

Wojciech Kałużny
Teresa Tomaszewska

EKONOMICZNE ZASADY DOBORU PROGRAMOWYCH
PRZESUNIĘĆ ZESPOŁÓW OSN

1.0. Wstęp

Skrócenie czasów maszynowych obróbki na obrabiarkach ze sterowaniem numerycznym wynika ze skrócenia czasów pomocniczych obróbki. Czasy pomocnicze podczas obróbki na obrabiarkach konwencjonalnych stanowią 25 do 50 % czasów maszynowych. Wyższy ich udział występuje podczas wykonywania przedmiotów o wysokim stopniu trudności wykonania, których obróbka wymaga zastosowania znacznej liczby narzędzi skrawających. Wynika stąd wniosek, że im bardziej złożony jest przedmiot obrabiany, tym większy jest efekt powstający przy zastosowaniu obrabiarki sterowanej numerycznie (OSN), związany w poważnym stopniu ze stopniem automatyzacji obrabiarki.

Bezpośrednie oszczędności czasu wynikają głównie:

- z krótkiego czasu pozycjonowania narzędzia względem obrabianej powierzchni przedmiotu,
- realizacji przesunięć pomocniczych z dużymi prędkościami ruchu,
- szybkiej wymiany narzędzi skrawających.

Szybka wymiana narzędzi skrawających jest realizowana z programu poprzez obrót wielonarzędziowej głowicy rewolwerowej lub automatyczną wymianę narzędzi pobieranych z magazynu narzędziowego.

Technolog - programista nie ma zasadniczo większego wpływu na czas zmiany narzędzia skrawającego, gdyż czas ten jest związany ściśle z konstrukcją obrabiarki. Niemniej istnieje możliwość skrócenia czasu pomocniczego związanego z zamianą narzędzia. Przykładem tego może być np. wywołanie bezkolizyjnego obrotu głowicy narzędzia podczas ruchu jałowego suportu, czy też w niektórych przypadkach automatycznej wymiany narzędzi. Automatyczna wymiana narzędzi wymagałaby zaplanowania takiej kolejności zabiegów, która gwarantowałaby minimalną konieczną ilość postojów wrzeciona. Postoje takie mogą wynikać z czasu trwania wymiany narzędzi z magazynu do głowicy rewolwerowej dłuższego od czasu trwania zabiegu, w trakcie którego zachodzi wymiana.

Oszczędność czasu związana z planowaniem przesunięć, wynika niekiedy z racjonalnego planowania przesunięć zależnie od właściwości układu sterowania i układu napędowego OSN. W warunkach obróbki przeciętnego przedmiotu występuje znaczna ilość przesunięć pomocniczych. Pełne wykorzystanie rezerw czasowych dla elementarnych przesunięć w ramach jednego bloku informacji może przyczynić się w przypadku obróbki serii przedmiotów do uzyskania znacznego skrócenia czasu jej wykonania.

Dostępna literatura techniczna nie naświetla wystarczająco tego zagadnienia, wpływającego niekiedy istotnie na czas trwania programu.

W artykule omówiono zasady programowania przesunięć pomocniczych ruchomych zespołów OSN, umożliwiającą uzyskanie minimalnego czasu trwania programu. Zasady te przedstawiono na przy-

układzie najszerszej rozpowszechnionych układów sterowania NUMEROBLOK 1 FOTOSTER stosowanych w obrabiarkach krajowych.

2.0. Charakterystyka eksploatacyjna układów sterowania NUMEROBLOK 1 FOTOSTER

Układ sterowania numerycznego NUMEROBLOK wykonywany w czterech odmianach (21.T.01, 21.T.02, 31.F.01, 31.F.02) jest układem sterowania ciągłego z interpolacją liniową. Przeznaczony jest do sterowania pracą tokarek i frezarek o liczbie osi sterowanych od 2 do 5. Główną metodą pracy obrabiarki, wyposażonej w USN NUMEROBLOK jest praca według programu zapisanego na 8-ścieżkowej taśmie dziurkowanej. Układ ten można podzielić na dwa zasadnicze człony: układ sterujący i układ napędowy. Układ napędowy składa się z elektronicznego wzmacniacza mocy przesterowującego wzmacniacz elektrohydrauliczny, sterujący pracą hydraulicznego silnika napędowego.

Wszystkie odmiany układu mogą sterować następującymi funkcjami obrabiarki:

- wartościami przesunięć i posuwów wzdłuż zadanej drogi, będącej w przypadku równoczesnego zadania przesunięć w kilku osiach sterowanych wypadkową tych przesunięć,

ponadto w odniesieniu do układów (21.T.01 i 21.T.02):

- zmianą prędkości obrotowej wrzeciona,
- zmianą narzędzia zamocowanego w głowicy narzędziowej,
- wywołaniem i odwołaniem korekcji ustawienia narzędzia.

Układ 31.F.01 posiada możliwość wywoływania korekcji średnicy narzędzia.

Informacje dotyczące elementarnych czynności obrabiarki ufor-

NR BLOKU	TABULATOR	ΔX	\pm	ΔX	SPACE lub X	ΔZ	\pm	ΔZ	TABULATOR	W	TABULATOR	FUNKCJE POMOCNICZE	CR	ϕ mm	V mm/min	L mm	Pm mm/min	Pb mm	9	UWAGI
01		0000	-	0000		5900	-	5900		4700		0 0 0 0 0			59	2000				
02		0000	-	0000	X	2900	-	2900		9580		0 0 0 0 0			290	2000				
03		3000	+	3000	X	2000	-	2000		5560		0 0 0 0 0			250	1000				
04		9000	-	9000		0000	-	0000		3080		0 0 0 0 0			45	1000				
05		2000	+	2000	X	0000	-	0000		6950		0 0 0 0 0			100	1000				
06		6000	-	6000		4000	+	4000		2780		0 0 0 0 0			50	1000				

Rys. 1. Karta programowa tokarki T2C 32N sterowanej w układzie NUMEROBLOK 21.T.01

mowane są w bloki informacji i zapisane na taśmie dziurkowanej. Odczyt taśmy jest realizowany za pomocą mechanicznego czytnika blokowego z maksymalną prędkością odczytu 2 bloki na sekundę.

Przykład budowy bloku informacji tokarki T2C 32 N sterowanej w układzie NUMEROBLOK 21.T.01 podano na rys.1 (karta programowa). Najmniejsza wartość programowanego przyrostu współrzędnych ΔX i ΔZ wynosi 0,01 mm, przy czym maksymalny przyrost zapisany w bloku informacji wzdłuż jednej współrzędnej wynosi 99,99 mm. W przypadku wykorzystania dziesięciokrotnego przelicznika bloku można zapisać jednorazowo przyrost nie przekraczający 999,9 mm.

Prędkość ruchu w przypadku realizacji przesunięć określa wskaźnik W:

$$(1) \quad W = 139 \frac{p_0 n}{L} = 139 \frac{p_m}{L}$$

gdzie w przypadku ogólnym L jest długością przebywanego odcinka drogi określonego przyrostem współrzędnych Δx i Δz :

$$(2) \quad L = \sqrt{\Delta Z^2 + \left(\frac{\Delta X}{2}\right)^2} \quad [\text{mm}]$$

Przyrosty takie mogą być realizowane posuwem roboczym p_0 lub posuwem przyspieszonym p_m . Maksymalne prędkości posuwu przyspieszonego w kierunku osi współrzędnych X i Z wynoszą odpowiednio: 1000 mm/min oraz 2000mm/min i nie powinny być wyższe ze względu na dopuszczalne prędkości obrotowe napędowego silnika hydraulicznego. Stosunek 1:2 przyrostów współrzędnych i posuwów dopuszczalnych wynika ze stosunku skoków śrub pociągowych suportu poprzecznego i wzdłużnego. Przy jednoczesnym zadaniu przesunięć wzdłuż dwóch współrzędnych ruchem szybkim, maksymalna prędkość posuwu będzie odpowiadać

posuwowi przyspieszonemu $p_m = 1000 \text{ mm/min}$ (blok 03 i 06 na rys.1).

Przesunięcia robocze i pomocnicze przy wartościach przyrostów przekraczających 100 mm można zapisać w rozbięciu na kilka bloków informacji lub w jednym bloku korzystając z dziesięciokrotnego przelicznika X. Zapisany w programie przyrost (bl. 02, 03, 05) jest wówczas odczytywany z dokładnością 0,1 mm, a układ tworzy pętlę realizowaną dziesięciokrotnie. Obliczając wskaźnik W, należy w miejsce przyrostów wpisać wartości odczytane bez dziesięciokrotnego przelicznika bloku, a zatem dziesięciokrotnie mniejsze. Wskaźnik ten będzie zatem dziesięć razy większy od wskaźnika, który wynikałby z wielkości przesunięcia rzeczywistego. Należy jednak zwrócić uwagę, że obliczona wartość W określa czas trwania pojedynczej pętli, wynikający z zależności, wskazującej odwrotnie proporcjonalną zależność czasu i wskaźnika W:

$$(3) \quad W = \frac{1}{T}$$

zatem

$$(4) \quad T = \frac{1}{W} = \frac{8340}{W} \quad [s]$$

Ponieważ pętla jest realizowana 10-krotnie, zatem czas trwania bloku jest równy:

$$(5) \quad T' = 10 T = \frac{83400}{W} \quad [s]$$

Największa możliwa do zapisania wartość $W = 9999$ zapewnia możliwość realizacji szybkich przesunięć suportu z prędkością 2000 mm/min na odcinku $L = 27,8 \text{ mm}$ wzdłuż osi Z oraz z prędkością 1000 mm/min na odcinku $L_1 = 13,9 \text{ mm}$. Przy za-

stosowaniu dziesięciokrotnego przelicznika bloku wartości te wynoszą odpowiednio 278 mm i 139 mm.

USN NUMEROBLOK 21.T.01 posiada również możliwość równoczesnego zadania w jednym bloku informacji dwóch czynności elementarnych, na przykład wywołanie obrotu głowicy narzędziowej w trakcie trwania przesunięcia wzdłuż jednej z osi sterowanych. Możliwość taka zachodzi wówczas, gdy istnieje absolutna pewność, że obrót głowicy będzie bezkolizyjny.

Drugim układem sterowania numerycznego opracowanym i produkowanym w kraju jest układ FOTOSTER, który może współpracować z przekładniami sterowanymi sprzęgłami elektromagnetycznymi lub z układami, w których regulacja prędkości obrotowych odbywa się z wykorzystaniem silników hydraulicznych lub silników prądu stałego.

USN FOTOSTER wykonywany jest w pięciu odmianach:

- FOTOSTER 1211 - stosowany do sterowania wiertarek rewolwerowych w systemie punktowym w układzie dwóch osi,
- FOTOSTER 2321 - dla sterowania pracą wiertarek, wiertarko-frezarek i frezarek jednowrzecionowych w systemie odcinkowym,
- FOTOSTER 2322 - dla sterowania pracą wiertarek rewolwerowych z trzema osiami sterowanymi w systemie odcinkowym,
- FOTOSTER 2421 - dla centrów obróbkowych z trzema osiami sterowanymi w systemie odcinkowym,
- FOTOSTER 2422 - dla centrów obróbkowych wyposażonych w cztery osie sterowane w systemie odcinkowym.

Każda z odmian układu daje następujące możliwości sterowania pracą obrabiarki:

- sterowanie ręczne z pulpitu obrabiarki,
- sterowanie półautomatyczne poprzez wpis informacji za pomocą nastawników szafy sterowniczej,

Adres i numer bloku	Tabulator	Rodzaj cyklu posuwowego		Tabulator		Δ X		Tabulator		Δ Y		Tabulator	Numer narzędzia	Tabulator	Funkcje pomocnicze	CR	Nr otworu	Nr narzędzia	Uwagi
		6	5	X	+	y	±	y	±										
n 025				X	-	05900													wierc. #8
n 026		9	84	X	-	03702		y	+	00117							14	3	wierc. #8
n 027				X	-	02602		y	-	03667			t	04			15	4	wierc. #10

rys.2. Karta programowa wiertarki WAB 25N sterowanej w układzie FOTOSTER 1211

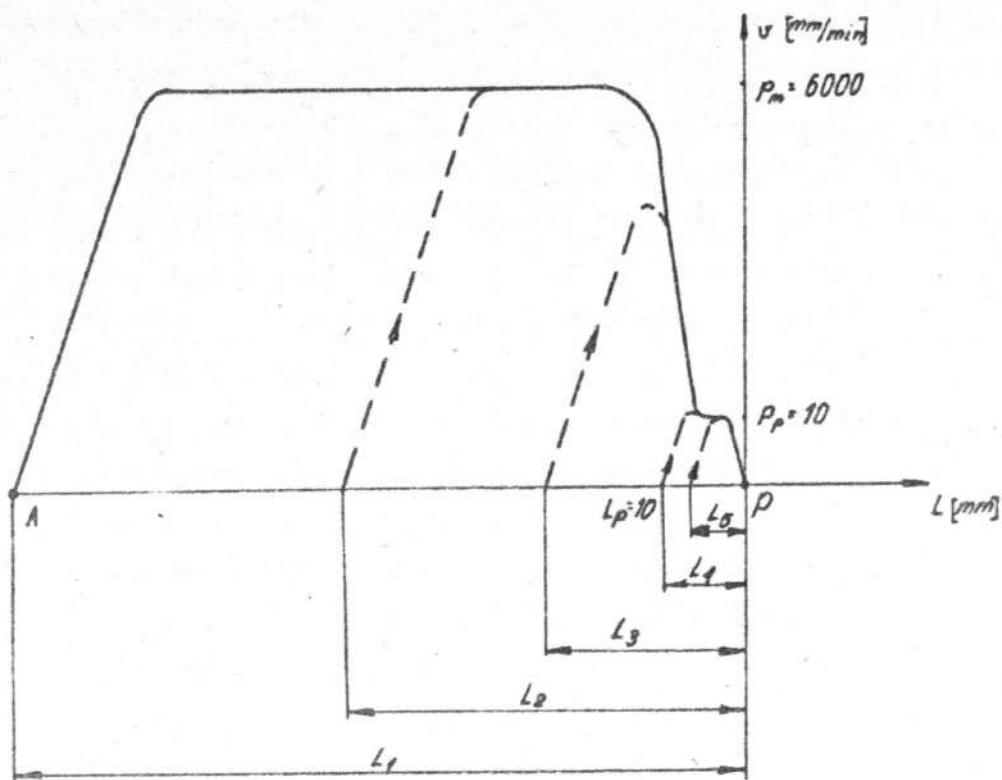
- sterowanie automatyczne z taśmy dziurkowanej.

Sterowanie półautomatyczne i automatyczne umożliwia realizację i kontrolę przemieszczeń, sterowanie funkcjami przygotowawczymi, pomocniczymi oraz funkcjami różnymi. Odczyt informacji zapisanych na taśmie dziurkowanej jest dokonywany za pomocą mechanicznego czytnika szeregowego o prędkości czytania taśmy 40 znaków na sekundę. Najmniejsza wartość programowanego przyrostu współrzędnych wynosi 0,01 mm przy zakresie przesunięć 1000 mm (FOTOSTER 2321, 2421 i 2422). Maksymalna wartość posuwu przyspieszonego w układzie FOTOSTER 1211 wynosi 6000 mm/min, natomiast w pozostałych odmianach 12000 mm/min. Informacje dotyczące elementarnych czynności obrabiarki formowane są również w bloki, lecz o zmiennej długości.

Budowę bloku informacji podano na rys.2 na przykładzie karty programowej wiertarki WAB 25 N sterowanej w USN FOTOSTER 1211. Obrót "t" głowicy jest dokonywany po wycofaniu suwaka głowicy rewolwerowej w górne położenie i może mieć miejsce w trakcie trwania przesunięcia stołu. Przesunięcia stołu roboczego, związane z pozycjonowaniem narzędzia w przypadku zastosowanego napędu sterowanego przy pomocy sprzęgieł elektromagnetycznych, mogą odbywać się tylko posuwem szybkim $p_m = 6000$ mm/min i pełznącym $p_p = 10$ mm/min. Przełączenie posuwu szybkiego na pełznący odbywa się w odległości 10 mm od punktu docelowego P. Charakter zmian prędkości ruchu przy przesunięciach stołu w zależności od wielkości drogi L przedstawia rys.3.

Ruch obejmuje cztery następujące fazy:

- rozruch silnika do momentu osiągnięcia prędkości p_m ;
- ruch posuwem szybkim p_m ;
- hamowanie silnika po osiągnięciu $L_p = 10$ mm,
- ruch posuwem pełznącym p_p ;
- hamowanie silnika przed osiągnięciem punktu P.



Rys.3. Zmienność prędkości ruchu stołu OSN w zależności od długości przesunięcia

W przypadku małych przemieszczeń (L_3) stół nie zdąży osiągnąć prędkości p_m przed momentem włączenia posuwu pełznącego. W innych przypadkach (L_4 i $L_5 \leq 10$ mm) występują tylko trzy fazy ruchu przy osiągnięciu maksymalnej prędkości odpowiadającej posuwowi pełznącemu. Złożony charakter prędkości ruchu wskazuje, że czas trwania przesunięć nie jest wprost proporcjonalny do przebywanej drogi ruchu.

Każda z omówionych odmian USN FOTOSTER odpowiednio powiązana z obrabiarką przez układ dopasowująco-sterujący (UDS) i wkład zasilająco-regulacyjny (UZR) może być wykorzystana do sterowania różnymi obrabiarkami zaliczanymi do tej samej grupy.

3.0. Zasady korzystania z dziesięciokrotnego przelicznika bloku w układzie NUMEROBLOK

Z przedstawionej charakterystyki układów sterowania wynika, że wpływ na czas trwania przesunięć w układzie NUMEROBLOK wywiera:

- stosunek przyrostów przesunięć,
- właściwe wykorzystanie dziesięciokrotnego przelicznika bloku,
- zwiększenie w miarę możliwości koncentracji elementarnych czynności wykonywanych przez obrabiarkę i zadanych w jednym bloku informacji.

Największe wątpliwości wśród użytkowników OSM wywołuje przypadek właściwego wykorzystania dziesięciokrotnego przelicznika bloku. Zagadnienie to sprowadza się do alternatywnego rozstrzygnięcia wyboru zapisu przemieszczenia (w przypadku przemieszczeń o przyrostach przekraczających 100 mm), z rozbiciem na większą liczbę bloków informacji lub zapisanie w jednym z wykorzystaniem dziesięciokrotnego przelicznika bloku. Jeżeli na przeszkodzie nie stoją względy dokładności wykonania obróbki, to kryterium rozstrzygające tę kwestię stanowi krótszy czas realizacji przemieszczenia. W przypadku jednakowych względnie w przybliżeniu jednakowych czasów, decydująca będzie długość taśmy sterującej, związana wobec stałej długości bloku informacji z liczbą istniejących bloków. Długość programu a z tym wzrastająca możliwość pojawienia się dodatkowej ilości bloków w dość znacznym stopniu wpływa na czas wykonania taśmy i koszt programu, co należy szczególnie uwzględnić przy programowaniu ręcznym.

Zależność (1) określająca wartość wskaźnika W pozwala dostrzec, że nie w całym zakresie przesunięć może być wykorzystana maksymalna prędkość posuwu suportów w trakcie wykonywania ruchów pomocniczych. Ograniczenie to powoduje, że w zakre-

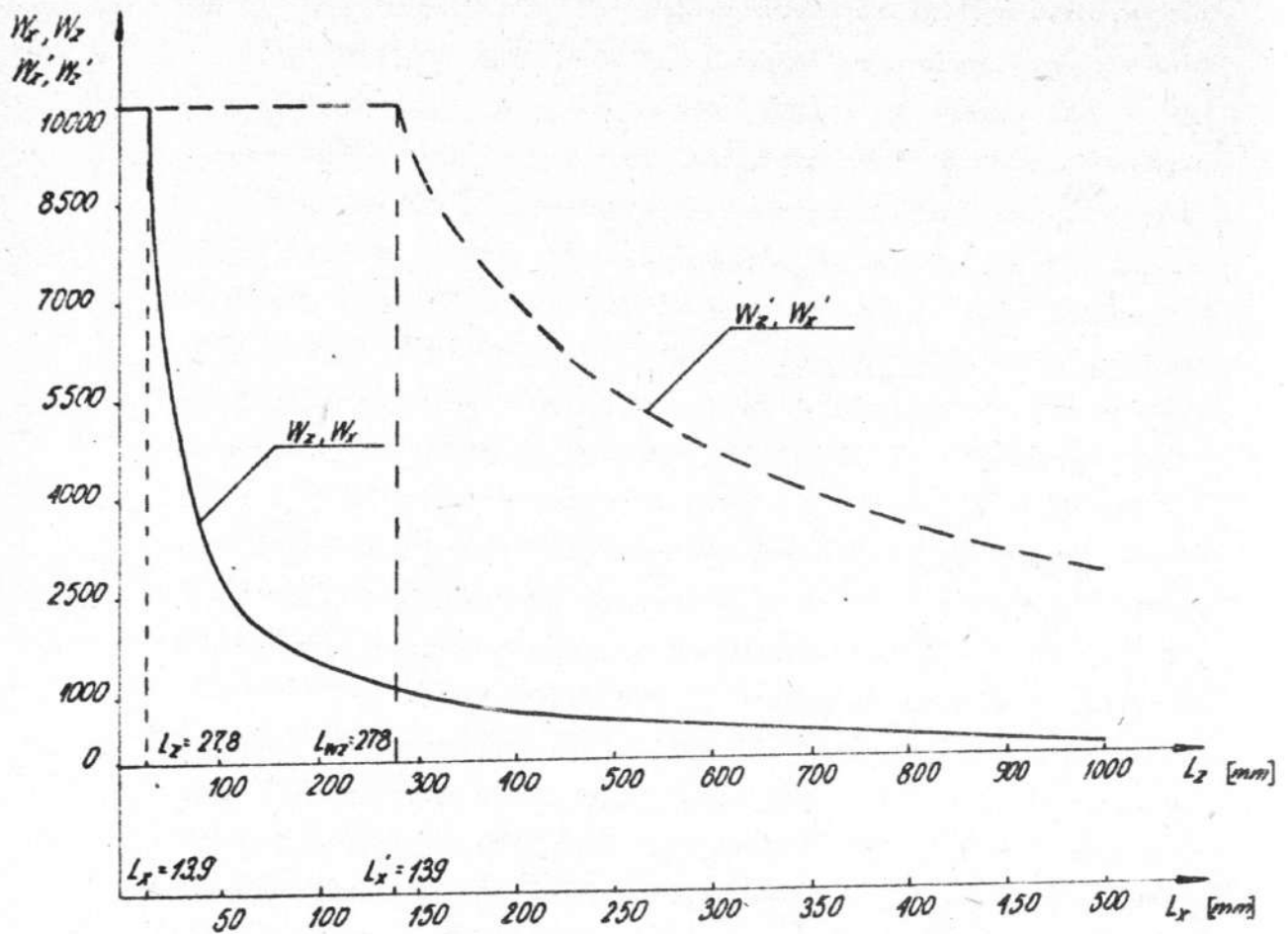
się przesunąć wzdłuż osi Z mniejszych od 27,8 mm oraz 278 mm, czas trwania ruchu jest niezależny od długości przebywanej drogi L (zależność 4). Wiąże się to z ograniczoną wielkością zapisu wskaźnika W przy małych przesunięciach, a tym samym realizacji zadanej drogi ruchu z prędkością mniejszą od maksymalnej. Zmienność wartości wskaźnika W_z przy rozbiściu bloku na odcinki $L_1 + L_1' = \frac{L}{9999} + L_1'$ [mm] oraz W_z' przy zastosowaniu przelicznika X przedstawia rys.4. Ta sama zmienność występuje przy rozpatrywaniu przemieszczeń wzdłuż osi X, przy czym odpowiednio do W_z' i W_z występują przy przesunięciach L_x wartości W_x' i W_x stanowiące połowę wartości L_z . Obowiązuje ona również dla przesunięć ukośnych realizowanych równocześnie wzdłuż osi X i Z, przy czym jak już wspomniano w takim przypadku należy uwzględniać zmienność odnoszącą się do L z powodu ograniczenia posuwu do 1000 mm/min.

Zmienność wskaźnika W przy określonych przesunięciach wiąże się z czasem realizacji tych przesunięć. Czas trwania przesunięcia przy określonej długości L wzdłuż współrzędnej X lub Z, w ogólnym przypadku można określić na podstawie zależności (4). Wykorzystując dziesięciokrotny przelicznik bloku X czas trwania przesunięcia odpowiada zależności (5). Przy rozbiściu przesunięcia na n bloków o równej długości L_1 i pozostającej długości resztkowej L_1' czas ten można określić:

$$\tau = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{8340}{W} + \frac{8340}{W'(L')} \quad [s]$$

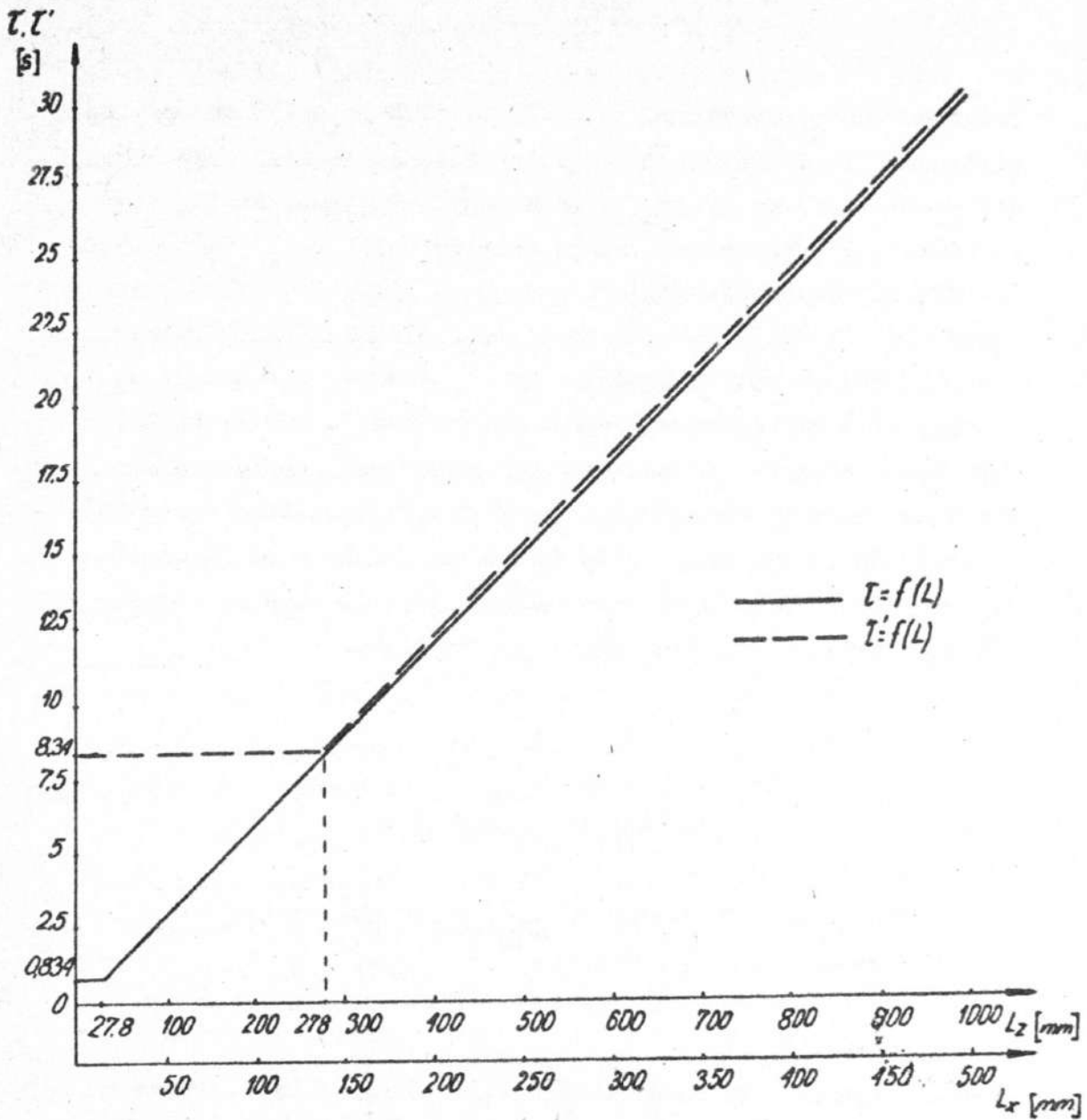
gdzie wartości W i W' można wyznaczyć z podanej zależności (1).

Graficzną zależność czasu trwania przesunięcia od jego długości oraz prędkości ruchu posuwowego przy szybkich przemieszczeniach przedstawiono na rys.5. Z rysunku tego wynika, że stosowanie przelicznika bloku jest opłacalne przy długości



Rys.4. Zależność programowanej wartości wskaźnika W i W' od długości przesunięcia L

$L_z \geq 278$ mm oraz długości L_x i L w przesunięciach ukośnych $L_x = L \geq 139$ mm. Przy mniejszych przesunięciach czas trwania bloku jest niezależny od długości przejścia, co wynika z zapisu największej możliwej wartości W w programie. Wartość W obliczona ze wzorów jest znacznie większa. Przesunięcia w tych przypadkach są realizowane posuwem mniejszym od dopuszczalnego. Z przekształcenia zależności (1) uzyskuje się:



Rys.5. Czas trwania przesunięcia τ w zależności od długości przesunięcia L

$$(6) \quad p_m = \frac{W L}{139} = \frac{9999 L}{139} \approx 71,9 L \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right]$$

Programowane przesunięcie $L_z \leq 278$ mm lub $L_x \leq 139$ mm z użyciem przelicznika bloku może być rozbite na dwa lub trzy bloki, o ile wartość jego przyrostu przekracza 99,99 mm. Ze względu na minimalny czas trwania bloku przesunięcie $L_{x(z)}$ należy tak rozbić, aby pozostała długość resztowa $L'_{1x(z)}$ spełniła warunki: L'_1 i $L'_{1x} \geq 13,9$ mm oraz $L'_{1z} \geq 27,8$ mm. Rozpatrując czasy przejścia przy długości $100 < L_x < 139$ mm oraz $200 \leq L_z < 278$ mm, można stwierdzić, że czasy te różnią się między sobą minimalnie, a maksymalna różnica czasu wynosi około 3 sekund. Ze względu na konieczność rozbicia takich przesunięć w trzech blokach, wydaje się, że bardziej opłacalne ze względu na długość taśmy sterującej i czas jej dziurkowania będzie użycie dziesięciokrotnego przelicznika bloku.

4.0. Wybór sposobu realizacji przesunięć

Przesunięcia z dowolnego punktu A do punktu B można realizować zadając:

- przesunięcia wypadkowe, złożone z równoczesnego ruchu wzdłuż współrzędnej X i Z,
- przesunięcia rozłożone na ruch wzdłuż jednej współrzędnej i po jego zakończeniu wzdłuż drugiej współrzędnej (rys.6).

Przypadek drugi dla jednakowych wartości przyrostów X i Z w układzie NUMEROBLOK lub ΔX i ΔY w układzie sterowania FOSTER odpowiada dłuższej drodze przesunięcia od przypadku pierwszego:

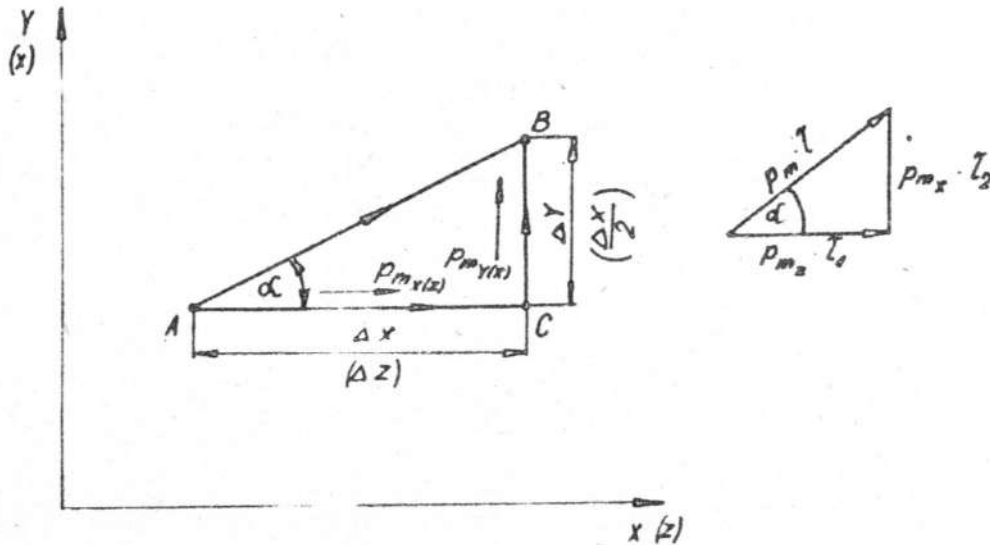
$$\overline{ACB} > \overline{AB}$$

$$(7) \quad \frac{\Delta X}{2} + \Delta Z > \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{2}\right)^2 + \Delta Z^2} \quad \text{lub}$$

$$(8) \quad \Delta X + \Delta Y > \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

Planowanie toru przesunięcia zgodnie z przypadkiem drugim jest jednak niezbędne w razie konieczności ominięcia pewnych elementów obrabianego przedmiotu. W trakcie trwania ruchu jałowego może bowiem zaistnieć przypadek grożący zaczepieniem elementów obrabianego przedmiotu o narzędzie skrawające.

W USN NUMEROBLOK 21.T.01 i 21.T.02 pomimo dłuższej drogi przejścia, czas przejścia wzdłuż toru \overline{ACB} może być krótszy od przejścia wzdłuż toru \overline{AB} . Wynika to stąd, że maksymalna wiel-



Rys.6. Prędkości składowe ruchu zadanego równocześnie wzdłuż obu współrzędnych i oddzielnie wzdłuż współrzędnych

kość posuwu w ruchu wzdłuż toru \overline{AB} nie może przekraczać $p_m = 1000$ mm/min. Przyrost ΔZ drogi wzdłuż toru \overline{ACB} jest realizowany z prędkością $p_{m_z} = 2000$ mm/min, natomiast przyrost ΔX z prędkością $p_{m_x} = 1000$ mm/min. Przy niektórych wartościach kąta α , obrazujących pochylenie odcinka \overline{AB} toru ruchu, czas ruchu wzdłuż toru \overline{ACB} może okazać się jednak krótszy. Drogi przesunięć w obu przypadkach można określić następująco:

$$(9) \quad \overline{AB} = \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{2}\right)^2 + \Delta Z^2} = \sqrt{(p_{m_x} \cdot \tau)^2 + (p_{m_z} \cdot \tau)^2}$$

oraz

$$(10) \quad \overline{ACB} = \Delta X + \Delta Z = p_{m_x} \tau_1 + p_{m_z} \tau_2$$

przy czym

$$\tau = \tau_1 + \tau_2$$

Czas τ trwania przesunięcia \overline{AB} można określić z zależności:

$$\tau = \frac{8340 \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{2}\right)^2 + \Delta Z^2}}{139 p_m} = \frac{8340 \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{2}\right)^2 + \Delta Z^2}}{139 \cdot 1000}$$

ostatecznie:

$$(11) \quad \tau = 0,06 \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{2}\right)^2 + \Delta Z^2}$$

Przy przesunięciach wzdłuż toru \overline{ACB} czas jego trwania jest następujący:

$$\tau_1 = \frac{8340 \frac{\Delta X}{2}}{139 p_{m_x}} + \frac{8340 \cdot \Delta Z}{139 p_{m_z}} = 0,03 \Delta X + 0,03 \Delta Z$$

po przekształceniu:

$$(12) \quad \tau_1 = 0,03 (\Delta X + \Delta Z) \quad [s]$$

Kąt pochylenia odcinka AB określa zależność:

$$(13) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta X}{2 \Delta Z} \quad \text{stąd}$$

$$(14) \quad \Delta X = 2 \Delta Z \operatorname{tg} \alpha$$

Podstawiając zależność (14) do wzorów (11) i (12), określono w rozpatrywanych przypadkach pierwszym i drugim czas trwania przesunięcia. Wyrażony on został przez współrzędną ΔZ i kąt pochylenia odcinka \overline{AB} , wzdłuż którego ma nastąpić przemieszczenia:

$$(15) \quad \tau = \frac{0,06 \cdot \Delta Z}{\cos \alpha} \quad [s]$$

$$(16) \quad \tau_1 = 0,03 \cdot \Delta Z (2 \operatorname{tg} \alpha + 1) \quad [s]$$

ponieważ:

$$\frac{\Delta Z}{\overline{AB}} = \cos \alpha$$

stąd

$$(17) \quad \Delta Z = \overline{AB} \cdot \cos \alpha$$

Ostatecznie wzory te przyjmują postać:

$$(18) \quad \tau = 0,06 \cdot \overline{AB} \quad [s]$$

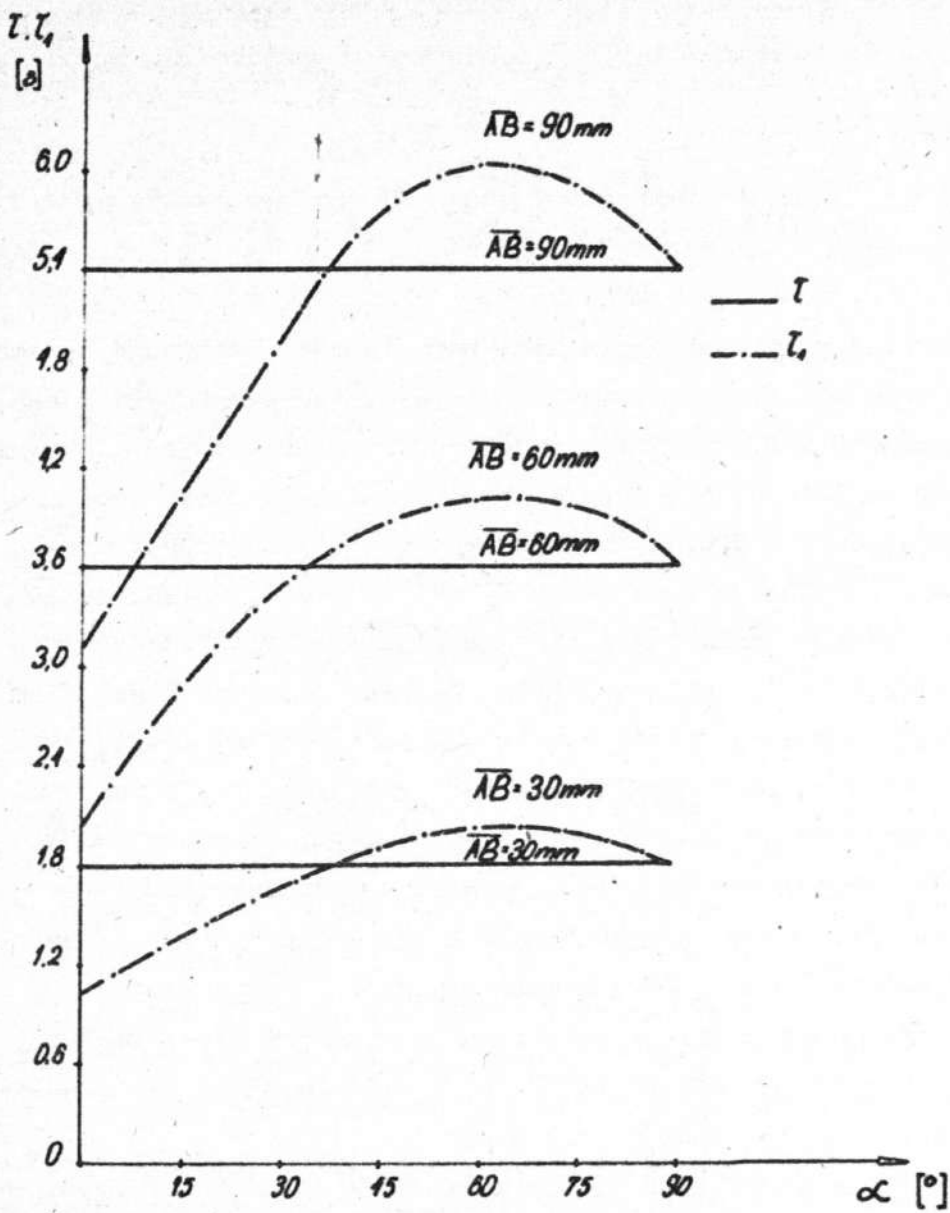
$$(19) \quad \tau_1 = 0,03 \cdot \overline{AB} (2 \sin \alpha + \cos \alpha) \quad [s]$$

Graficzną zależność czasu τ i τ_1 trwania przesunięcia w zależności od kąta α pochylenia odcinka \overline{AB} przy różnych jego długościach przedstawiono na rys.7. Z wykresu wynika, że w przypadku przesunięć realizowanych kolejno po dwu osiach współrzędnych czas τ_1 realizacji przesunięcia może być znacznie krótszy od czasu τ , związanego z przesunięciem po torze \overline{AB} . Przypadek taki zaistnieje przy niewielkich kątach pochylenia wypadkowego toru ruchu. Przy znacznej liczbie pozycjonowań, celowość realizacji takich przesunięć jest uzasadniona, mimo konieczności zapisu przesunięcia w dwóch blokach informacji. Przy istnieniu dużych kątów pochylenia toru wypadkowego do osi Z, stosowanie przesunięć realizowanych kolejno po dwu osiach współrzędnych może być uzasadnione jedynie w przypadku konieczności uniknięcia kolizji narzędzia skrawającego z elementem obrabianego przedmiotu.

Na wykresie przedstawiono zmienność czasu dla przesunięć w granicach wielkości nie wymagających ewentualnego stosowania dziesięciokrotnego przelicznika bloku. W przypadku stosowania przesunięć większych, zasady korzystania z przelicznika bloku są analogiczne do zasad omówionych w punkcie 2.0.

5.0. Zasady programowania przesunięć na obrabiarkach ze sterowaniem punktowym i odcinkowym

W przypadku programowania przesunięć zespołów obrabiarek ze sterowaniem punktowym lub odcinkowym problem wyboru toru ruchu narzędzia jest uproszczony. Przesunięcia o znacznej długości



Rys.7. Czas trwania przesunięcia τ w zależności od długości i kąta pochylenia toru ruchu

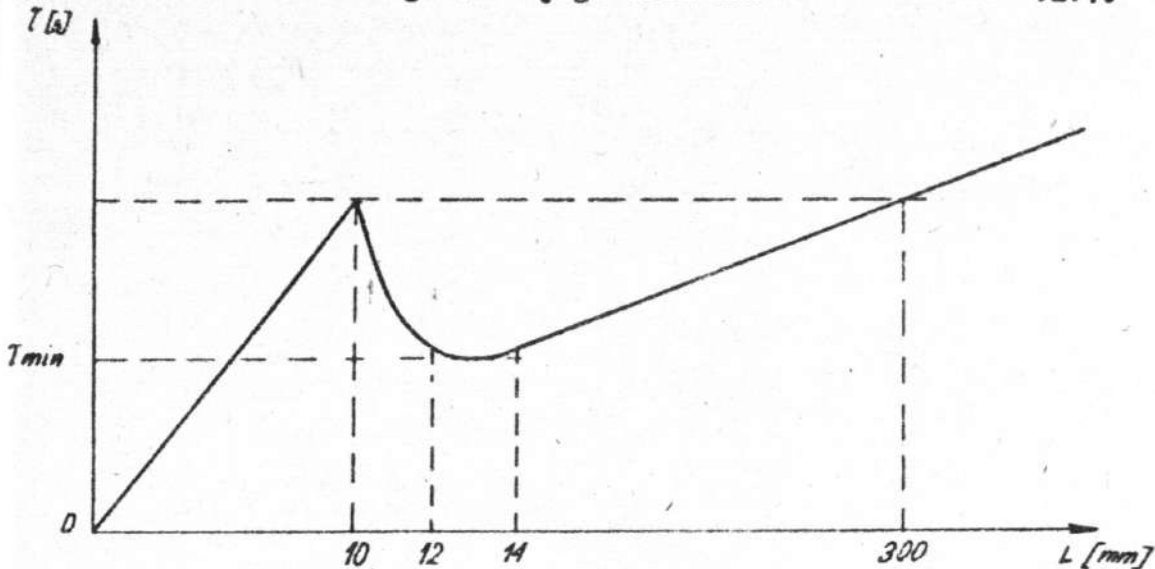
odbywają się tu w przybliżeniu z jednakową prędkością wzdłuż obu współrzędnych. W przypadku zadania równoczesnego ruchu wzdłuż współrzędnych X i Y są realizowane z prędkością wypadkową:

$$(20) \quad P_m = \sqrt{P_{m_{x_{jP}}}^2 + P_{m_{y_{jP}}}^2} \quad [m/s]$$

Poruszony przypadek w praktyce warsztatowej występuje bardzo często lecz nie jest przypadkiem ogólnym. Jak wspomniano w charakterystyce USN FOTOSTER prędkość ruchu jest zmienna w trakcie przesunięcia i dość ścisła proporcjonalność czasu trwania ruchu i prędkości średniej ruchu odnosi się do odcinków drogi o długości L większych od około 20 mm. Przy mniejszych wartościach L czas trwania ruchu nie jest liniowo proporcjonalny do długości przesunięcia, co oznacza, że przy przesunięciach o różnej długości mogą mieć miejsce dość znacznie zróżnicowane wartości prędkości ruchu wzdłuż obu współrzędnych. Zaprogramowany ruch odbywa się po najkrótszej drodze a prędkość wypadkowa tego ruchu jest zawsze większa od prędkości poszczególnych ruchów. Tak więc czas trwania ruchu po torze wypadkowym (wzdłuż współrzędnych X i Y) jest zawsze najkrótszy. Wynika stąd, że realizacja przesunięcia z rozbiciem jego na przejście wzdłuż osi X, a następnie wzdłuż osi Y lub odwrotnie, może być uzasadniona jedynie w przypadku:

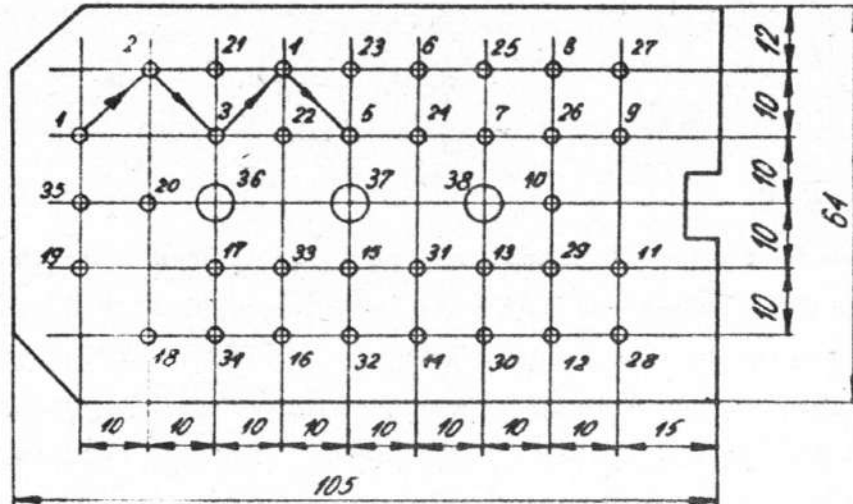
- bezkolizyjnego ominięcia elementów obrabianego przedmiotu, leżących na torze ruchu wypadkowego,
- usytuowania obrabianych powierzchni przedmiotu, sugerującego ze względu na krótszy czas trwania ruchu do zadania przesunięcia wzdłuż jednej współrzędnej (na przykład: szereg otworów o osiach symetrii usytuowanych na linii prostej) .

Na rys.8 przedstawiono wykres obrazujący zależność czasu trwania ruchu od długości L jego toru dla USN POTOSTER 1211.



Rys.8. Zależność czasu trwania przesunięcia od jego długości L w USN POTOSTER 1211

Z wykresu wynika, że w zakresie długości odcinka przemieszczeń od 0 do 10 mm czas ruchu jest proporcjonalny do długości L przebywanej drogi. Wynika to z realizacji przesunięć wyłącznie posuwem pełznącym. Zależność liniowa ma miejsce również przy przesunięciach większych od około 20 mm, gdzie prędkość średnia ruchu jest już zbliżona do maksymalnej wartości posuwu szybkiego. Z tego względu czas trwania przesunięcia o długości $L = 10$ mm posuwem pełznącym odpowiada czasowi ruchu posuwem szybkim przy wartości drogi przesunięcia $L \approx 300$ mm. Minimalny czas trwania przesunięcia odpowiada długości toru ruchu $L = 12$ do 14 mm. Z wyżej wymienionych względów należy unikać programowania przesunięć o długości $L \approx 10 \pm 1$ mm. Przykład sposobu rozwiązania przypadku, w którym realizując zasadę minimalnej drogi przesunięć uzyskałoby się najdłuższy czas trwania programu przedstawiono na rys.9.



Rys.9. Przykład ekonomicznego zaplanowania kolejności wiercenia otworów o małych odległościach rozstawu

Planując podaną kolejność obróbki otworów nie kierowano się wyborem najkrótszej drogi przemieszczeń, którą można by uzyskać obrabiając otwory usytuowane w poszczególnych sąsiadujących ze sobą liniach (otwór 2, 21, 4, 23 itd.), lecz zaplanowaniem drogi, która gwarantowałaby minimalny czas obróbki. Przyjęto zatem kolejność otworów leżących w narożach kwadratów o boku 10 mm i oddalonych od siebie na odległość 14,1 mm. W ten sposób pomimo zwiększenia sumarycznej drogi ruchu o około 1,5 razy uzyskano znaczne skrócenie czasu maszynowego obróbki.

6.0. Uwagi końcowe

Omówiona zasady doboru programowych przesunięć zespołów OSN mają szczególne znaczenie w przypadku obróbki większych partii przedmiotów. Zaoszczędzony czas związany z obróbką całej partii detali jest wówczas równy sumie oszczędności czasu uzyskiwanych w trakcie każdorazowego powtórzenia programu. Skrócenie czasów maszynowych wykonania operacji wiąże się ze wzrostem stopnia wykorzystania OSN, mającego duże znaczenie ze względu na wysoką cenę ich zakupu. Nie znaczy to jednak, że czas maszynowy obróbki stanowi jednokryterialny czynnik optymalizacji programowania. Podstawę bowiem do przyjętej drogi postępowania powinien stanowić koszt przypadający na pojedynczą operację obróbkową. Koszt ten wiąże się z szeregiem kosztów składowych, w które wchodzi również koszt programowania. Konieczne jest zatem wszechstronne rozpatrzenie zagadnienia, uwzględniające w technologii OSN alternatywny na przykład wybór minimalnego czasu wykonania lub minimalnego kosztu wykonania programu. Jak wykazano, niejednokrotnie zachodzi przypadek, że przy minimalnym skróceniu czasu trwania programu, znacznie wzrasta jego długość, wyrażona ilością bloków informacji. Przypadek taki jest szczególnie niekorzystny przy ręcznym opracowywaniu programów, czyniąc proces dziurkowania taśmy sterującej bardzo pracochłonnym. Należy również zwrócić uwagę, że skrócenie czasu realizacji programu obok właściwego doboru przesunięć, zapewnia również poprawne zaplanowanie zmiany narzędzia skrawającego, wchodzącego kolejno do pracy na rozkaz zadany w programie pracy obrabiarki. Możliwość taka zachodzi na przykład podczas planowania jawnych przesunięć suportów tokarek lub stołu wiertarek, umożliwiających bezkolizyjny obrót głowicy narzędziowej. Łącząc te czynności uzyskuje się skrócenie długości programu a ponad-

to czasu jego trwania. Czas trwania wymienionych czynności w takim wypadku przestaje być sumą czasów, lecz jest czasem czynności trwającej dłużej.

Istotny wpływ na ekonomiczność zastosowań OSN ma właściwa organizacja procesu technologicznego, mająca wpływ na czasy przygotowawczo-zakończeniowe. W przypadku eksploatacji w jednym zakładzie większej liczby OSN uzasadnione jest wydzielenie wyspecjalizowanej komórki w narzędziowni zajmującej się ostrzeżeniem i ustawianiem narzędzi pracujących na OSN. W ten sposób mogą być spełnione wymagania dotyczące jakości tych narzędzi, a ponadto można przyjąć system organizacyjny, w którym jeden operator OSN będzie obsługiwał grupę obrabiarek.

7.0 Wnioski

1. Jedną z dróg obniżenia kosztu wykonania partii przedmiotów obrabianych na OSN jest skrócenie czasu maszynowego obróbki. Wobec określonych możliwości OSN dodatkowe oszczędności mogą wynikać z dokładnej znajomości charakterystyk układów sterowania.
2. Istotnym zagadnieniem w wyborze najkorzystniejszego wariantu programu pracy obrabiarki jest uwzględnienie zależności czasu trwania czynności pomocniczych od długości i sposobu ich realizacji.
3. W USN-NUMEROBLOK stosowanych do sterowania tokarek czas trwania ruchów pomocniczych zależy jest od długości przesunięcia oraz w przypadku przesunięć zadanych równocześnie wzdłuż obu osi współrzędnych od kąta pochylenia toru ruchu względem układu osi współrzędnych.

4. W zakresie kątów pochylenia toru ruchu od 0° do około 35° względem osi Z, korzystne ze względu na czas trwania jest rozbięcie przesunięcia na kolejno realizowane wzdłuż obu osi współrzędnych. Jest to uzasadnione przy większej ilości obrabianych detali, ze względu na możliwość jego zapisu w przynajmniej dwóch blokach.
5. W przypadku realizacji przesunięć o długości powyżej około 250 mm, korzystne jest stosowanie dziesięciokrotnego przelicznika bloku, powodującego znaczne skrócenie długości taśmy sterującej. Podjęcie takiej decyzji jest uzasadnione wówczas, gdy przesunięcie pomocnicze nie będzie wpływać na dokładność obróbki.
6. W USN FOTOSTER ze względu na czas trwania najkorzystniejsze jest stosowanie przesunięć ukośnych, przy czym przy małej ich wielkości należy unikać odcinków o długości około 10 ± 1 mm.
7. W miarę możliwości należy łączyć czynności elementarne obrabiarki. W wyniku ich połączenia uzyskuje się skrócenie długości programu i czasu jego trwania.

Literatura:

1. Peterman W. : Die Methodik der Werkzeuginstellung, Techn. Zbl. prakt. Metallbearb., Werkstatt u. Betrieb, nr 8, 1970
2. Przybylski W. : Automatyczna zamiana narzędzi w centrach obróbkowych, Mechanik nr 9, 1972
3. Rafałowicz J., Teodorczyk J. : Automatyczna regulacja posuwu tokarki z układem sterowania numerycznego NUMEROBLOK, Mechanik, nr 10, 1973
4. Tymowski J. : Rola obrabiarek sterowanych numerycznie w no-

woczesnym systemie produkcji, Mechanik, nr 1, 1972

5. Obrabiarki sterowane numerycznie - katalog - informator,
WBM "Wema", 1973