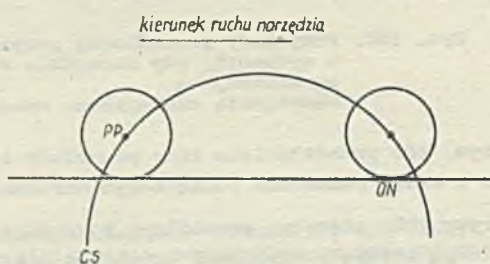
Rys. 181. Przykład zastosowania powierzchni pseudoograniczającej w celu wyeliminowania problemu prawie równoległych płaszczyzn

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT - prawdopodobnie spowodują wystąpienie błędów  
o) instrukcje języka APT, wykorzystujące powierzchnię pseudoograniczającą

przecięcia z PL2, a następnie wzdłuż PL2. Zdefiniowanie prostej L1 jako przecięcia płaszczyzn PL1 i PL2 (prosta ta jest traktowana przez system APT jako płaszczyzna prostopadła do płaszczyzny OXY) oraz wykorzystanie prostej L1 jako powierzchni pseudo-ograniczającej, eliminuje problem. Zakłada się, że powierzchnia przedmiotu leży w płaszczyźnie rysunku. Konieczne jest również stosowanie powierzchni pseudo-ograniczającej, gdy pozycja narzędzia, po wykonaniu instrukcji ruchu, spełnia (zgodnie z podanymi wyżej zasadami) zarówno warunek PAST pierwszego przecięcia jak i TO drugiego przecięcia. Odpowiedni przykład przedstawia rys. 182.



Rys. 182. Przykład zastosowania powierzchni pseudo-ograniczającej, gdy warunki TO i PAST są trudne do znalezienia



Rys. 183. Przykład znajdowania pozycji narzędzia spełniającej warunek ON, gdy w położeniu początkowym (PP) narzędzie jest ustawione na powierzchni ograniczającej (spełnia warunek ON)

Warto tu zauważyć, że ze względu na iteracyjny charakter obliczeń przeprowadzonych przez system APT może się zdarzyć, że system nie będzie mógł znaleźć prawidłowej pozycji narzędzia. TO lub PAST pozycja A. Poprawnym rozwiązaniem jest zastosowanie powierzchni pseudo-ograniczającej, w celu zatrzymania narzędzia w żądanym punkcie.

#### • Modyfikator ON

Podanie modyfikatora ON w instrukcji ruchu oznacza, że narzędzie jest przesuwane wzdłuż powierzchni przedmiotu i powierzchni prowadzącej, dopóki nie napotka położenia ON względem powierzchni



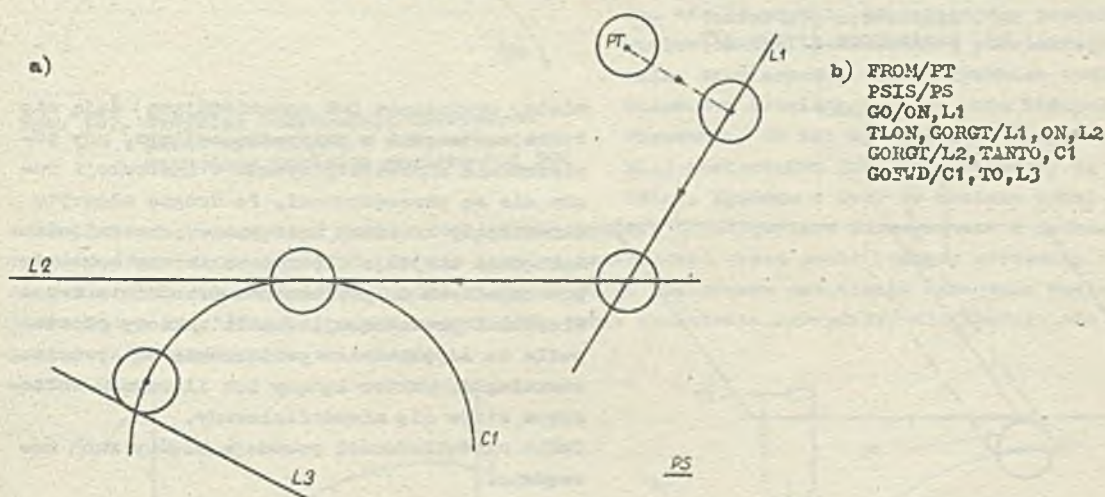
ograniczającej. Rysunki 179 i 180, oprócz pozycji narzędzia spełniających warunki odsunięcia (TO lub PAST), przedstawiają prawidłowe ustawienie narzędzia na powierzchni ograniczającej (spełniające warunek ON).

Należy zauważyć, że jeżeli przed wykonaniem instrukcji ruchu narzędzie w położeniu początkowym spełnia warunek ON względem powierzchni ograniczającej, to wówczas pierwszym ustawieniem narzędzia spełniającym warunek ON będzie następna akceptowalna pozycja ON. Odpowiedni przykład przedstawia rys. 183.

#### • Modyfikatory TANTO i PSTAN

Modyfikatory TANTO i PSTAN oznaczają, że powinien być spełniony warunek styczności odpowiednich powierzchni charakterystycznych. Oznacza to, że jeżeli został podany modyfikator TANTO, to zakłada się, że powierzchnia prowadząca i ograniczająca są stykne i narzędzie zostaje zatrzymane w punkcie styczności. Podobnie, jeżeli podany jest modyfikator PSTAN wówczas zakłada się, że powierzchnia przedmiotu i powierzchnia ograniczająca są stykne i narzędzie zostaje zatrzymane w punkcie ich styczności.

Jeżeli narzędzie znajduje się na (ON) odpowiedniej powierzchni, która ma być stykna do powierzchni ograniczającej, wówczas zatrzyma się ono na powierzchni ograniczającej w punkcie styczności. Podobnie, jeżeli narzędzie jest odsunięte względem danej powierzchni, to będzie ono odsunięte od powierzchni ograniczającej w punkcie styczności. Przykład stosowania modyfikatora TANTO, gdy narzędzie leży na (ON) powierzchni prowadzącej przedstawia rys. 184, zaś gdy narzę-



Rys. 184. Przykład zastosowania modyfikatora TANTO, gdy narzędzie leży na powierzchni prowadzącej (powierzchnia przedmiotu PS leży w płaszczyźnie papieru)

- a) ilustracja graficzna
- b) instrukcje języka APT

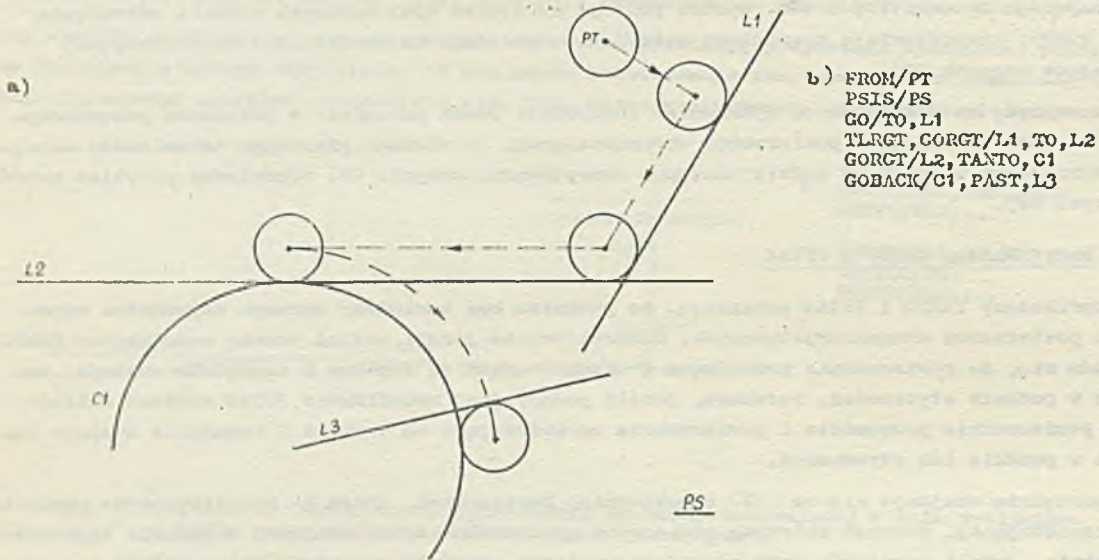
dzie spełnia warunek odsunięcia od powierzchni prowadzącej - rys. 185.

Należy zauważyć, że system APT może napotkać na trudności przy obliczeniu pozycji końcowej narzędzia w sytuacji, gdy powierzchnia przedmiotu i powierzchnia prowadząca są prawie stykne oraz punkt, w którym narzędzie dotyka powierzchni przedmiotu leży blisko miejsca styczności powierzchni. Sytuację taką przedstawiono na rys. 186.

Trudności w obliczeniu takiego położenia narzędzia pochodzą z dwóch źródeł.

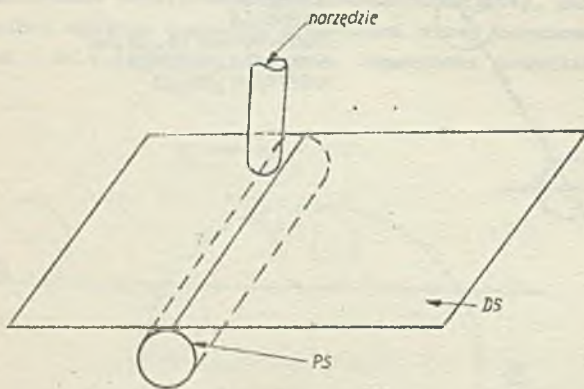
Po pierwsze algorytm używany do aktualizacji położenia narzędzia względem powierzchni przedmiotu i powierzchni prowadzącej dla każdego elementarnego wektora drogi narzędzia traktuje powierzchnie jako płaszczyzny. Z tego powodu opisane przy okazji omawiania modyfikatorów TO i PAST ograniczenia kąta, pod jakim mogą się przecinać płaszczyzny (używane jako powierzchnie przed-





Rys. 185. Przykład zastosowania modyfikatora TANTO, gdy narzędzie spełnia warunek odsunięcia względem powierzchni prowadzącej. Powierzchnia przedmiotu PS leży w płaszczyźnie papieru

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Rys. 186. Przykład położenia narzędzia blisko miejsca styczności powierzchni przedmiotu (PS) i powierzchni prowadzącej (DS)

miotu, prowadząca lub ograniczająca) dają się także zastosować w przypadku ogólnym, gdy powierzchnie charakterystyczne w instrukcji ruchu nie są płaszczyznami. Po drugie algorytm określający kierunek następnego przesunięcia narzędzia znajduje iloczyn wektorowy wektorów prostopadłych do powierzchni przedmiotu i powierzchni prowadzącej. Jeżeli wektory prostopadłe do odpowiednich powierzchni są prawie równoległe, wektor będący ich iloczynem wektorowym staje się nieokreślony. Takie niedokładności powodują błędny ruch narzędzia.

#### \* 16.6. Uwagi dodatkowe o możliwości popełnienia błędu związanego z ustawieniem narzędzia względem powierzchni

W celu określenia właściwego ustawienia narzędzia względem powierzchni (przed lub po

wykonaniu instrukcji przesuwającego narzędzie) system APT musi przeprowadzić pewne obliczenia. Z przyjętym algorytmem obliczeń wiąże się konieczność nałożenia pewnych ograniczeń m.in. na dopuszczalny sposób ustawienia narzędzia względem powierzchni. Trudno jest omówić wszystkie takie krytyczne sytuacje, ale kilka najważniejszych zostanie poniżej zasygnalizowanych.

#### • Niewłaściwe ustawienie narzędzia względem powierzchni

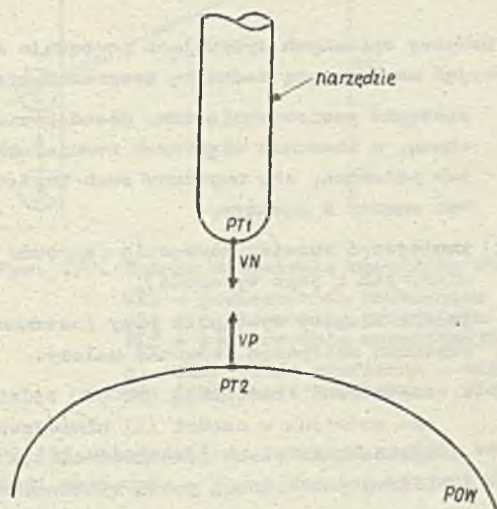
Aby ułatwić zrozumienie trudności, które może napotkać system APT przy określeniu właściwego ustawienia narzędzia względem powierzchni, będą podane pewne informacje o stosowanym do tego celu przez system, algorytmie.



System APT oblicza ustawienie narzędzia względem powierzchni znajdując dwa wektory VN i VP takie, że:

- wektor VN, zaczepiony w punkcie końcowym narzędzia jest prostopadły do powierzchni narzędzia i wskazuje kierunek na zewnątrz narzędzia,
- wektor VP, prostopadły do powierzchni, zwrócony jest w kierunku narzędzia i zaczepiony w punkcie powierzchni, przez który przechodzi wektor VN.

Ponadto musi być spełniony warunek, że obydwa wektory muszą być przeciwnie skierowane.



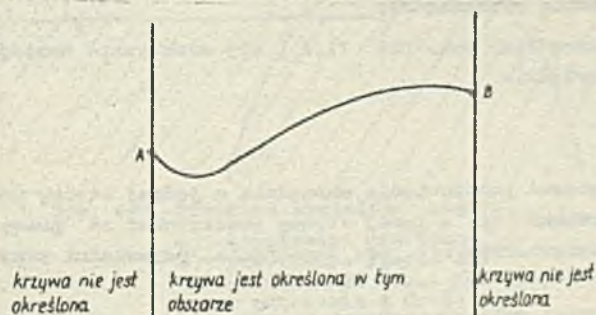
Rys. 187. Przykład konstrukcji tworzonych przez system APT w celu ustawienia narzędzia względem powierzchni POW

Na rys. 187 przedstawiono sposób konstruowania tego typu wektorów. Należy zauważyć, że obydwa wektory powinny przechodzić przez punkt zarówno PT1 jak i PT2 (oczywiście w zakresie podanych tolerancji).

Biorąc pod uwagę powyższe wymagania algorytmu obliczeń można stwierdzić, że narzędzie może być ustawione względem powierzchni w taki sposób, który nie pozwoli na wykonanie prawidłowych obliczeń przez system APT.

Mozna na przykład opisać takie ustawienie narzędzia i powierzchni, aby żadna prostopadła do powierzchni nie przecinała narzędzia. Zdarza się to zwykle, gdy stosujemy powierzchnię wielościanową, powierzchnię prostokreślną lub walec tabelaryczny. Dla wszystkich tych powierzchni istnieją punkty, poza którymi powierzchnie te nie są określone (przykład takiej powierzchni jest przedstawiony na rys. 188a). Zgodnie z tym, co zostało wyżej stwier-

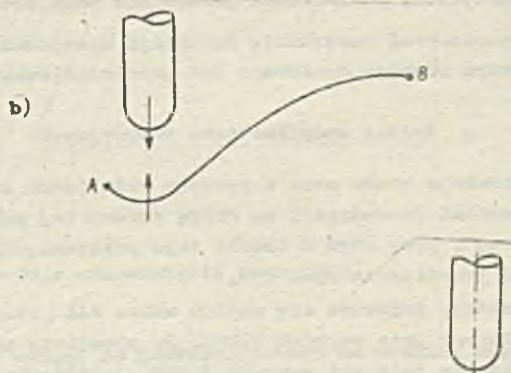
dzzone, zawsze powinno być możliwe obliczenie wektora prostopadłego do narzędzia i jednocześnie prostopadłego do powierzchni. Wektor taki ma przechodzić przez punkt końcowy narzędzia oraz punkt na powierzchni. Na rys. 188b przedstawiono przykład właściwego ustawienia narzędzia względem powierzchni z rys. 188a, natomiast na rys. 188c takie ustawienie narzędzia, dla którego nie mogą być przeprowadzone poprawne obliczenia.



a)

Rys. 188. Przykład ustawienia narzędzia względem powierzchni

- a) przykład powierzchni
- b) przykład właściwego ustawienia narzędzia względem powierzchni
- c) przykład niewłaściwego ustawienia narzędzia względem powierzchni



b)



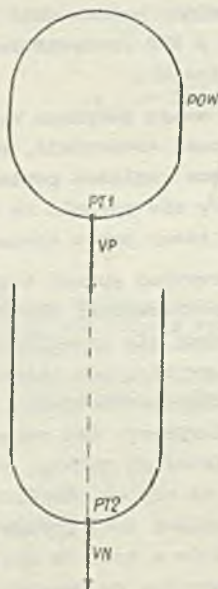
c)



Występują również sytuacje, w których powierzchnia jest "bardzo mała" w stosunku do rozmiaru narzędzia lub powierzchnia jest "zbyt oddalona" względem narzędzia. Pojęcie "małej wielkości" oraz "oddalenia" powierzchni w stosunku do narzędzia zależą głównie od rozmiaru i kształtu narzędzia. Nie można tu podać ogólnej zasady bliżej precyzującej powyższe warunki, gdyż każda sytuacja jest unikalna.

Sytuacja powyższa, ze względu na stosowany algorytm obliczeń, również nie może być prawidłowo przetwarzana przez system APT.

Na rys. 189 przedstawiono jedną z takich sytuacji.



Rys. 189. Przykład nieokreślonego ustawienia narzędzia względem powierzchni

W powyżej opisanych sytuacjach proponuje się przyjąć następującą technikę programowania:

- 1) zastąpić powierzchnię tzw. pseudopowierzchnią, o znacznie większych rozmiarach i tak położoną, aby uzyskany ruch narzędzia był zgodny z żądanym,
- 2) zmniejszyć rozmiar narzędzia (zarówno promień, jak i jego wysokość),
- 3) jeżeli kłopoty wystąpiły przy instrukcji przesuwu wstępnego, wówczas należy:
  - a) zastosować instrukcję DNTCUT (bądź ona omówiona w części III niniejszego opracowania), aby przenieść narzędzie bliżej powierzchni przed wykonaniem przesuwu wstępnego,
  - b) zastosować instrukcje INDIRV lub INDIRP, które w prawidłowy sposób wskazują żądaną powierzchnię,
- 4) jeżeli kłopoty wystąpiły przy instrukcji ruchu narzędzia, wówczas należy:
  - a) określić mniejszy krok obliczeń (zob. Cz. III - Opis instrukcji MAXDP) - około  $3/4$  normalnego rozmiaru kroku dla danej

krzywizny powierzchni przedmiotu bądź powierzchni prowadzącej,

- b) zastosować instrukcję definicji specjalnej narzędzia (zob. pkt 11.2), aby efektywnie zmniejszyć rozmiar dyskowego lub pierścieniowego narzędzia.

#### • Zmiany modyfikatorów pozycyjnych

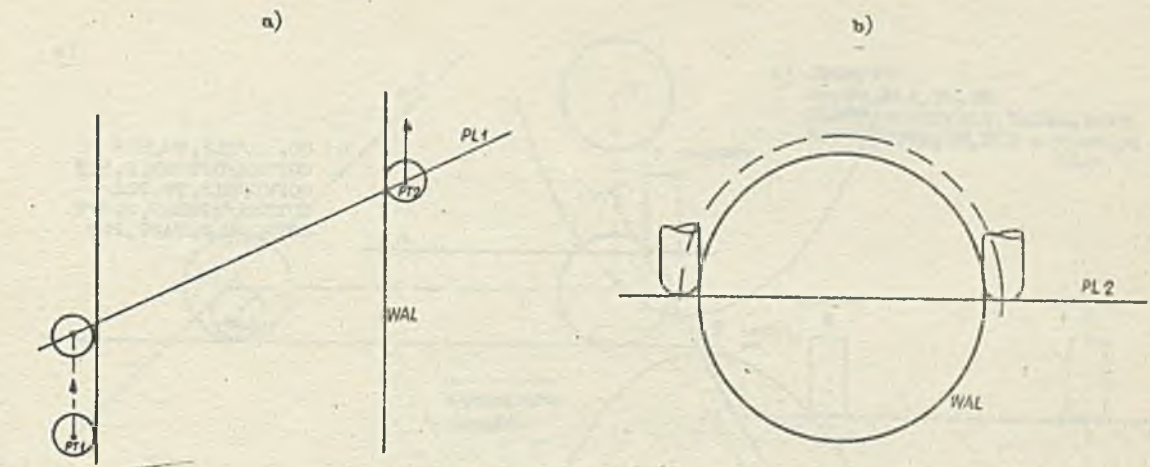
Instrukcja ruchu może w pewnych sytuacjach spowodować przesunięcie narzędzia z jednej strony powierzchni prowadzącej na drugą stronę tej powierzchni (np. z lewej strony powierzchni na prawą stronę), przy czym w czasie tego przesunięcia powierzchnia nie jest przecinana. Odpowiedni przykład przedstawia rys. 190.

Narzędzie przesuwa się wzdłuż wału VAL (który pełni rolę powierzchni prowadzącej), przy czym spełniony jest warunek TLIFT. Po przejściu narzędzia nad powierzchnią wału (np. w punkcie PT2) spełniony jest już warunek TLRGT. Jeżeli chcielibyśmy dalej wykonać przesunięcie wzdłuż wału bez zmiany modyfikatora na TLRGT, system APT wyprowadziłby komunikat ostrzegawczy (zob. Cz. III - Komunikaty o błędach).

#### • Wykorzystanie definicji specjalnej narzędzia

Przy obróbce pewnych kształtów konieczne jest wykorzystanie narzędzia dyskowego lub pierścieniowego, opisanego za pomocą specjalnej definicji narzędzia (zob. pkt 11.2).





Rys. 190. Zmiana ustawienia narzędzia względem powierzchni prowadzącej

WAL - powierzchnia prowadząca

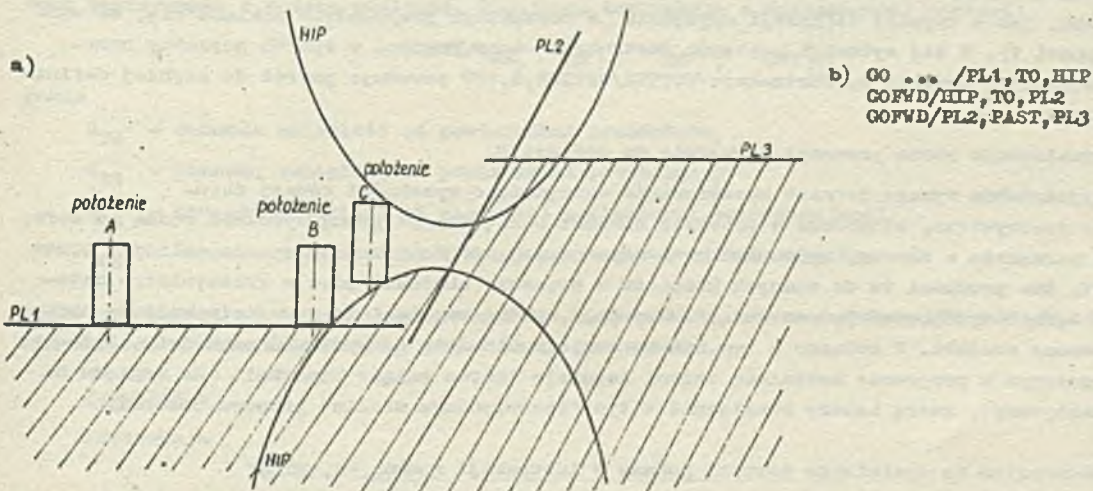
PL1 - powierzchnia przedmiotu

PL2 - powierzchnia ograniczająca

a) ilustracja graficzna - widok z góry

b) ilustracja graficzna - widok z boku

Na rys. 191 przedstawiono przykład części, której wykonania nie można opisać za pomocą zwykłej definicji narzędzia - choćby uzyskać kształt zakreskowany na rysunku. Pewien fragment części



Rys. 191. Przykład kształtu części

a) ilustracja graficzna

b) instrukcje języka APT

(instrukcja GO... /PL1, TO, HIP powoduje przesunięcie narzędzia z położenia A do B)

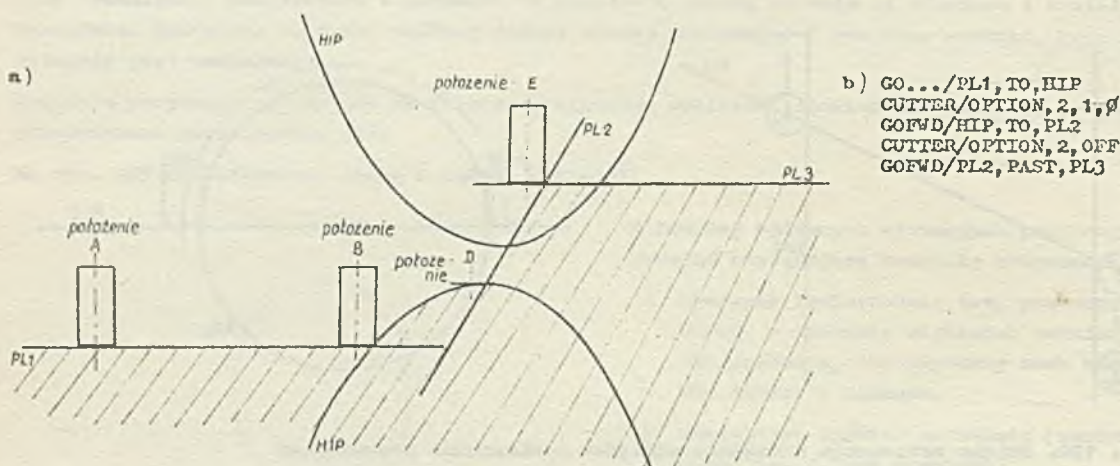
jest opisany za pomocą hiperboli HIP. Należy zwrócić uwagę, że przedstawionego na rysunku narzędzia nie można przesunąć wzdłuż hiperboli HIP do płaszczyzny PL2, a następnie wzdłuż PL2 do płaszczyzny PL3 (tak jak to opisują instrukcje na rys. 191b). Wynika to z faktu, że HIP jest hiperbolą, a w związku z tym ma drugie odgałęzienie, aż narzędzie znajdując się w pozycji C mogłoby dotykać do powierzchni prowadzącej w więcej niż w jednym punkcie, co system APT wykryje i będzie sygnalizować jako błąd.

Problem powyższy jest rozwiązany na rys. 192, przez zastosowanie narzędzia dyskowego.

Instrukcja

CUTTER/OPTION, 2, 1, Ø





Rys. 192. Przykład wykorzystania specjalnej definicji narzędzia w programie obróbki części

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

określa, że do obliczeń korzystających z powierzchni prowadzącej (HIP) powinno być wykorzystane narzędzie dyskowe. Wysokość narzędzia podana w definicji powinna być zerowa, zaś promień musi być taki sam, jak w zwykłej definicji narzędzia (w rozważanym przykładzie zakłada się, że wartość ta wynosi 1). W tej sytuacji następną instrukcją ruchu powinna w sposób poprawny przenieść narzędzie do pozycji D. Instrukcja CUTTER/OPTION, 2, OFF powoduje powrót do zwykłej definicji narzędzia.

Ostatnia instrukcja ruchu przenosi narzędzie do pozycji E.

Pewnego wyjaśnienia wymaga jeszcze zastosowanie narzędzia o wysokości równej zero. Oczywiście rzeczywiście, stosowane w procesie obróbki narzędzie ma pewną wysokość różną od zera, natomiast narzędzie o zerowej wysokości jest używane jedynie do przeprowadzania obliczeń przez system APT. Nie prowadzi to do żadnych kłopotów w procesie obróbki, gdyż w rzeczywistym materiale nie będzie występować "górną gałąź" hiperboli, którą ewentualnie narzędzie mogłoby naruszyć i podczas obróbki. W związku z tym nie ma też ograniczenia na wysokość narzędzia. Natomiast w opisanym w programie kształcie części istnieje "górną gałąź" hiperboli (ze względu na opis matematyczny), którą należy uwzględnić w tym "teoretycznym modelu" procesu obróbki.

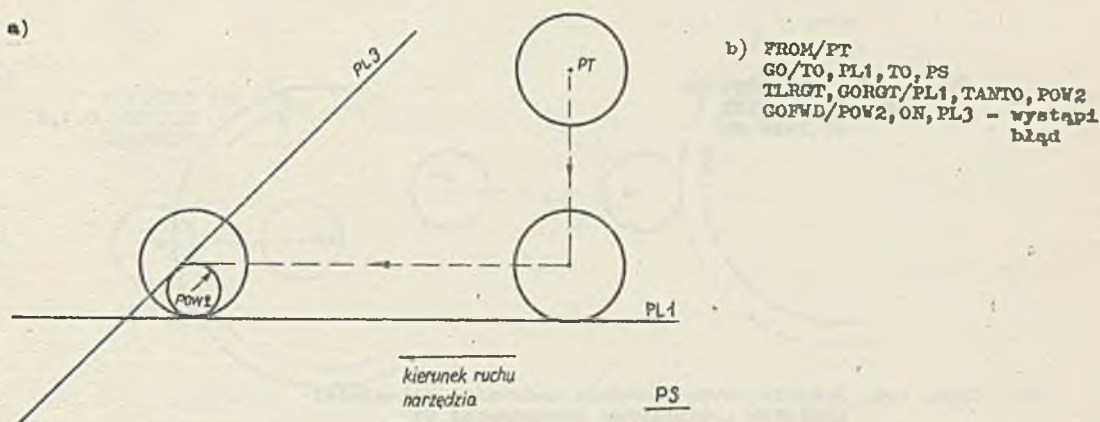
#### • Nieemożliwe do spełnienia warunki podane w instrukcji ruchu

Należy zwrócić uwagę, że jeżeli narzędzie jest odsunięte od odpowiedniej powierzchni (tzn. podano modyfikator TO lub PAST), wówczas powierzchnia przedmiotu oraz powierzchnia prowadząca nie mogą w całości zawierać się w obszarze zajmowanym przez narzędzie. Odpowiedni przykład przedstawiony jest na rys. 193.

Narzędzie przesuwa się wzdłuż płaszczyzny PL1 (która jest powierzchnią prowadzącą dla tej instrukcji ruchu) do jej punktu styczności z powierzchnią POW2. Należy zauważyć, że powierzchnia POW2 zawarta jest w obszarze zajmowanym przez narzędzie. Próba przesunięcia narzędzia wzdłuż powierzchni POW2 (traktowanej w tej instrukcji ruchu jako powierzchnia prowadząca) nie powiedzie się - będzie wykryty błąd.

Warto zauważyć, że gdyby narzędzie było umieszczone na ON powierzchni POW2, to wówczas ta powierzchnia mogłaby być wykorzystana jako powierzchnia prowadząca, powierzchnia przedmiotu lub jako powierzchnia ograniczająca.





Rys. 193. Przykład niewłaściwej sytuacji, ze względu na ustawienie narzędzia względem powierzchni prowadzącej. Powierzchnia przedmiotu PS leży w płaszczyźnie rysunku

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

#### 17. INSTRUKCJA THICK

Język APT pozwala na zdefiniowanie powierzchni równoległych do powierzchni charakterystycznych, podanych w instrukcjach ruchu oraz instrukcjach przesunu wstępnego, oddalonych od tych powierzchni o podaną wielkość. Realizuje instrukcja o następującej postaci:

$$THICK/d_{PS} \left[ d_{DS} \left[ d_{CS} \left[ d_{CS1} \right] \right] \right]$$

gdzie

- $d_{PS}$  - oznacza odległość od powierzchni przedmiotu,
- $d_{DS}$  - oznacza odległość od powierzchni prowadzącej,
- $d_{CS}$  - oznacza odległość od pierwszej powierzchni ograniczającej,
- $d_{CS1}$  - oznacza odległość od drugiej powierzchni ograniczającej.

Jeśli odległości od pewnych powierzchni nie były podane, wówczas system APT zakłada, że ostatnia określona odległość dotyczy pozostałych powierzchni.

##### Przykład 1

Instrukcja

THICK/.01,.02

jest równoważna instrukcji

THICK/.01,.02,.02,.02

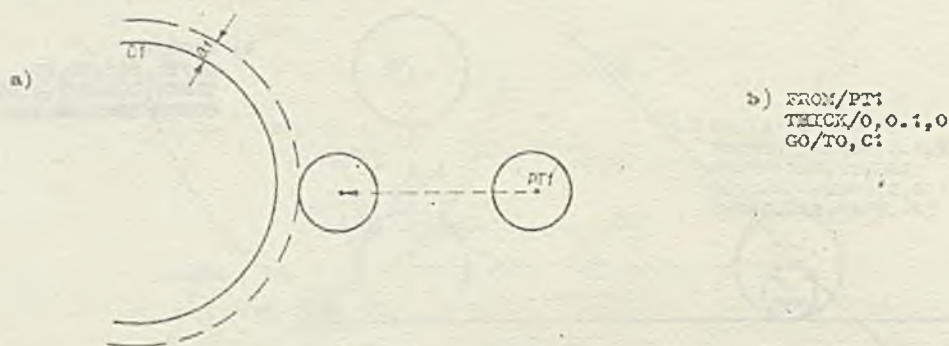
Instrukcja ta obowiązuje dla wszystkich powierzchni, dopóki nie zostanie podana nowa instrukcja THICK.

Odległość podana w instrukcji THICK ma następujące znaczenie:

- dodatnia wartość odległości "zwiększa" rozmiar materiału pozostającego po obróbce (zob. rys. 194 i rys. 195)
- ujemna wartość odległości "zmniejsza" rozmiar materiału pozostającego po obróbce (zob. rys. 196 i rys. 197).

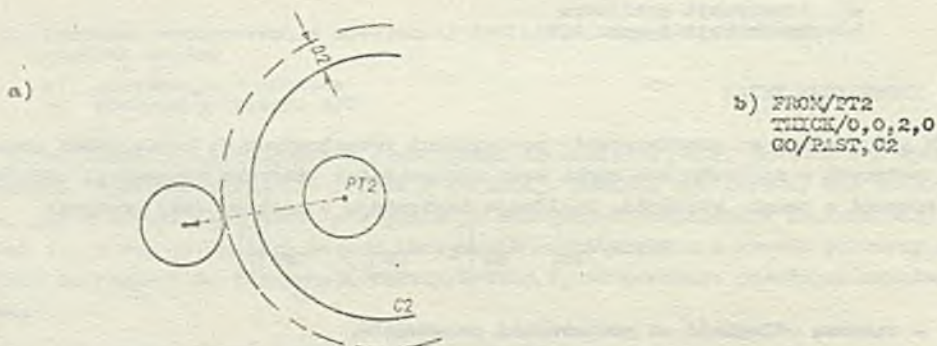
Ze względu na sposób implementacji instrukcji THICK w systemie APT, podana odległość ujemna nie może być większa - co do modułu - od promienia narzędzia.





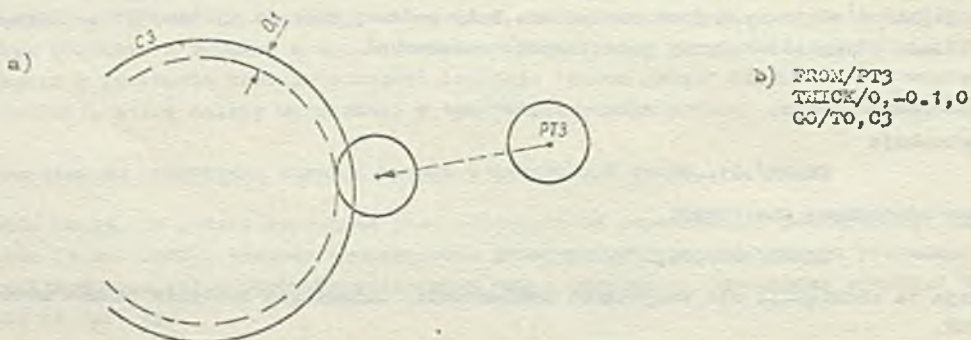
Rys. 194. Przykład wykorzystania dodatniej odległości względem powierzchni prowadzącej C1

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



Rys. 195. Przykład wykorzystania dodatniej odległości względem powierzchni prowadzącej C2

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

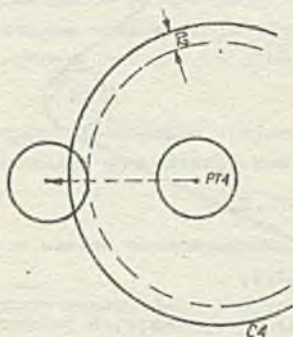


Rys. 196. Przykład wykorzystania ujemnej odległości względem powierzchni prowadzącej C3

a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT



a)



b) FROM/PT4  
THICK/0,-0.2,0  
GO/FAST,C4

Rys. 197. Przykład wykorzystania ujemnej odległości względem powierzchni prowadzącej C4

- a) ilustracja graficzna  
b) instrukcje języka APT

Tak więc, gdy mamy narzędzie o średnicy  $D$ , wówczas każda z odległości  $d$  podanych w instrukcji THICK powinna spełniać warunek:

$$d \geq -\frac{D}{2}$$

Należy podkreślić, że instrukcja THICK jest ignorowana w stosunku do takiej powierzchni, gdzie narzędzie jest ustawione na tej powierzchni (czyli spełniony jest warunek ON). Dzieje się tak dlatego, że system nie jest w stanie określić znaczenia odległości dodatniej i ujemnej, gdy punkt końcowy narzędzia znajduje się na powierzchni.

#### \* 18. INSTRUKCJA POCKET

Instrukcja POCKET pozwala na usunięcie materiału z wnętrza graniastosłupa o podstawie wielokąta utworzonego przez oo najwyżej 20 boków, czyli na wykonanie tzw. wybrania ulżeniowego. Umieszczenie tej instrukcji w zestawie instrukcji języka APT wynikało z tego, że język ten został stworzony głównie dla potrzeb opisu konstrukcji lotniczych, w których wykonywanie wybrań ulżeniowych jest potrzebne.

Instrukcja POCKET ma następującą postać:

POCKET/re,w1,w2,f1,f2,f3,o,rp{ $\frac{PT1}{x1,y1,z1}$ } { $\frac{PT2}{x2,y2,z2}$ }...{ $\frac{PTn}{xn,yn,zn}$ }

gdzie

- re - jest efektywnym promieniem narzędzia (podawanym przez programistę), wykorzystywanym przez system APT do sprawdzenia, czy narzędzie nie pozostawia nieszeskrawanego materiału wewnątrz wybrania (zob. pkt 18.2),
- w1 - jest współczynnikiem używanym do określania odległości między kolejnymi przejściami narzędzia wokół wybrania z wyjątkiem przejścia wykańczającego (zob. pkt 18.2),
- w2 - jest współczynnikiem używanym do określenia odległości między ostatnim przejściem narzędzia wokół wybrania (tzw. przejściem wykańczającym) a poprzednim przejściem narzędzia wokół wybrania (zob. pkt 18.2),
- f1 - jest szybkością posuwu przy zagłębianiu się narzędzia w wybranie ulżeniowe,
- f2 - jest szybkością posuwu narzędzia przy wykonywaniu wybrania ulżeniowego, wyłączając przejście wykańczające i zagłębianie się narzędzia w wybranie,
- f3 - jest szybkością posuwu narzędzia przy tzw. przejściu wykańczającym (czyli ostatnim przejściu narzędzia wokół wybrania),



o - jest wskaźnikiem określającym sposób obliczania odległości pomiędzy kolejnymi przejściami narzędzia, ma następujące znaczenie:

gdy  $o = 0$  - system APT sprawdza, czy określona przez programistę odległość między kolejnymi przejściami jest wystarczająca do usunięcia całego materiału z wybrania; jeżeli warunek ten nie jest spełniony, system sam określa odległość między kolejnymi przejściami narzędzia;

$o = 1$  - system APT przyjmuje podaną przez programistę odległość między kolejnymi przejściami narzędzia za obowiązującą (bez dodatkowego sprawdzania).

Znaczenie tego wskaźnika będzie omówione w punkcie 18.2.

rp - jest wskaźnikiem określającym, w jaki sposób będą interpretowane podane w dalszej części instrukcji punkty. Może on przyjmować wartości 0, 1, 2, 3.

Znaczenie tego wskaźnika będzie omówione w dalszej części niniejszego punktu.

PT<sub>i</sub> - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu ( $3 \leq i \leq 20$ )

x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>, z<sub>i</sub> - są odpowiednimi współrzędnymi i-tego punktu ( $3 \leq i \leq 20$ )

Znaczenie podanych wyżej parametrów instrukcji POCKET będzie dokładniej omówione w dalszej części niniejszego punktu.

Instrukcja POCKET pozwala na wykonanie wybrania o kształcie graniastosłupa, którego podstawą jest wielokąt składający się co najwyżej z 20 boków. Wielokąt ten opisuje podane w instrukcji POCKET punkty. Oczywiście nie jest możliwe dokładne usunięcie materiału w "rogach" tego wielokąta (zob. rys. 199) - co wynika z faktu, że narzędzie ma kształt walca o pewnym promieniu. W rzeczywistości "rogi" tego wybrania będą zaokrąglone, zaś promień zaokrąglenia będzie równy promieniowi narzędzia zastosowanego do wykonywania wybrania ulzeniowego.

W instrukcji POCKET można podać co najwyżej 20 punktów opisujących kształt wybrania, przy czym żadne trzy kolejne punkty nie mogą być współliniowe. Sposób, w jaki będzie interpretował system APT podane punkty, określa wskaźnik rp.

Gdy  $rp = 0$ , wówczas podane w instrukcji POCKET punkty określają kolejne położenia punktu końcowego narzędzia przy wykonywaniu ostatniego przejścia wokół wybrania ulzeniowego.

Odpowiedni przykład jest przedstawiony na rys. 198. Kształt wybrania określają punkty PT<sub>1</sub>, PT<sub>2</sub>, PT<sub>3</sub>, PT<sub>4</sub> (podane w instrukcji POCKET). Do wykonywania wybrania zostało zastosowane narzędzie o promieniu R. Na rysunku zaznaczono fragment drogi narzędzia podczas wykonywania wybrania; fragment ten decyduje o ostatecznym kształcie tego wybrania oraz uzyskanym kształcie (kontur zewnętrzny) wybrania. Rysunek wykonano w płaszczyźnie dna wybrania.

Gdy  $rp = 1$ , wówczas punkty podane w instrukcji POCKET są wierzchołkami wielokąta, będącego dolną podstawą graniastosłupa opisującego kształt wybrania ulzeniowego (zob. rys. 199).

Gdy rp przyjmuje wartość 0 lub 1, podane w instrukcji punkty muszą leżeć w jednej płaszczyźnie (płaszczyzna ta może być nachylona pod pewnym kątem do płaszczyzny OXY).

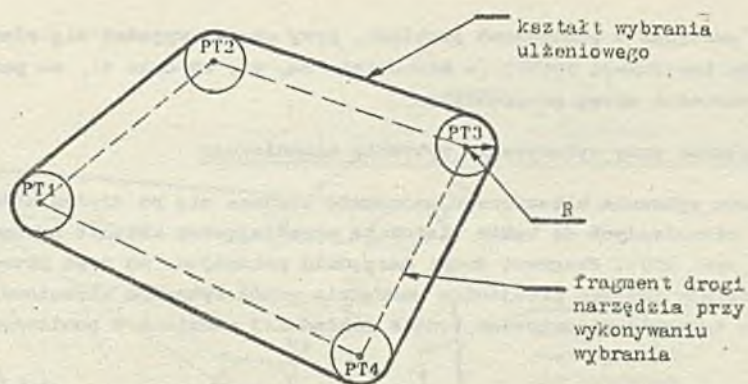
Gdy  $rp = 2$ , wówczas punkty podane w instrukcji POCKET zostają zrzucone (wzdłuż osi narzędzia) na aktualnie obowiązującą powierzchnię przedmiotu. Musi ona być płaszczyzną, a ponadto kąt między osią narzędzia a płaszczyzną powierzchni przedmiotu nie może być mniejszy niż  $20^\circ$ . W tym wypadku podane w instrukcji punkty nie muszą leżeć w jednej płaszczyźnie.

Na rys. 200 zilustrowano sposób uzyskiwania tych punktów. Otrzymane w ten sposób punkty określają kolejne położenia punktów końcowego narzędzia przy wykonywaniu ostatniego przejścia wokół wybrania ulzeniowego (podobnie, jak w wypadku, gdy rp przyjmuje wartość 0).

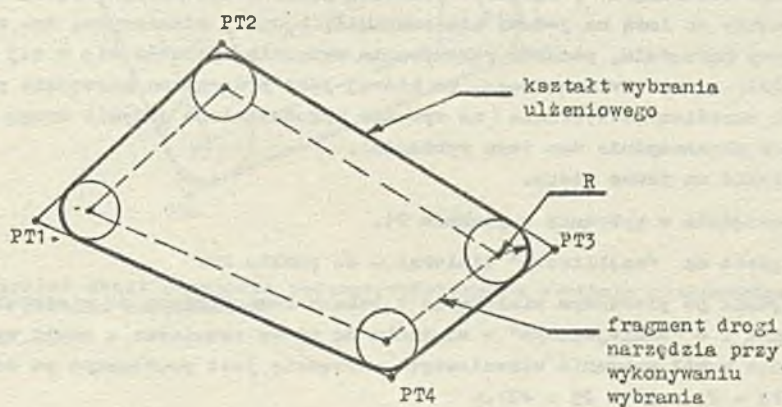
Gdy  $rp = 3$ , wówczas punkty podane w instrukcji POCKET zostają zrzucone na aktualnie obowiązującą powierzchnię przedmiotu (zgodnie z zasadami podanymi w sytuacji gdy  $rp = 2$ ). Otrzymane w ten sposób punkty są wierzchołkami wielokąta, będącego dolną podstawą graniastosłupa określającego kształt wybrania ulzeniowego (podobnie jak w sytuacji gdy  $rp = 1$ ).

Dodatkowego wyjaśnienia wymaga, w jaki sposób system APT określa drogę narzędzia, zapewniającą usunięcie materiału z wnętrza graniastosłupa, określającego kształt wybrania ulzeniowego.

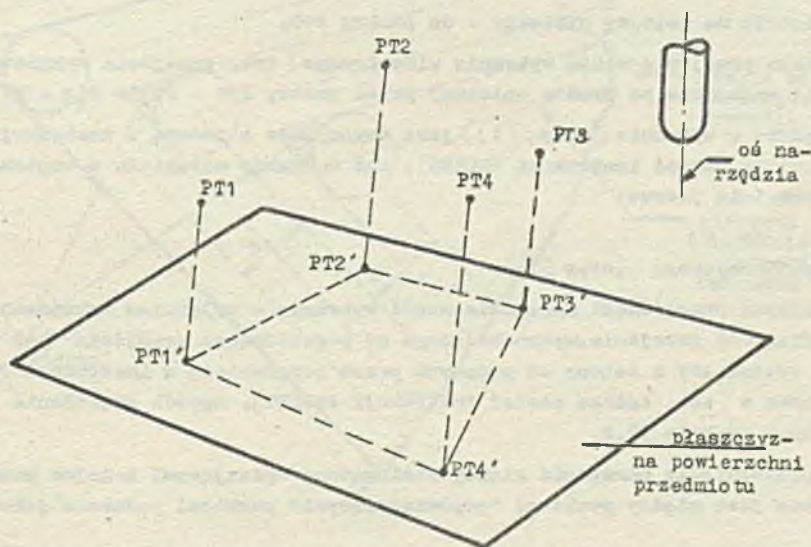




Rys. 198. Przykład otrzymanego kształtu wybrania, gdy w instrukcji POCKET podano wskaźnik rodzaju punktów  $rp = \phi$  (R - promień narzędzia)



Rys. 199. Przykład otrzymanego kształtu wybrania, gdy w instrukcji POCKET podano wskaźnik rodzaju punktów  $rp = 1$ . Rysunek wykonano w płaszczyźnie dna wybrania (R - promień narzędzia)



Rys. 200. Przykład otrzymywania punktów opisujących kształt wybrania, gdy w instrukcji POCKET podano wskaźnik rodzaju punktów  $rp = 2$  lub  $3$   
 PT1, PT2, PT3, PT4 - punkty podane w instrukcji POCKET  
 PT1', PT2', PT3', PT4' - punkty uzyskane w wyniku rzutowania punktów PT1, PT2, PT3, PT4 w kierunku osi narzędzia na płaszczyznę powierzchni przedmiotu



Będzie to dokładniej omówione w poniższych punktach. Przy okazji wyjaśni się również znaczenia pozostałych parametrów instrukcji POCKET (a mianowicie  $re$ ,  $w1$ ,  $w2$  oraz  $\alpha$ ), co pozwoli na właściwe określanie ich wartości przez programistę.

#### 18.1. Droga narzędzia przy wykonywaniu wybrania ulżeniowego

Podczas wykonywania wybrania ulżeniowego narzędzie porusza się po drodze składającej się z wielokątów, o bokach równoległych do boków wielokąta określającego kształt wybrania i odpowiednio "zmniejszonych" (rys. 201). Fragment drogi narzędzia polegający na jego przesunięciu wzdłuż takiego wielokąta będziemy nazywać przejściem narzędzia wokół wybrania ulżeniowego. Droga narzędzia przy wykonywaniu wybrania ulżeniowego będzie dokładniej omówiona w poniższym przykładzie.

##### Przykład 1

Kształt wybrania został zdefiniowany przez podanie punktów PT1, PT2, PT3, PT4 w instrukcji POCKET. Określono też wskaźnik rodzaju punktów  $rp = 1$ , a więc podane punkty są wierzchołkami wielokąta (w tym wypadku czworokąta), będącego podstawą graniastosłupa opisującego kształt wybrania ulżeniowego. Punkty te leżą na jednej płaszczyźnie, będącej płaszczyzną dna wybrania ulżeniowego. Punkt końcowy narzędzia, podczas wykonywania wybrania, porusza się w tej właśnie płaszczyźnie. Na rys. 201 przedstawiono drogę, po której jest przesuwane narzędzie podczas wykonywania w ten sposób określonego wybrania (na rysunku przedstawiono jedynie drogę narzędzia oraz kształt wybrania w płaszczyźnie dna tego wybrania). Drogę taką można podzielić na pewne etapy.

- (1) Zagłębianie się narzędzia w wybranie w punkcie P1.
- (2) Przesunięcie narzędzia na "najbliższy" wielokąt - do punktu P2.
- (3) Przesunięcie narzędzia po pierwszym wielokącie o bokach równoległych do wielokąta definiującego brzegi wybrania i o "zmniejszonym" w stosunku do niego rozmiarze - czyli wykonanie pierwszego przejścia wokół wybrania ulżeniowego (narzędzie jest przesuwane po drodze opisanej przez punkty  $P2 - P3 - P4 - P5 - P2$ ).
- (4) Przesunięcie narzędzia na kolejny wielokąt - do punktu P6.
- (5) Wykonanie drugiego przejścia wzdłuż wybrania ulżeniowego - czyli przesunięcie po drodze opisanej przez punkty  $P6 - P7 - P8 - P9 - P6$ .
- (6) Przesunięcie narzędzia na kolejny wielokąt - do punktu P10.
- (7) Wykonanie ostatniego przejścia wokół wybrania ulżeniowego (tzw. przejścia wykańczającego) - czyli przesunięcie narzędzia po drodze opisanej przez punkty  $P10 - P11 - P12 - P13 - P10$ .

Zagłębianie się narzędzia w wybranie (etap (1)) jest wykonywane z podaną w instrukcji szybkością posuwu  $f1$  (zob. ogólna postać instrukcji POCKET), zaś usuwanie materiału z wnętrza wybrania wykonywane jest z szybkością posuwu:

- $f2$  dla etapów od (2) do (6)
- $f3$  dla przejścia wykańczającego (etap (7)).

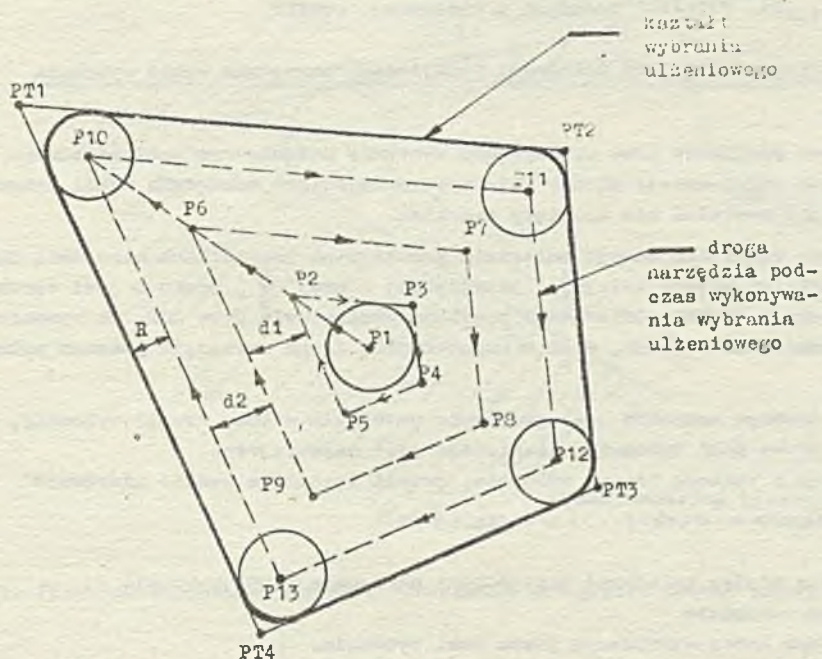
Odległość między kolejnymi przejściami narzędzia wokół wybrania z wyjątkiem wykańczającego ( $d1$  na rys. 201) oraz odległość przejścia wykańczającego od poprzedniego przejścia ( $d2$  na rys. 201) jest obliczana przez system APT i zależy od podanych przez programistę w instrukcji POCKET parametrów  $re$ ,  $w1$ ,  $w2$  oraz  $\alpha$  (zob. ogólna postać instrukcji POCKET). Sposób określania tych odległości będzie omówiony w punkcie 18.2.

Należy zauważyć, że przesunięcie narzędzia między wielokątami opisującymi kolejne przejścia wokół wybrania wykonywane jest między punktami "odpowiadającymi" punktowi podanemu jako pierwszy w instrukcji POCKET.

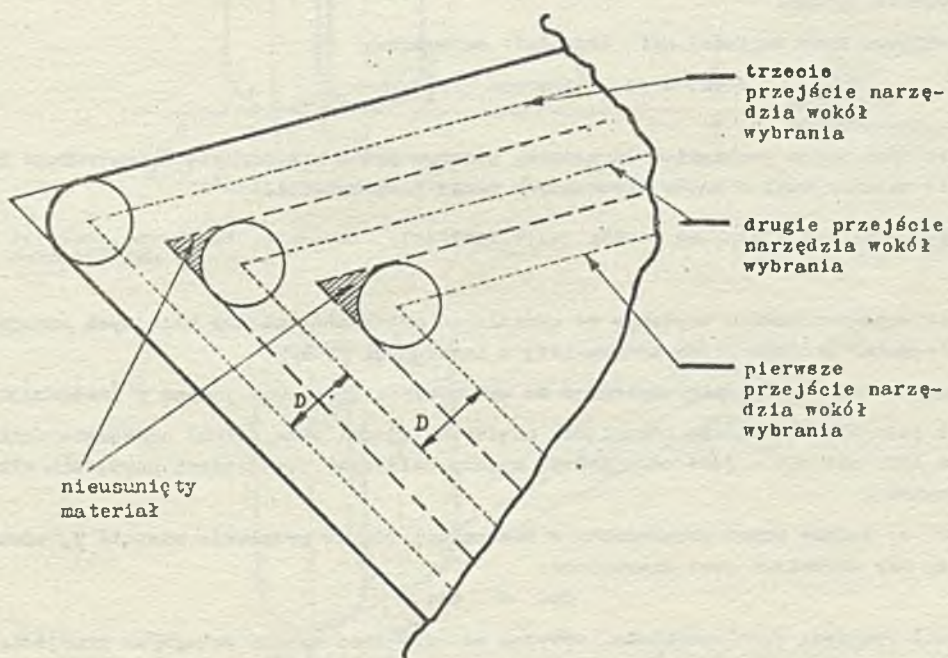
Na rys. 201 punktem PT1 "odpowiadają" punkty P2, P6, P10 i w związku z tym przesunięcia między kolejnymi przejściami narzędzia odbywają się po drodze  $P2 - P6$  oraz  $P6 - P10$ .

Również punkty wielokątów opisujących kolejne przejścia wokół wybrania ulżeniowego obiegane są w kolejności odpowiadającej kolejności punktów podanych w instrukcji POCKET np. przesunięcie





rys. 201. Przykład drogi narzędzia podczas wykonywania wybrania ulzeniowego  
R - promień narzędzia



Rys. 202. Przykład pozostawiania materiału podczas wykonywania wybrania ulżeniowego  
D - średnica narzędzia



P2 - P3 - P4 - P5 - P2 opisuje pierwsze przejście wokół wybrania na rys. 201, co odpowiada kolejności punktów PT1, PT2, PT3, PT4 podanych w instrukcji POCKET.

#### 18.2. Obliczanie odległości między kolejnymi przejściami narzędzia wokół wybrania ulzeniowego

Jednym z najważniejszych problemów przy wykonywaniu wybrania ulzeniowego jest ustalenie takiej odległości (możliwie jak największej) między kolejnymi przejściami narzędzia wokół wybrania, aby wewnątrz wybrania nie pozostał nie usunięty materiał.

Jak łatwo stwierdzić, do usunięcia całego materiału w kolejnych przejściach narzędzia nie wystarczy ustalenie odległości między kolejnymi przejściami równej  $\frac{D}{2}$ , gdzie D jest średnicą narzędzia podaną w instrukcji CUTTER. Odpowiedni przykład przedstawia rys. 202. Na rysunku tym pokazano fragment wybrania ulzeniowego, wraz z zaznaczeniem drogi narzędzia podczas wykonywania tego wybrania.

Mozna zauważyć, że krytycznym momentem jest usunięcie materiału z tzw. "rogu" wybrania, dla którego kąt utworzony przez boki wybrania ulzeniowego jest najmniejszy.

Materiał będzie usunięty z takiego "rogu" wybrania, jeżeli spełniona będzie nierówność

$$d \leq r \cdot (1 + \sin(\Phi/2))$$

gdzie

d - jest odległością między kolejnymi przejściami narzędzia wokół wybrania

r - jest promieniem narzędzia

$\Phi$  - jest najmniejszym kątem utworzonym przez boki wybrania.

Odpowiedni przykład przedstawia rys. 203.

Po przeprowadzeniu powyższych rozważań łatwiej będzie zrozumieć, w jaki sposób system APT ustala odległość między kolejnymi przejściami narzędzia.

Zajmijmy się teraz obliczaniem odległości między kolejnymi przejściami narzędzia, z pominięciem przejścia wykańczającego.

System APT oblicza dwie wartości ds1 oraz dp1 ze wzorów:

$$ds1 = re \cdot (1 + \sin(\frac{\Phi}{2}))$$

gdzie

re - jest efektywnym promieniem narzędzia, podanym przez programistę w instrukcji POCKET;

$\Phi$  - jest najmniejszym z kątów utworzonych przez boki wybrania

oraz

$$dp1 = w1 \cdot \frac{D}{2}$$

gdzie

w1 - jest współczynnikiem używanym do określania odległości między kolejnymi przejściami narzędzia, podanym przez programistę w instrukcji POCKET,

D - jest średnicą narzędzia używanego do wykonywania wybrania, podaną w instrukcji CUTTER

Wielkość ds1 jest więc wartością odsunięcia między kolejnymi przejściami narzędzia obliczoną przez system APT, zaś dp1 - jest odległością między kolejnymi przejściami narzędzia określoną przez programistę.

Gdy parametr o, podany przez programistę w instrukcji POCKET przyjmuje wartość 0, wówczas system sprawdza, czy spełniona jest nierówność:

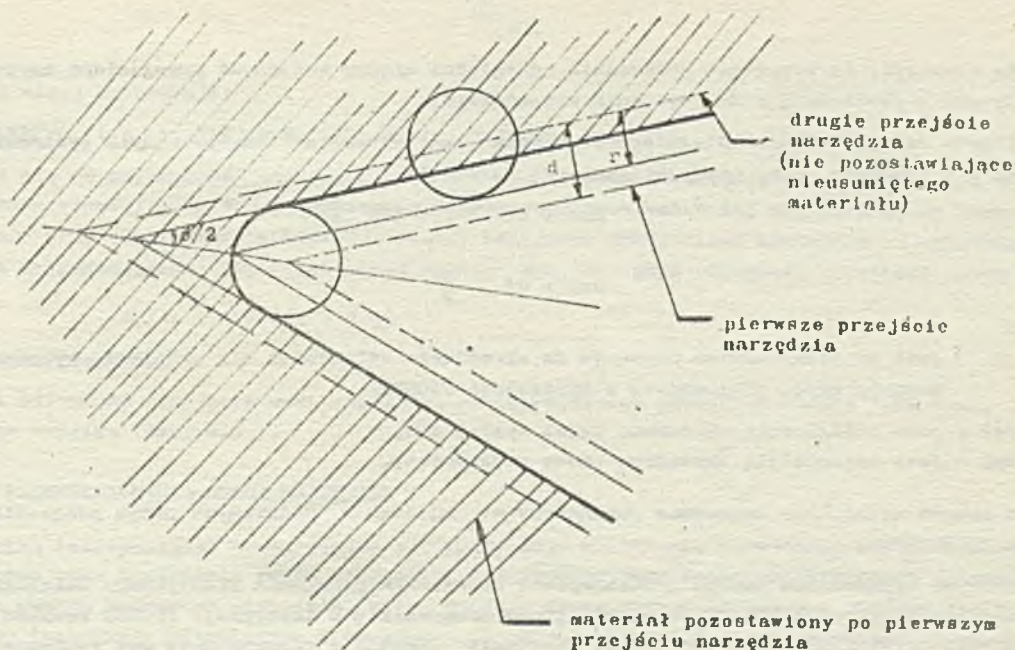
$$dp1 \leq ds1$$

Gdy nierówność powyższa jest spełniona, wówczas za odległość między kolejnymi przejściami narzędzia przyjmowana jest wartość określona przez programistę (tzn. dp1).

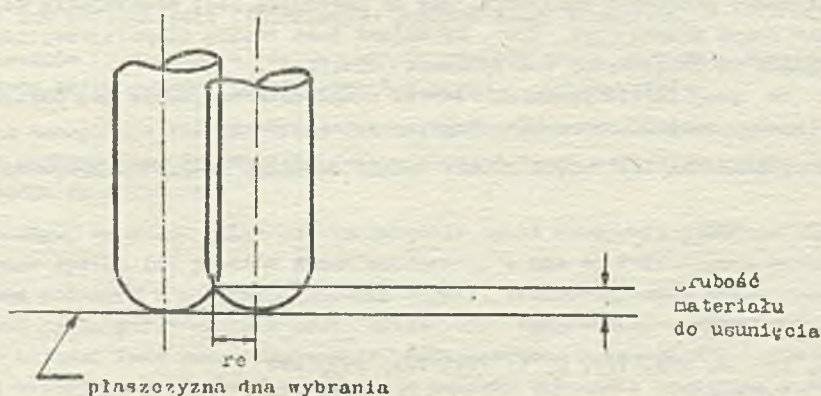
Jeśli nierówność nie jest spełniona, wówczas za tę odległość przyjmowana jest wartość określona przez system APT (tzn. ds1).

Gdy parametr o w instrukcji POCKET ma wartość 1, wówczas za odległość między kolejnymi przejściami narzędzia przyjmowana jest wartość określona przez programistę (tzn. dp1), bez dodatkowego sprawdzania.

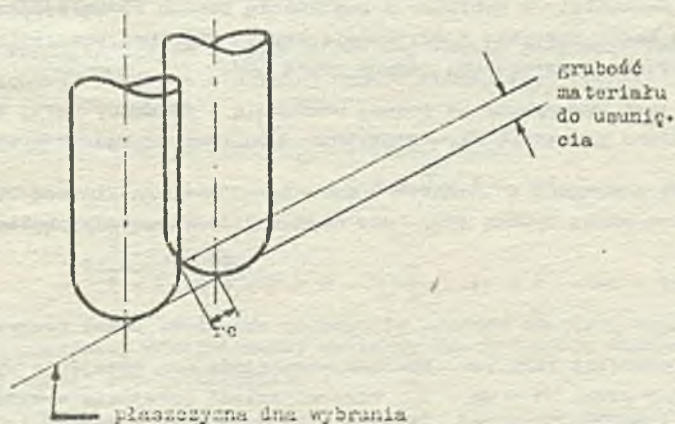




Rys.203. Przykład ilustrujący sposób określania odległości między kolejnymi przejściami narzędzia



Rys.204. Przykład określania promienia efektywnego  $r_e$ , gdy oś narzędzia jest prostopadła do płaszczyzny dna wybrania



Rys.205. Przykład określania promienia efektywnego  $r_e$ , gdy oś narzędzia nie jest prostopadła do płaszczyzny dna wybrania



Należy zauważyć, że wszystkie obliczenia odległości między kolejnymi przejściami narzędzia są wykonywane w płaszczyźnie dna wybrania ulzeniowego.

Określenie odległości dla ostatniego przejścia wokół wybrania (tzn. przejścia wykonującego) odbywa się podobnie, przy czym obliczane są wartości

$$ds2 = re \cdot \left(1 + \sin \frac{\phi}{2}\right)$$

oraz

$$dp2 = w2 \cdot \frac{D}{2}$$

gdzie

$w2$  - jest współczynnikiem używanym do określania odległości dla przejścia wykonującego, podanym przez programistę w instrukcji POCKET,

$ds2$  - jest odległością obliczoną przez system APT,

$dp2$  - jest odległością określoną przez programistę.

W ten sposób wyjaśniono znaczenie parametrów  $w1$ ,  $w2$  oraz  $\phi$ , podawanych przez programistę w instrukcji POCKET.

Dodatkowego wyjaśnienia wymaga jednak sposób określania promienia efektywnego narzędzia  $re$ . Wartość promienia efektywnego poddawana przez programistę w instrukcji POCKET powinna być określona jako najwięcsza odległość od osi narzędzia (liczona w płaszczyźnie dna wybrania), z której narzędzie może usunąć materiał przez obrót wokół swojej osi. Podana wartość  $re$  powinna uwzględnić kształt używanego narzędzia.

Określenie efektywnego promienia narzędzia, gdy oś narzędzia jest prostopadła do płaszczyzny dna wybrania jest dosyć proste (rys. 204), natomiast jest trochę trudniejsze, gdy oś narzędzia nie jest prostopadła do płaszczyzny dna wybrania (rys. 205).

Podając wartość  $re$  programista powinien również uwzględnić zużywanie się narzędzia, a więc odpowiednio zmniejszyć wartość promienia efektywnego narzędzia.

W celu lepszego zrozumienia instrukcji POCKET będzie omówiony konkretny przykład jej zastosowania.

#### Przykład 2

##### Instrukcja

POCKET/6, 1, 1, 150, 200, 100, 0, 1, PT1, PT2, PT3, PT4

opisuje wykonanie wybrania ulzeniowego, którego kształt (w płaszczyźnie dna wybrania) opisują punkty PT1, PT2, PT3, PT4, a więc będzie on miał postać czworokąta. Droga narzędzia przy wykonywaniu tego wybrania będzie wyglądać tak, jak na rys. 201.

Narzędzie będzie się zagłębiało w wybranie z szybkością posuwu równą 150, a następnie będzie się przesuwało wzdłuż boków wybrania z szybkością posuwu 200, zaś przejście wykonujące wokół wybrania będzie wykonywane z szybkością posuwu równą 100.

Załóżmy, że wybranie jest wykonywane za pomocą narzędzia o średnicy  $D=13$ . Wówczas odległość między kolejnymi przejściami narzędzia określona przez programistę będzie wynosiła

$$dp1 = 1 \cdot \frac{D}{2} = 6.5$$

zaś odległość obliczona przez system APT, (gdy najmniejszy kąt między bokami wybrania  $\phi = 60^\circ$ ) będzie wynosiła

$$ds1 = re \cdot \left(1 + \sin \left(\frac{\phi}{2}\right)\right) = 6 \cdot (1 + 0.5) = 9$$

W związku z tym zostanie przyjęta wartość odległości określona przez programistę czyli 6.5.

Ponieważ programista określił taki sam wskaźnik odsunięcia dla przejścia wykonującego jak i dla poprzednich przejść (tzn.  $w1 = w2 = 1$ ), więc odległość przejścia wykonującego od poprzedniego przejścia będzie również wynosić 6.5.



W podanej niżej instrukcji:

POCKET/6, 1.5, 1, 150, 200, 100, 0, 1, PT1, PT2, PT3, PT4

różniące się od poprzedniej instrukcji jedynie wskaźnikiem odsunięcia  $w1 = 1.5$  (a nie jak w poprzednim wypadku  $w1 = 1$ ), na podstawie przeprowadzonych wcześniej obliczeń można stwierdzić, że zostanie przyjęta wartość odległości między kolejnymi przejściami narzędzia (z wyjątkiem przejścia wykańczającego) określona przez system (tzn. 9), gdyż odległość określona przez programistę

$$dp1 = 1.5 \cdot 6.5 = 9.75$$

jest od niej większa.

Natomiast odległość przejścia wykańczającego od poprzedniego przejścia będzie taka sama, jak w poprzednim wypadku (tzn. 6.5).

#### 19. PRZEKSZTAŁCANIE DROGI NARZĘDZIA

W wyniku interpretacji przez system APT instrukcji ustawienia narzędzia, instrukcji przesuwu wstępnego oraz instrukcji ruchu narzędzia, otrzymywany jest zbiór współrzędnych opisujących położenie punktu końcowego narzędzia, który opisuje drogę narzędzia podczas obróbki części. Oczywiście instrukcje ustawiające i przesuwające narzędzie korzystają z wcześniej podanych definicji geometrycznych.

Język APT umożliwia przekształcenie drogi narzędzia w następujący sposób:

- przez obrót lub przesunięcie (translację) punktów drogi narzędzia,
- przez skopiowanie (powtórzenie) danego zbioru punktów drogi narzędzia określoną liczbę razy - co odpowiada kilkukrotnemu powtórzeniu tej samej drogi narzędzia,
- przez zmianę nachylenia osi narzędzia dla kolejnych punktów drogi narzędzia, co odpowiada skrawaniu z pochyleniem. Ten sposób przekształcania drogi narzędzia będzie omówiony w części III niniejszego opracowania.

Należy zauważyć, że każde takie przekształcenie drogi narzędzia powoduje odwołanie się do obliczonych przez system APT punktów drogi narzędzia, a nie do definicji geometrycznych lub instrukcji ruchu podanych w programie obróbki części. Przekształcanie takie wykonywane jest dopiero w końcowej fazie przetwarzania przez system APT, bezpośrednio poprzedzający fazę pracy postprocesora (kolejne fazy pracy systemu APT będą omówione w części III niniejszego opracowania). Tak więc wszystkie definicje geometryczne zostały uprzednio powiązane z instrukcjami ruchu, w wyniku dając kolejne punkty drogi narzędzia. Dopiero te punkty podlegają przekształceniu.

Należy podkreślić, że jeżeli w czasie obliczania drogi narzędzia będzie wykryty błąd przez system APT, to instrukcje przekształcania drogi narzędzia nie zostaną wykonane - co zasygnalizują odpowiednie komunikaty.

Przekształcanie drogi narzędzia w opisany powyżej sposób realizują instrukcje TRACUT oraz COPY. Będą one szczegółowo omówione w dalszej części niniejszego punktu.

##### 19.1. Instrukcja przekształcania drogi narzędzia - TRACUT

Instrukcja TRACUT pozwala na przekształcenie określonej w programie obróbki części drogi narzędzia. Ma ona następującą postać:

$$\text{TRACUT/} \left\{ \begin{array}{l} \text{MA} \\ \text{NOMORE} \end{array} \right\}$$

gdzie

MA - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej macierzy lub definicją zagnieżdżoną macierzy opisującej rodzaj przekształcenia,

NOMORE - jest modyfikatorem określającym, że należy zakończyć przekształcanie drogi narzędzia.

Instrukcja wykorzystuje macierze zdefiniowane w sposób opisany w punkcie 6.2. niniejszego opracowania. Sposób definiowania macierzy narzuca ograniczenie na rodzaj przekształceń, które



mogą być wykonane za pomocą instrukcji TRACUT.

Poniższy przykład ilustruje wykorzystanie instrukcji TRACUT.

#### Przykład 1

W poniższym fragmencie programu obróbki części:

```

:
TRACUT / MA1
:
(instrukcje ruchu narzędzia - grupa 1)
:
TRACUT / (MATRIX /TRANSL, 1, 2, 5)
:
(instrukcje ruchu narzędzia - grupa 2)
:
TRACUT / (MATRIX /XYROT,90)
:
(instrukcje ruchu narzędzia - grupa 3)
:
TRACUT / NOMORE
:
(instrukcje ruchu narzędzia - grupa 4)
:
```

punkty drogi narzędzia opisane przez pierwszą grupę instrukcji ruchu zostaną przekształcone w sposób opisany przez macierz MA1 (zdefiniowaną wcześniej w dowolnym miejscu programu obróbki części). Z kolei punkty drogi narzędzia opisane przez drugą grupę instrukcji ruchu będą przesunięte o wektor (1, 2, 5), zaś punkty opisane przez trzecią grupę instrukcji ruchu będą obrócone o kąt  $90^{\circ}$ . Punkty opisane przez czwartą grupę instrukcji ruchu pozostaną niezmienione.

Podsumowując, należy stwierdzić, że każda instrukcja TRACUT/MA "przesłania" poprzednie instrukcje tego typu, tzn. w momencie pojawienia się nowej instrukcji TRACUT poprzedni sposób przekształcania drogi narzędzia przestaje obowiązywać. Z kolei instrukcja TRACUT/NOMORE kończy przekształcenie. Jeżeli chcemy poddać przekształceniu drogę narzędzia opisaną przez cały program obróbki części, wówczas końcowa instrukcja TRACUT/NOMORE nie jest potrzebna.

Warto jest też porównać efekt zastosowania instrukcji TRACUT ze stosowaniem instrukcji REFSYS (zob. pkt 6.1), służącej do przekształcenia definicji elementów geometrycznych podanych w wygodnym, lokalnym układzie współrzędnych do bazowego układu współrzędnych. Otóż instrukcja REFSYS dotyczy jedynie definicji geometrycznych (wszystkich lub tylko niektórych) podanych w programie obróbki części, natomiast bezpośrednio nie dotyczy instrukcji opisujących przesunięcie narzędzia. Jej wpływ na tego typu instrukcje jest jedynie pośredni i polega na ewentualnych przekształceniach definicji geometrycznych, z których później korzystają instrukcje opisujące ruch narzędzia. Natomiast instrukcja TRACUT powoduje przekształcenie punktów składających się na drogę narzędzia, utworzoną przez system APT na podstawie informacji zawartych w instrukcjach powodujących przesunięcie narzędzia. Instrukcje te podane są w programie obróbki części. Z powyższych rozważań wynika, że można uzyskać taki sam efekt (w postaci przekształcenia drogi narzędzia) stosując:

- instrukcję REFSYS do przekształcenia definicji geometrycznych opisujących kształt części lub
- instrukcję TRACUT do przekształcenia drogi narzędzia, określonej za pomocą instrukcji opisujących przesunięcie narzędzia.



Oczywiście instrukcje REFSYS i TRACUT musiałyby korzystać z takiej samej macierzy przekształceń. W praktyce jednak nie zaleca się stosowania instrukcji REFSYS do przekształcania dużej liczby definicji geometrycznych - powinno się ją stosować jedynie do przekształcania niewielkiej liczby definicji. Wynika to, m.in. z faktu, że nie wszystkie definicje geometryczne (zob. pkt 6.1) mogą być w taki sposób przekształcane, jak również wykonywanie tego przekształcenia przez system APT jest dosyć skomplikowane.

Do przekształcania drogi narzędzia opisanej przez duży fragment programu obróbki części lub nawet cały program obróbki części zaleca się stosowanie instrukcji TRACUT, która jest wygodna w stosowaniu, a ponadto nie nakłada żadnych ograniczeń na charakter drogi narzędzia, która może być przekształcana.

## 19.2. Instrukcja kopiowania drogi narzędzia - COPY

Droga narzędzia, opisana przez pewien fragment programu obróbki części, może zostać skopiowana (czyli powtórzona) dowolną liczbą razy w innym miejscu programu obróbki części. Zbiór punktów końcowych narzędzia, opisujących drogę narzędzia, może zostać przepisany w to miejsce programu obróbki części w niezminionej postaci bądź też może być przekształcony (w sposób określony w instrukcji) w trakcie kopiowania.

Powyżej opisano funkcje realizuje para instrukcji INDEX oraz COPY. Będą one dalej szczegółowo omówione.

### • Instrukcja INDEX

Instrukcja ta ma następującą postać:

$$\text{INDEX/} \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1, \text{NOMORE} \end{array} \right\}$$

gdzie

1 - jest liczbą całkowitą dodatnią.

Instrukcja ta służy do ustalenia miejsca w programie obróbki części, gdzie kopiowanie ma się rozpocząć (wskazuje to instrukcja INDEX/1) oraz gdzie ma się ono zakończyć (wskazuje to instrukcja INDEX/1, NOMORE).

Liczba 1 wiąże odpowiednią parę instrukcji INDEX z instrukcją COPY, która powoduje kopiowanie w miejscu swojego wystąpienia drogi narzędzia opisanej we fragmencie obróbki części zawartego między parą instrukcji INDEX. Tak więc instrukcja ta ma znaczenie jedynie dla odpowiedniej instrukcji kopiowania, dlatego też jej działanie będzie dokładniej omówione przy opisie instrukcji COPY.

### • Instrukcja COPY

Jak już wcześniej wspomniano, instrukcja COPY używana jest do wskazania miejsca w programie obróbki części, w którym należy wykonać operację kopiowania. Zawiera ona również informację, czy podczas procesu kopiowania należy wykonać jakieś przekształcenie. Instrukcja ta ma następującą postać:

$$\text{COPY/1,} \left\{ \begin{array}{l} \text{SAME} \\ \text{TRANSL, } x, y, z \\ \text{XYROT, } \alpha \\ \text{MODIFY, } \underline{MA} \end{array} \right\}, n$$

gdzie

1 - jest liczbą całkowitą dodatnią, wiążącą daną instrukcję COPY z parą instrukcji INDEX/1 oraz INDEX/1, NOMORE,

SAME - jest modyfikatorem wskazującym, że kopiowana droga narzędzia nie będzie przekształcana,

TRANSL, XYROT, MODIFY - są modyfikatorami, opisującymi sposób przekształcania drogi narzędzia podczas kopiowania,







#### • Modyfikator SAME

W wypadku zastosowania modyfikatora SAME w instrukcji COPY, zostanie wykonana samo kopiowanie punktów opisujących drogę narzędzia, bez ich przekształcania. Instrukcja ma wówczas następującą postać:

COPY/i, SAME, n

gdzie

i - jest liczbą całkowitą dodatnią, związaną z odpowiednią instrukcją INDEX/i oraz INDEX/i, NOMORE,

n - jest liczbą całkowitą dodatnią określającą ile razy należy skopiować drogę narzędzia.

Dane opisujące drogę narzędzia, zawarte między ogranicznikami INDEX/i oraz INDEX/i, NOMORE lub między INDEX/i oraz COPY/i, SAME, n będą n razy skopiowane i umieszczone w miejscu wystąpienia instrukcji COPY.

Instrukcja w tej postaci może być używana do uproszczenia programowania punktowego na obrabiarkach dysponujących uprzednio zaprogramowanymi cyklami obróbkowymi.

#### • Modyfikator TRANSL

Zastosowanie modyfikatora TRANSL w instrukcji COPY oznacza, że w czasie kopiowania punkty drogi narzędzia należy poddać przekształceniu polegającemu na ich przesunięciu (translacji). Instrukcja COPY ma wówczas postać:

COPY/i, TRANSL, x, y, z, n

gdzie

i - jest liczbą całkowitą dodatnią, związaną z odpowiednimi instrukcjami INDEX/i oraz INDEX/i, NOMORE,

TRANSL - jest modyfikatorem określającym, że podczas kopiowania punkty drogi narzędzia będą przekształcone przez przesunięcie,

x, y, z - są wielkościami przesunięć odpowiednio wzdłuż osi OX, OY i OZ,

n - jest liczbą całkowitą dodatnią określającą ile razy należy skopiować drogę narzędzia.

Przesunięcia kopiowanych punktów drogi narzędzia wykonywane są w następujący sposób:

- w czasie pierwszego kopiowania punkty są przesuwane o wektor  $(x, y, z)$ ;
- w czasie drugiego kopiowania punkty są przesuwane o wektor  $(2x, 2y, 2z)$ ;
- w czasie n-tego kopiowania punkty przesuwane są o wektor  $(nx, ny, nz)$ .

Instrukcja COPY o podanej wyżej postaci może być wykorzystywana np. do wytwarzania kilku małych części z jednego kawałka materiału. Odpowiedni przykład jest przedstawiony poniżej.

#### Przykład 3

Poniższy fragment programu obróbki części:

```
INDEX/1
:
:
(Instrukcje opisujące wykonanie części A)
:
:
COPY/1, TRANSL, 20, 0, 0, 3
```

opisuje wykonanie czterech jednakowych części.

Instrukcje zawarte między instrukcjami INDEX/1 oraz COPY opisują wykonanie części A (rys. 206), natomiast instrukcja kopiowania opisuje wykonanie trzech dalszych części (B, C, D) o takim samym kształcie. Każda z tych części jest przesunięta względem poprzedniej o odległość 20 (wzdłuż osi OX). Należy zauważyć, że wśród instrukcji służących do wykonania części A, oprócz instrukcji ruchu narzędzia mogą się również znajdować instrukcje postprocesora (np. zmiany narzędzia, sterowanie obrotem wrzeciona, itp.).



Jeżeli dla danej obrabiarki korzystne jest wykonywanie wszystkich czterech części równocześnie (tzn. najpierw frezowanie wszystkich czterech części, później wiercenie otworów, itp.) i jeżeli chcemy skrócić czas wykonania części przez zmniejszenie liczby zmian narzędzia, wówczas instrukcję COPY należy umieścić przed każdą zmianą narzędzia.

Rozważany fragment programu obróbki części będzie miał wówczas postać:

```

:
INDEX/1
:
(instrukcje opisujące frezowanie części A)
:
COPY/1, TRANSL, 20, 0, 0, 3
:
(zmiana narzędzia na wiertło)
INDEX/2
:
(instrukcje opisujące wiercenie otworów w części A)
:
COPY/2, TRANSL, 20, 0, 0, 3
```

#### • Modyfikator XYROT

Podanie w instrukcji COPY modyfikatora XYROT powoduje, że w czasie kopiowania punkty drogi narzędzia będą przekształcane przez obrót. Odpowiednia postać instrukcji COPY jest następująca:

COPY/i, XYROT,  $\alpha$ , n

gdzie

i - jest liczbą całkowitą dodatnią, związaną z odpowiednimi instrukcjami INDEX/i oraz INDEX/i, NOMORE,

XYROT - jest modyfikatorem określającym, że podczas kopiowania punkty drogi narzędzia będą przekształcane przez obrót względem osi OZ,

$\alpha$  - jest kątem obrotu względem osi OZ; gdy obrót jest wykonywany w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, wówczas kąt jest dodatni,

n - jest liczbą całkowitą dodatnią określającą ile razy należy skopiować drogę narzędzia.

Obrót w czasie kopiowania wykonywany jest w następujący sposób:

- podczas pierwszego kopiowania wykonywany jest obrót o  $\alpha$  stopni,
- podczas drugiego kopiowania wykonywany jest obrót o  $2 \cdot \alpha$  stopni,
- podczas n-tego kopiowania wykonywany jest obrót o  $n \cdot \alpha$  stopni.

Poniżej przedstawiono przykład wykorzystania omawianej postaci instrukcji COPY.

#### Przykład 4

Poniżej fragment programu obróbki części

```

:
INDEX/1
:
(instrukcje opisujące wykonanie części A)
:
COPY/2, XYROT, 30, 2
:
:
```

opisuje wykonanie trzech części (rys. 207). Wykonanie części B opisuje instrukcja COPY przez



skopiowanie punktów opisujących drogę narzędzia przy wykonaniu części A, przy czym każdy z tych punktów jest przekształcony przez obrót o  $30^\circ$  wokół osi OZ. Podobnie wykonanie części C opisuje droga narzędzia, powstała przez skopiowanie wszystkich punktów drogi narzędzia, opisujących wykonanie części A, z ich równoczesnym obrotem o kąt  $60^\circ$  wokół osi OZ. Należy zauważyć, że powyższy fragment programu obróbki części spowoduje wykonanie najpierw detalu A, następnie B, zaś na końcu - C.

#### • Modyfikator MODIFY

Zastosowanie modyfikatora MODIFY w instrukcji COPY oznacza, że w czasie kopiowania punkty drogi narzędzia mają być przekształcone w sposób opisany przez podaną w instrukcji macierz. Instrukcja COPY ma wówczas postać:

COPY/i,MODIFY,MA,n

gdzie

i - jest liczbą całkowitą dodatnią związaną z odpowiednimi instrukcjami INDEX/i oraz INDEX/i,NOMORE;

MODIFY - jest modyfikatorem określającym, że podczas kopiowania punkty drogi narzędzia będą przekształcone w sposób opisany przez podaną dalej macierz,

MA - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej macierzy lub definicją zagnieżdżoną macierzy; macierz ta opisuje przekształcenie,

n - jest liczbą całkowitą dodatnią określającą ile razy należy skopiować drogę narzędzia.

Przekształcenie drogi narzędzia jest dokonywane w następujący sposób:

- przy pierwszym kopiowaniu punkty drogi narzędzia są raz przekształcone przez podaną macierz MA,
- przy drugim kopiowaniu punkty drogi narzędzia są dwa razy przekształcone przez macierz MA,
- przy n-tym kopiowaniu punkty drogi narzędzia są n razy przekształcone przez macierz MA.

Wykorzystanie tej postaci instrukcji COPY ilustruje poniższy przykład

#### Przykład 5

Poniższy fragment programu obróbki części

```
⋮  
MAT1=MATRIX/XYROT,30  
INDEX/1
```

(instrukcje opisujące wykonanie części A)

```
COPY/1,MODIFY,MAT1,2
```

opisuje wykonanie trzech części: A, B, C (rys. 207). Powyższy zapis powoduje działanie analogiczne do przykładu podanego przy okazji omawiania modyfikatora XYROT.

Należy zauważyć, że chociaż wszystkie typy przekształceń, które mogą być opisywane przez macierze w języku APT, to jednak zastosowanie przekształcenia zawierającego współczynnik skali powoduje pewne konsekwencje (omówione w punkcie 6.2).

#### • Kopiowanie zagnieżdżone

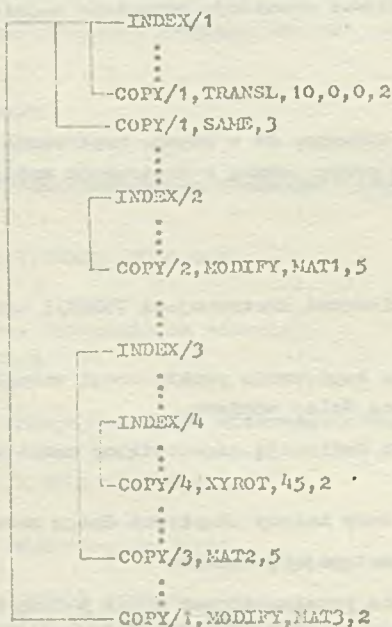
Mówimy, że instrukcje COPY zagnieżdżają się, gdy jedna instrukcja COPY znajduje się w polu działania innej instrukcji COPY. Jest to tzw. drugi poziom zagnieżdżania się. Maksymalna dozwolona liczba takich poziomów wynosi 3. Oznacza to, że w polu działania wewnętrznej instrukcji COPY znajduje się jeszcze jedna instrukcja COPY.



Poniższy przykład ilustruje zagnieżdżanie się instrukcji COPY.

#### Przykład 6

Mamy fragment programu obróbki części:



Para instrukcji INDEX/2 - COPY/2,... opisuje w tym programie kopiowanie drugiego poziomu, natomiast para instrukcji

INDEX/4 - COPY/4,... opisuje kopiowanie trzeciego poziomu.

Podczas zagnieżdżonego kopiowania najpierw wykonywane jest przekształcenie związane z najbardziej zewnętrznym COPY, a dopiero później związane z wewnętrznym COPY.

#### Przykład 7

Rozważmy następujący przykład:

```

  ⋮
  INDEX/5
  ⋮
  COPY/5, TRANSL, 0, 20, 0, 1
  COPY/5, XYROT, 30, 2
  
```

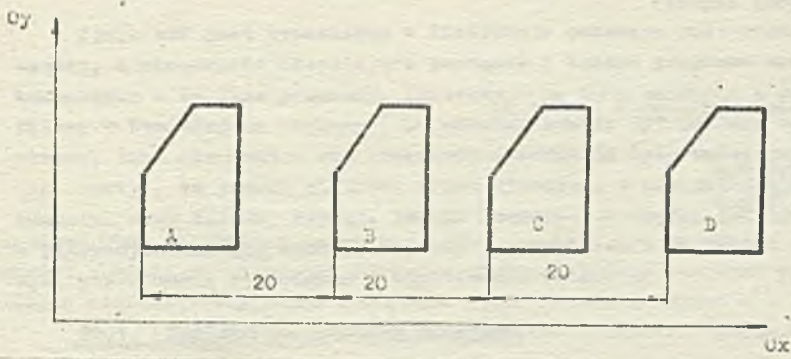
Pierwsza instrukcja COPY spowoduje tylko przesunięcie drogi narzędzia opisanej począwszy od INDEX/5.

Podczas wykonania drugiej instrukcji COPY wykonano są obydwa przekształcenia, przy czym wystąpi obrót przed przesunięciem. Oznacza to np. że gdyby droga narzędzia składała się tylko z jednego punktu (nazwijmy go PP), to wówczas wygenerowana w wyniku wykonania obu instrukcji COPY droga narzędzia miałaby postać:

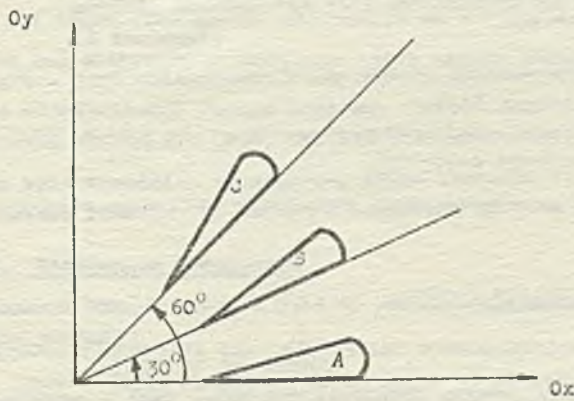
- punkt PP
- punkt PP przesunięty o 20 wzdłuż osi OY
- punkt PP obrócony o  $30^\circ$  i później przesunięty o 20 wzdłuż osi OY
- punkt PP obrócony o  $60^\circ$  i później przesunięty o 20 wzdłuż osi OY

Powracając do przykładu przedstawionego na rys. 206, można zauważyć w jak łatwy sposób (przez zastosowanie zagnieżdżonej instrukcji COPY) można opisać wykonanie sześciu takich małych części.

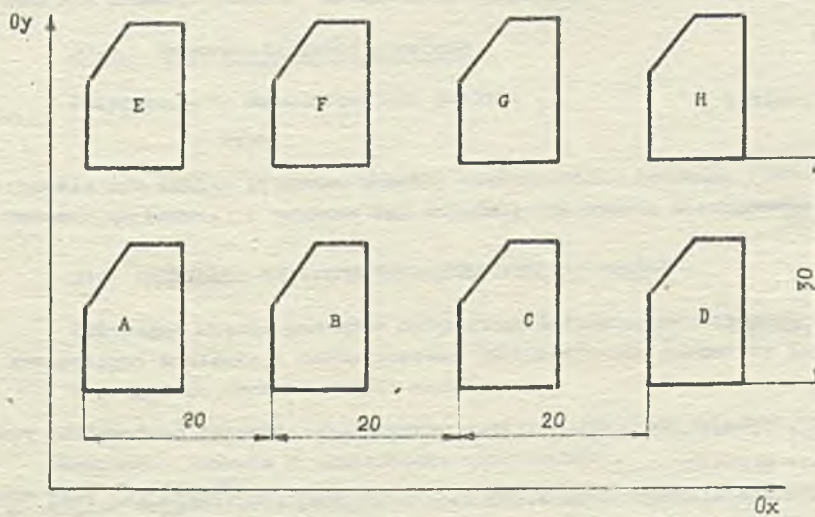




Rys. 206. Ilustracja kopiowania drogi narzędzia z przesunięciem



Rys. 207. Ilustracja kopiowania drogi narzędzia z obrotem

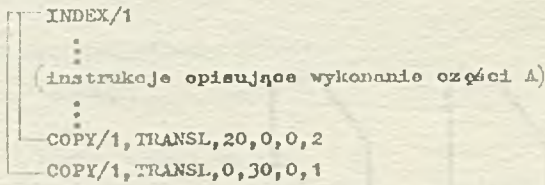


Rys. 208. Przykład zmięszczenia się instrukcji COPY



### Przykład 8

Poniższy fragment programu obróbki części:



opisuje wykonanie ośmiu części (przedstawionych na rys. 208). Pierwsza instrukcja COPY opisuje wykonanie części B, C i D. Druga instrukcja COPY skopiuje wszystko począwszy od INDEX/1 (włącznie z pierwszą instrukcją COPY) - w wyniku powstanie drogi narzędzia opisujące wykonanie części E, F, G i H. Proces wykonania drugiej instrukcji COPY przedstawia się następująco:

- wracamy do instrukcji INDEX/1 i przesuwamy punkty drogi narzędzia o 30 wzdłuż osi OY (co daje część E),
- następnie napotykamy pierwszą instrukcję COPY; pod kontrolą tej ostatnio napotkanej instrukcji COPY wracamy do INDEX/1, przesuwając punkty drogi narzędzia o 30 wzdłuż osi OY (co jest spowodowane zewnętrznym COPY), a następnie o 20 wzdłuż osi OX (co daje część F),
- znowu wracamy do INDEX/1 - i przesuwamy punkty drogi narzędzia o 30 wzdłuż osi OX (co daje część G),
- znowu wracamy do INDEX/1 - i przesuwamy punkty drogi narzędzia o 30 wzdłuż osi OY, a następnie o 60 wzdłuż osi OX (co daje w efekcie część H).

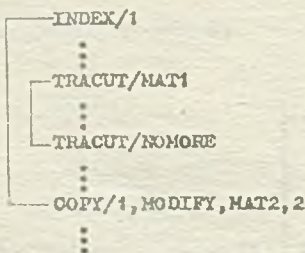
W ten sposób zostało zakończone drugie przejście przez wewnętrzne COPY oraz pierwsze przejście przez zewnętrzne COPY.

### 18.3. Połączone użycie instrukcji TRACUT i COPY

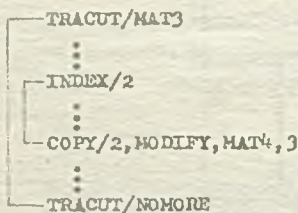
Instrukcje TRACUT i COPY mogą być umieszczone w ten sposób, aby obie mogły oddziaływać na ten sam fragment programu obróbki części. Będzie to oświadczone na poniższym przykładzie.

### Przykład 9

Wzajemne usytuowanie instrukcji TRACUT oraz COPY może wyglądać następująco:



lub



W pierwszym wypadku instrukcja TRACUT oddziałuje tylko na fragment operacji kopiowania, w drugim wypadku - na całą operację kopiowania.

W każdej sytuacji, kiedy zarówno instrukcja TRACUT jak i COPY wpływają na punkty tej samej drogi narzędzia, przekształcenie opisywane przez instrukcję TRACUT wykonywane jest jako pierwsze, natomiast opisywane przez instrukcję COPY jako drugie.



## 20. INSTRUKCJE SPECJALNE W JĘZYKU APT

Język APT jest wyposażony w instrukcje pełniące rolę organizacyjną w programie obróbki części, a mianowicie określające początek i koniec programu oraz pozwalające na umieszczenie komentarzy w tekście programu. Instrukcje te będą omówione w dalszej części niniejszego punktu. Należy w tym miejscu zauważyć, że chociaż system APT pozwala na pisanie instrukcji w dowolny sposób, tzn. nie wymaga aby fragmenty instrukcji były umieszczone w określonych polach rekordu (np. karty), to jednak niektóre słowa kluczowe, a mianowicie: PARTNO, REMARK (omówione w tym punkcie) oraz TITLES, PPRINT, INSERT (omówiane w części III opracowania) muszą być umieszczone w pierwszych sześciu znakach rekordu (na karcie - w kolumnach od 1 do 6). Są to jedyne instrukcje, które muszą być pisane w odpowiednim formacie.

### 20.1. Instrukcja początku programu

Program obróbki części musi rozpoczynać się od instrukcji PARTNO, która jednocześnie określa nazwę tego programu. Instrukcja ta ma następującą postać:

PARTNO nazwa

gdzie nazwa - jest łańcuchem znaków alfanumerycznych. Określa on nazwę programu obróbki części. Łańcuch ten jest umieszczony od 7 do 72 znaku rekordu (na karcie od 7 do 72 kolumny).

Nazwa programu jest umieszczana w nagłówkach wyników wyprowadzanych przez system APT i jest używana do identyfikacji danego programu obróbki części w poszczególnych fazach przetwarzania programu przez system APT (zob. Cz. III - Struktura systemu APT).

Jak to już było wcześniej wspomniane, słowo kluczowe PARTNO musi być umieszczone w pierwszych sześciu znakach rekordu (na karcie w kolumnach od 1 do 6).

### 20.2. Instrukcja komentarza

Instrukcja REMARK używana jest do wydzielenia komentarza z programu obróbki części. Ma ona następującą postać:

REMARK komentarz

gdzie komentarz - jest łańcuchem dowolnych znaków, umieszczonych na pozycjach od 7 do 72 znaku w rekordzie.

Znaki podane po słowie REMARK są traktowane jako komentarz, pozwalający na umieszczenie dodatkowych informacji wyjaśniających (dla programisty) w programie obróbki części. Komentarz nie ma żadnego wpływu na działanie systemu APT lub programu obróbki części.

Jak to już było wcześniej powiedziane, słowo kluczowe REMARK musi być umieszczone w pierwszych sześciu znakach rekordu (na karcie w kolumnach od 1 do 6).

### 20.3. Instrukcja końca programu

Instrukcja ta ma następującą postać:

FINI

Określa ona koniec programu obróbki części. Słowo kluczowe FINI powinno być jedynym słowem w rekordzie (na karcie) i powinno być ostatnią instrukcją w programie obróbki części.

## 21. PRZYKŁADY PROSTYCH PROGRAMÓW OBRÓBKİ CZĘŚCI

Opierając się na podanych dotychczas informacjach można pisać programy obróbki części, nie zawierające instrukcji postprocesora (definiujących parametry technologiczne obróbki).

W programie obróbki części należy:

- zdefiniować kształt geometryczny części w wybranym układzie współrzędnych (problem ten był omawiany w punkcie 9 niniejszego opracowania),
- opisać przesunięcia narzędzia prowadzące do otrzymania zdefiniowanego wcześniej kształtu części - służą do tego instrukcje ustawiania, przesuwu wstępnego oraz instrukcje ruchu narzędzia (instrukcje te są omówione w części II niniejszego opracowania),



- umieścić w programie obróbki części pewne instrukcje dodatkowe, które:
  - definiują kształt narzędzia,
  - określają pasmo tolerancji,
  - zaznaczają początek i koniec programu itp.

W ten sposób otrzymujemy program obróbki części, który może być przetwarzany przez system APT, bez przechodzenia przez fazę postprocesora (w programie umieszczamy instrukcję NOPOST aby zaznaczyć, że nie będzie wykonywana faza postprocesora).

Poniżej omówione będą przykłady programów obróbki części opisujące wykonanie części, których kształt był definiowany w punkcie 9 niniejszego opracowania (część I).

#### Przykład 1

W punkcie 9 zdefiniowano kształt części przedstawionej na rys. 92.

Poniższy program obróbki części opisuje wykonanie tej części.

1	PARTNO PROGRAM1	13	C1=CIRCLE/CENTER, PTS, RADIUS, 20
2	CLPRNT	14	FROM/-20, -20, 20
3	NOPOST	15	GO/TO, L2
4	INTOL/0	16	TLLFT, GOLFT/L2, PAST, L3
5	OUTTOL/0.01	17	GORT/L3, PAST, L4
6	CUTTER/50	18	GORT/L4, PAST, L5
7	L1=LINE/XAXIS	19	GORT/L5, PAST, C1
8	L2=LINE/YAXIS	20	GORT/C1, PAST, L1
9	L3=LINE/0, 100, 80, 100	21	GORT/L1, PAST, L2
10	L4=LINE/(POINT/10, 100), ATANGL, 30, L3	22	GOTO/-20, -20, 20
11	L5=LINE/80, 100, 80, 0	23	FINI
12	PTS=POINT/80, 0		

W powyższym programie instrukcja (1) określa początek programu o nazwie

#### PROGRAM1

Z kolei instrukcja CLPRNT powoduje, że w wyniku przetworzenia programu obróbki części przez system APT otrzymamy wydruk kolejnych punktów drogi narzędzia (opisanej przez ten program).

Powyższy program obróbki części nie zawiera instrukcji postprocesora, w związku z tym podana została instrukcja NOPOST informująca system APT, że faza postprocesora nie będzie wykonywana. Instrukcje CLPRNT oraz NOPOST będą dokładniej omówione w części III niniejszego opracowania. Instrukcje (4) i (5) określają pasmo tolerancji (zob. pkt 12) - droga narzędzia będzie więc opisywać obróbkę części z tolerancją zewnętrzną 0.01.

Część będzie obrabiana narzędziem o średnicy 10 - kształt narzędzia definiuje instrukcja (6) (zob. pkt 11).

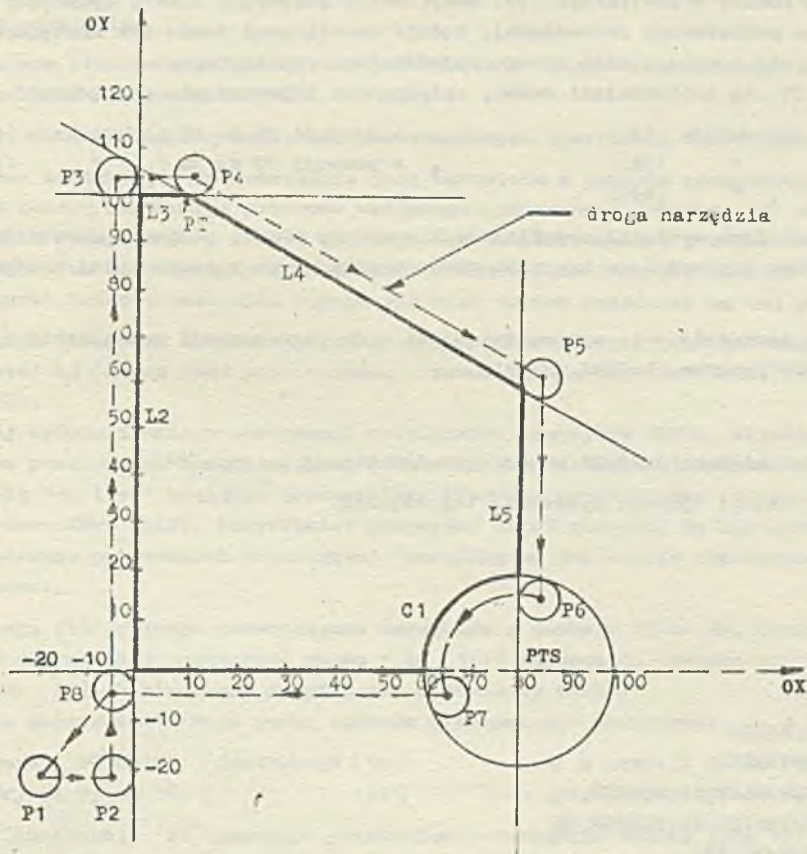
Instrukcje od (7) do (13) definiują kształt geometryczny części (zob. pkt 9 - Przykład 1), zaś instrukcje od (14) do (22) opisują drogę narzędzia. Otrzymaną drogą narzędzia przedstawia rys. 209.

Omówimy teraz dokładniej znaczenie poszczególnych instrukcji opisujących drogę narzędzia.

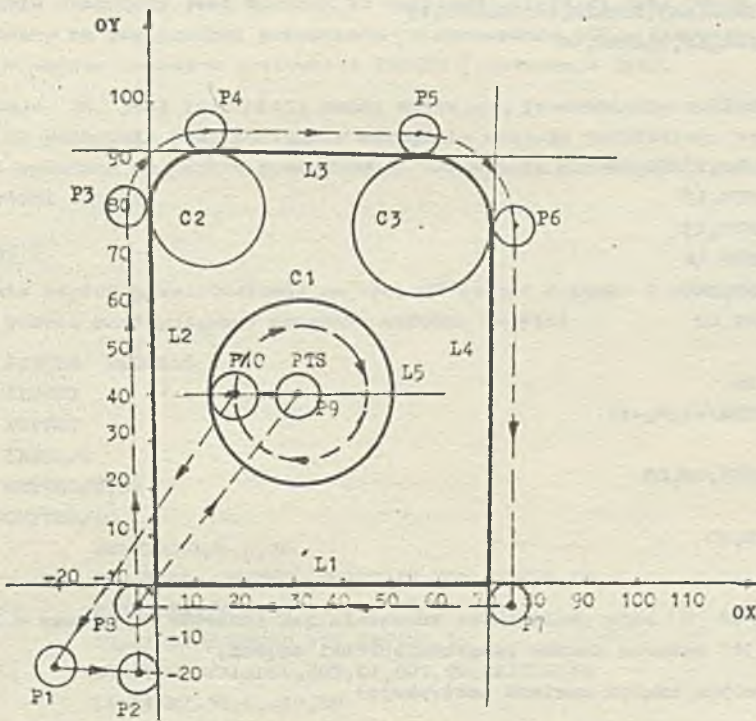
Instrukcja (14) ustawia narzędzie w punkcie początkowym (pozycja P1 na rys. 209). Następnie instrukcja przesuwu wstępnego przesuwa narzędzie do prostej L2 (pozycja P2). Należy zauważyć, że za powierzchnię przedmiotu będzie uznana płaszczyzna OXY, gdyż definicja powierzchni przedmiotu nie została podana. W związku z tym punkt końcowy narzędzia w pozycji P2 zostanie umieszczony na płaszczyźnie OXY. Płaszczyzna ta będzie powierzchnią przedmiotu dla następnych instrukcji ruchu.

Instrukcja (16) jest instrukcją ruchu narzędzia, opisującą jego przesunięcie wzdłuż prostej L2 w położenie PAST względem prostej L3 (czyli z pozycji P2 do pozycji P3). Narzędzie jest ustawione po lewej stronie powierzchni prowadzącej L2, w instrukcji podano więc modyfikator TLLFT. Względem poprzedniego przesunięcia (z pozycji P1 do P2) narzędzie będzie przesuwane w lewą stronę, podano więc modyfikator kierunkowy GOLFT.





Rys. 209. Droga narzędzia opisana przez program obróbki części z Przykładu 1



Rys. 210. Droga narzędzia opisana przez program obróbki części z Przykładu 2



Należy zwrócić uwagę, że podany w instrukcji (16) modyfikator pozytywny TLLFT, opisujący ustawienie narzędzia względem powierzchni prowadzącej, będzie obowiązywał także dla następnych instrukcji ruchu, ponieważ nie podano w nich innego modyfikatora pozytywnego.

Instrukcje od (17) do (21) są instrukcjami ruchu, opisującymi przesunięcie narzędzia:

- z pozycji P3 do P4 (instrukcja (17))
- z pozycji P4 do P5 ( " (18))
- z pozycji P5 do P6 ( " (19))
- z pozycji P6 do P7 (instrukcja (20))
- z pozycji P7 do P8 ( " (21))

We wszystkich tych instrukcjach wystąpił modyfikator kierunkowy GORGT, ponieważ narzędzie jest przesuwane w prawo względem poprzedniego kierunku ruchu wynikającego z poprzedniej instrukcji ruchu.

Instrukcja (22) wycofuje narzędzie - po wykonaniu części - do jego pozycji początkowej (P1), zaś instrukcja FINI kończy program obróbki części.

#### Przykład 2

W punkcie 9 (część I) zdefiniowano kształt części przedstawionej na rys. 94.

Poniższy program obróbki części opisuje wykonanie tej części.

```
1 PARTNO PROGRAM 2
2 CLPRNT
3 NOPOST
4 INTOL/0
5 OUTTOL/0.01
6 CUTTER/10
7 L1=LINE/XAXIS
8 L2=LINE/YAXIS
9 L3=LINE/PARLEL,L1,YLARGE,90
10 L4=LINE/PARLEL,L2,XLARGE,70
11 PTS=POINT/30,40
12 C1=CIRCLE/CENTER,PTS,RADIUS,20
13 C2=CIRCLE/XLARGE,L2,XSMALL,L3,RADIUS,10
14 C3=CIRCLE/YSMALL,L3,XSMALL,L4,RADIUS,15
15 L5=LINE/PARLEL,L1,YLARGE,40

16 FROM/-20,-20,20
17 GO/TO,L2
18 TLLFT,GOLFT/L2,TANTO,C2
19 GOFWD/C2,TANTO,L3
20 GOFWD/L3,TANTO,C3
21 GOFWD/C3,TANTO,L4
22 GOFWD/L4,PAST,L1
23 GOLFT/L1,PAST,L2
24 GODLTA/20
25 GOTO/30,40,20
26 INDIRV/(VECTOR/-1,0,-1)
27 GO/TO,C1
28 TLRT,GORGT/C1,ON,L5
29 GODLTA/20
30 GOTO/-20,-20,20
31 FINI
```

Instrukcje o numerach od (1) do (6) mają analogiczne znaczenie jak instrukcje opisane w Przykładzie 1. Podobnie instrukcja (31) oznacza koniec programu obróbki części.

Zasadniczą część programu obróbki części zawiera instrukcje:

- definiujące kształt geometryczny części - są to instrukcje o numerach od (7) do (15) omówione



w punkcie 9 - przykład 2; instrukcja (15) definiuje pomocniczą prostą L5, potrzebną do opisu ruchu narzędzia;

- opisujące przesunięcie narzędzia, prowadzące do otrzymania zadanego kształtu części - są to instrukcje o numerach od (16) do (30).

Omówimy teraz dokładnie zaozonie poszczególnych instrukcji opisujących przesunięcia narzędzia.

Za pomocą instrukcji (16) narzędzie jest ustawione w punkcie początkowym (pozycja P1 na rys.210), skąd za pomocą instrukcji przesuwu wstępnego (oznaczonej numerem 17) zostaje przesunięte do prostej L2 (pozycja P2). Należy zauważyć, że za powierzchnię przedmiotu dla instrukcji przesuwu wstępnego oraz dla następnych instrukcji ruchu uznana jest płaszczyzna OXY. Podczas ruchu roboczego punkt końcowy narzędzia będzie się więc zawsze znajdował na tej płaszczyźnie.

- Instrukcja (18) jest instrukcją ruchu narzędzia powodującą jego przesunięcie do punktu styżności prostej L2 (która jest powierzchnią prowadzącą dla tej instrukcji) z okręgiem C2 (z pozycji P2 do P3).

W takiej sytuacji należy zastosować modyfikator pozycyjny TANTO, określający położenie narzędzia względem powierzchni ograniczającej (C2) w miejscu zatrzymania się narzędzia. Ponieważ ruch odbywał się "na lewo" względem poprzedniego kierunku przesunięcia narzędzia, zastosowano modyfikator kierunkowy COLFT. Modyfikator pozycyjny TLEFT określa, że narzędzie jest ustawione po lewej stronie powierzchni prowadzącej (modyfikator ten będzie obowiązywał dla następnych instrukcji ruchu).

Instrukcja (19) opisuje przesunięcie narzędzia z pozycji P3 do P4. Ponieważ powierzchnia prowadząca w poprzedniej instrukcji ruchu (L2) jest styżna do powierzchni prowadzącej tej instrukcji ruchu (C2), zastosowano modyfikator kierunkowy GOTD.

Podobnie dalsze instrukcje ruchu opisują przesunięcie narzędzia:

- z pozycji P4 do P5 (instrukcja (20))                      • z pozycji P6 do P7 (instrukcja (22))
- z pozycji P5 do P6 ( " (21))                      • z pozycji P7 do P8 ( " (23))

Z kolei instrukcja (24) powoduje przesunięcie narzędzia wzdłuż jego osi o 20, tzn. o wektor (0,0,20), a następnie narzędzie jest przesuwane do pozycji P9 (instrukcja (25)).

Instrukcja o numerze (27) jest instrukcją przesuwu wstępnego, przenoszącą narzędzie w położenie P10, gdzie spełniony jest warunek T0 względem okręgu C1 oraz punkt końcowy narzędzia zostaje umieszczony na powierzchni przedmiotu (płaszczyźnie OXY). Kierunek przesunięcia do położenia P10 wskazuje wektor podany w instrukcji INDIRV (instrukcja (26)).

Instrukcja (28) jest instrukcją ruchu opisującą przesunięcie narzędzia wokół okręgu C1 z powrotem do położenia P10. Następnie narzędzie zostaje podniesione wzdłuż swojej osi (instrukcja (29)) i wycofane do punktu początkowego ustawiania narzędzia (instrukcja (30)), co kończy proces obróbki części.

### Przykład 3

Wykonanie części przedstawionej na rys. 96 (część I punkt 9 niniejszego opracowania) można opisać za pomocą następującego programu obróbki części:

```
1 PARTNO PROGRAM 3
2 CLPRNT
3 NOPOST
4 INTOL/0
5 OUTTOL/0.01
6 CUTTER/10
7 C1=CIRCLE/0,0,30
8 C2=CIRCLE/CENTER,(POINT/15,70),RADIUS,10
9 PT3=POINT/50,-25
10 C3=CIRCLE/CENTER,PT3,RADIUS,15
11 C4=CIRCLE/XLARGE,OUT,C1,OUT,C2,RADIUS,10
12 L1=LINE/-30,0,-30,80
```



```

13      L2=LINE/-30,80,15,80
14      L3=LINE/LEFT,TANTO,C2,LEFT,TANTO,C3
15      FROM/-40,-50,20
16      GO/TO,C1
17      TLEFT,GLEFT/C1,TANTO,L1
18      GOFWD/L1,PAST,L2
19      GORGT/L2,TANTO,C2
20      GOFWD/C2,TANTO,L2
21      GOFWD/L2,TANTO,C3
22      GOFWD/C3,TANTO,C4
23      GOFWD/C4,TANTO,C1
24      GOFWD/C1,TANTO,L1
25      GOTO/-40,-50,20
26      FINI

```

Drogę narzędzia opisaną przez powyższy program obróbki części przedstawia rys. 211.

Instrukcje o numerach (1) do (6) mają analogiczne znaczenie jak opisane w Przykładzie 1, zaś instrukcja o numerze (26) (FINI) kończy program obróbki części.

Definicje kształtu części (instrukcje od (7) do (14)) są omówione w punkcie 9 niniejszego opracowania (Przykład 3).

Instrukcje o numerach od (15) do (25) opisują drogę narzędzia podczas obróbki części, a mianowicie:

- instrukcja (15) ustawia narzędzie w położeniu początkowym (pozyoja P1),
- instrukcja (16) jest instrukcją przesuwu wstępnego, która przenosi narzędzie do okręgu C1 (pozyoja P2),
- instrukcje o numerach od (17) do (24) są instrukcjami ruchu narzędzia, opisującymi jego przesunięcie wzdłuż zdefiniowanego kształtu części; znaczenie poszczególnych instrukcji będzie dalej szczegółowo omówione,
- instrukcja (25) powoduje wycofanie narzędzia do punktu początkowego (z pozyoji P3 do P1).

Teraz będą szczegółowo omówione instrukcje ruchu narzędzia, które opisują właściwą obróbkę części.

Instrukcja (17) jest instrukcją ruchu, przesuającą narzędzie po lewej stronie (modyfikator TLEFT) okręgu C1, który jest powierzchnią prowadzącą dla tej instrukcji ruchu, do punktu styczności z prostą L1 (zastosowano modyfikator pozytywny TANTO). Należy zwrócić uwagę, że za powierzchnię przedmiotu zarówno dla instrukcji przesuwu wstępnego jak i instrukcji ruchu została przyjęta płaszczyzna OXY, gdyż nie wystąpiła żadna definicja powierzchni przedmiotu. W związku z tym punkt końcowy narzędzia (w położeniu P2,P3,...,P9) będzie się znajdował na płaszczyźnie OXY. Modyfikator pozytywny TLEFT (podany w instrukcji (17)) obowiązuje dla następnych instrukcji ruchu, które opisują przesunięcie narzędzia:

- |  |  |
|--|--|
| • z pozyoji P3 do P4 (instrukcja (18)) | • z pozyoji P7 do P8 (instrukcja (22)) |
| • z pozyoji P4 do P5 ( " (19))         | • z pozyoji P8 do P9 ( " (23))         |
| • z pozyoji P5 do P6 ( " (20))         | • z pozyoji P9 do P3 ( " (24))         |
| • z pozyoji P6 do P7 ( " (21))         |  |

Przy okazji omawiania powyższego programu obróbki części warto zwrócić uwagę na użyteczność zastosowania instrukcji TRACUT. Może się okazać, że ze względu na wymagania obrabiarki, droga narzędzia powinna być opisana w układzie współrzędnych O'X'Y' (rys. 211), natomiast sam kształt części wygodniej było zdefiniować w układzie współrzędnych OXY. Wówczas wystarczy dokonać odpowiedniego przesunięcia układu współrzędnych, w którym opisana jest droga narzędzia. Przed instrukcją (15) należy więc umieścić instrukcje

```

MA1=MATRIX/TRANSL,-40,-50
TRACUT/MA1

```

które spowodują przesunięcie wszystkich punktów drogi narzędzia w sposób opisany przez macierz MA1.



Przykład 4

Wykonanie części przedstawionej na rys. 98 (część I pkt. 9 niniejszego opracowania) można opisać za pomocą następującego programu obróbki części:

```
1  PARTNO  PROGRAM4
2  CLPRNT
3  NOPOST
4  INTOL/0
5  OUTTOL/0.01
6  CUTTER/10
7      C1=CIRCLE/0,0,40
8      C2=CIRCLE/0,0,20
9      L1=LINE/(POINT/-40,60),LEFT,TANTO,C1
10     L2=LINE/-40,-60,40,-60
11     L3=LINE/(POINT/40,-60),RIGHT,TANTO,C1
12     PT1=POINT/-25,-40
13     V1=VECTOR/1,0,0
14     PAT1=PATTERN/LINEAR,PT1,V1,INCR,15,20,15
15     PAT2=PATTERN/ARC,C2,0,CCW,INCR,30,60,60,30,90
16  SS FREZOWANIE KSZTAŁTU ZEWNĘTRZNEGO CZĘŚCI
17     FROM/-50,-70,20
18     GO/TO,L1
19     TLEFT,GO/FT/L1,TANTO,C1
20     GO/WD/C1,TANTO,L3
21     GO/WD/L3,PAST,L2
22     GO/RT/L2,PAST,L1
23     GOTO/-50,-70,20
24  SS WIERCENIE OTWORÓW
25  CUTTER/5
26     FROM/-50,-70,20
27     GOTO/PAT1,AVOID,15,1,THRU,3
28     CODATA/15
29     GOTO/PAT2,AVOID,15,1,THRU,5
30     GO/ELTA/15
31     GOTO/-50,-70,20
32  FINI
```

Droga narzędzia opisana przez powyższy program obróbki części została przedstawiona na rys.212.

W programie tym instrukcje o numerach od (1) do (6) mają analogiczne znaczenie jak opisane w Przykładzie 1, zaś instrukcja (32) (FINI) kończy program obróbki części.

W programie umieszczono instrukcje komentarza - są to instrukcje o numerach (16) oraz (24). Podają one informację, co będzie wykonywał dany fragment programu obróbki części. Instrukcje te z punktu widzenia procesu obróbki są zbędne, natomiast z punktu widzenia samego programu są użyteczne, gdyż ułatwiają zrozumienie, co opisuje dany fragment programu, ułatwiając również znalezienie odpowiednich fragmentów programu obróbki części (np. w celu wykonania poprawek). Umieszczenie w programie obróbki części komentarzy jest szczególnie potrzebne w dużych programach.

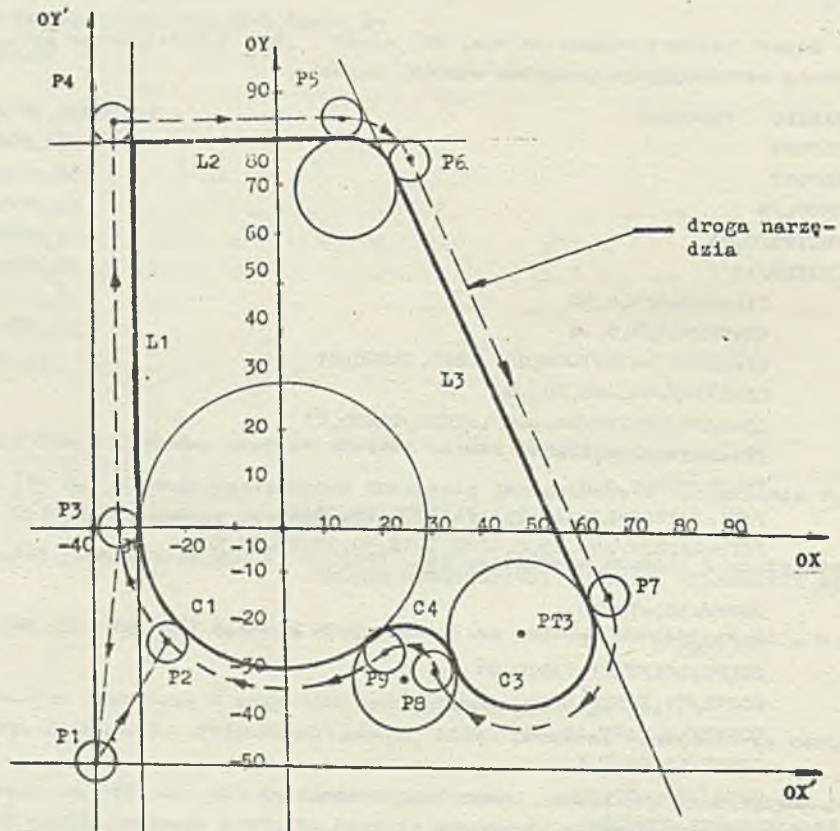
W omawianym programie obróbki części instrukcje o numerach od (7) do (15) opisują kształt geometryczny części. Znaczenie ich szczegółowo omówiono w punkcie 9 (Przykład 4).

Instrukcje o numerach od (17) do (23) oraz od (26) do (31) opisują ruch narzędzia. Jak widać przy opisie przesuwania narzędzia można wyróżnić dwa etapy:

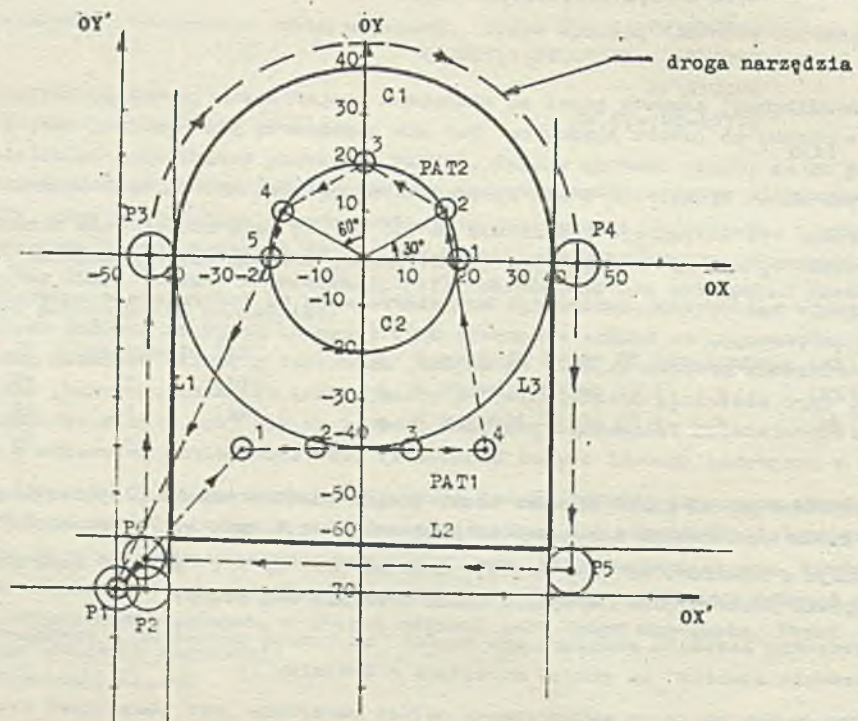
- frezowanie kształtu zewnętrznego części (za pomocą narzędzia o średnicy 10),
- wiercenie otworów (za pomocą narzędzia o średnicy 5).

Przy frezowaniu kształtu zewnętrznego części narzędzie jest początkowo ustawiane w punkcie początkowym (pozycja P1 na rys. 212) - za pomocą instrukcji (17), a następnie jest przesuwane do





Rys.211. Droga narzędzia opisana przez program obróbki części z Przykładu 3



Rys.212. Droga narzędzia opisana przez program obróbki części z Przykładu 4



prostej L1 (pozycja P2) za pomocą instrukcji (18). Kolejne instrukcje ruchu powodują przesunięcie narzędzia:

- z pozycji P2 do P3 (instrukcja (19))
- z pozycji P4 do P5 (instrukcja (21))
- z pozycji P2 do P4 ( " (20))
- z pozycji P5 do P6 ( " (22))

a następnie narzędzie jest wycofywane do punktu początkowego (instrukcja (23)).

Po zmianie narzędzia (instrukcja (25)) wiercone są otwory opisane za pomocą rozkładów punktów PAT1 (instrukcja (27)) oraz PAT2 (instrukcja (29)).

W tych instrukcjach ruchu punktowego zastosowano modyfikator AVOID, który powoduje, że przy przesunięciu między każdymi dwoma punktami rozkładu punktów, narzędzie jest podnoszone na wysokość 15.

W powyższym przykładzie może się okazać, że ze względu na wymagania obrabiarki, wykonanie części należy opisać w układzie współrzędnych  $O'X'Y'$  (rys. 212). Wówczas wystarczy jedynie dokonać przekształcenia drogi narzędzia opisanej przez powyższy program obróbki części do układu współrzędnych  $O'X'Y'$ .

Można to zrobić stosując instrukcję TRACUT.

A mianowicie po instrukcji (16) należy umieścić instrukcję:

```
MAT1=MATRIX/TRANSL,-50,-70  
TRACUT/MAT1
```

która spowoduje odpowiednie przesunięcie układu współrzędnych (w sposób przedstawiony przez macierz MAT1). Instrukcji TRACUT/NOMORE można w programie nie umieszczać, gdyż chcemy przekształcić drogę narzędzia opisaną przez cały program obróbki części.











#### WARUNKI PRENUMERATY

Prenumeratę na kraj przyjmują Oddziały RSW "Prasa-Książka-Ruch" oraz urzędy pocztowe i doręczyciele w terminie do dnia 25 listopada na rok następny.

Cena prenumeraty rocznej zł. 840.

Jednostki gospodarki uspołecznionej, instytucje, organizacje i wszelkiego rodzaju zakłady pracy zamawiają prenumeratę w miejscowych Oddziałach RSW "Prasa-Książka-Ruch", w miejscowościach zaś, w których nie ma Oddziałów RSW - w urzędach pocztowych.

Czytelnicy indywidualni opłacają prenumeratę wyłącznie w urzędach pocztowych i u doręczycieli.

Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę przyjmuje RSW "Prasa-Książka-Ruch", Centrala Kółportażu Prasy i Wydawnictw, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto PKO Nr 1153-201045.

Prenumerata ze zleceniem wysyłki za granicę jest droższa od prenumeraty krajowej o 50% dla zleceńodawców indywidualnych i o 100% dla zlecających instytucji i zakładów pracy.