

W obróbce wykańczającej wobec małych przekrojów warstwy skrawanej nie ma potrzeby sprawdzania sił skrawania. Oczywiście w warunkach produkcji wielkoseryjnej i masowej, w wyniku dążenia do maksymalnego wykorzystania mocy obrabiarki, przy obróbce zgrubnej powinny być stosowane maksymalne siły skrawania i wtedy nieodzowne będzie dokładne sprawdzanie wszystkich możliwych odkształceń strzałek ugięcia w układzie „obrabiaarka — narzędzie — przedmiot”.

5. Dobór wielkości posuwu

Obróbka zgrubna (zdzierająca) ma za zadanie zdjęcie możliwie jak największej ilości materiału. W takim razie, przy wybranej głębokości skrawania należy zastosować największy posuw, jaki tylko dopuszczają względy wytrzymałościowe narzędzia i przedmiotu, o ile sama obrabiarka nie ograniczy wielkości posuwu.

Dla przypadku noża tokarskiego, punktem wyjścia będzie wzór [0.20], określający dopuszczalną siłę $P_{z\text{ dop}}$. Korzystając ze wzoru [0.16] i podstawiając do niego wzór [0.20] otrzymamy

$$p = \sqrt[n_p]{\frac{P_z}{C_p g K_{Mp}}} = \left(\frac{P_z}{C_p g K_{Mp}} \right)^{\frac{1}{n_p}} \quad [0.25]$$

Gdy więc dla noża o przekroju 20×32 mm dopuszczalne obciążenie $P_z = 1420$ kG, to w przypadku stali $R_m = 75$ kG/mm² i głębokości skrawania $g = 5$ mm wartość posuwu wyniesie

$$p = \left(\frac{1420}{200 \cdot 5} \right)^{\frac{1}{0,75}} = 1,6 \text{ mm}$$

Teraz należałoby obliczyć wielkość posuwu biorąc pod uwagę dopuszczalne ugięcie przedmiotu. Niech tym przedmiotem będzie wałek $\varnothing 50 \times 300$ mm mocowany w kłach ($\lambda = 6$), a dopuszczalne ugięcie $f_y = 0,001$ d.

Wielkość maksymalnej siły P_y przy danej dopuszczalnej strzałce ugięcia można obliczyć przekształcając wzór [0.22]

$$P_y = \frac{f_y E d}{0,424 \lambda^3} \quad [0.26]$$

Po podstawieniu odpowiednich wartości do wzoru [0.26] wielkość siły P_y w nowym przykładzie wyniesie

$$P_y = \frac{0,05 \cdot 2,2 \cdot 10^4 \cdot 50}{0,424 \cdot 6^3} = 600 \text{ kG}$$

W takim razie posługując się wzorem [0.24] można napisać

$$p = \sqrt[n_{py}]{\frac{P_y}{C_{py} g^{0,9}}} = \left(\frac{P_y}{C_{py} g^{0,9}} \right)^{\frac{1}{n_{py}}} \quad [0.27]$$

Wykorzystując wartość liczbową dla współczynnika C_{py} oraz wartość wykładników potęgowych podanych przy wzorze [0.24], po podstawieniu obliczonej war-

tości siły $P_y = 600$ kG do wzoru [0.27] otrzymamy

$$p = \left(\frac{600}{125 \cdot 5^{0,9}} \right)^{1,33} = 1,12^{1,33} = 1,17 \text{ mm/obr}$$

Okazuje się więc, że dla normalnych zastosowań wielkości noża i jego wysięgu, czynnikiem ograniczającym wielkość posuwu będzie dopuszczalna wielkość strzałki ugięcia przedmiotu. Przedmiot „dopuszcza” posuw $p = 1,17$ mm/obr, a nóż — $p = 1,6$ mm/obr. W takim razie wielkość posuwu przy toczeniu zgrubnym będzie zależała od samego przedmiotu i dopiero przy dużych średnicach przedmiotu elementem ograniczającym może się stać sam nóż.

Na podstawie tego rodzaju przesłanek, tablice normatywów posuwów zgrubnych (np. przy toczeniu zewnętrznym z normalnym wysięgiem noża, tabl. 0-19), są zbudowane w zależności od średnicy przedmiotu (bo od średnicy d w myśl wzoru [0.26] zależy siła P_y) i od głębokości skrawania g (bo wzrost głębokości powoduje wzrost siły P_y).

Tablica 0-19. Normatywy posuwów przy zewnętrznym toczeniu zgrubnym nożem o normalnym wysięgu

Średnica przedmiotu mm	Głębokość skrawania		
	5	8	12
	Posuw p , mm/obr		
do 18	do 0,25	—	—
do 30	0,2–0,5	—	—
do 50	0,4–0,8	0,3–0,6	—
do 80	0,6–1,2	0,5–1,0	—
do 120	1,0–1,6	0,7–1,3	0,5–1,0

Uwaga. Wyższe wartości liczbowe stosować dla materiałów miękkich i sztywnych przedmiotów.

Tablica 0-20. Normatywy posuwów przy wewnętrznym toczeniu zgrubnym stali nożami-wytaczakami o wysięgu $w_z = 5d_N$ (d_N — średnica okrągłej części wytaczaka)

Głębokość skrawania g mm	Przekrój noża-wytaczaka mm		
	Ø 10	Ø 16	Ø 25
	Wysięg noża w_z , mm		
	50	80	125
Posuw p , mm/obr			
2	poniżej 0,08	0,08–0,20	0,25–0,70
3	—	poniżej 0,12	0,15–0,40
5	—	poniżej 0,08	0,08–0,20

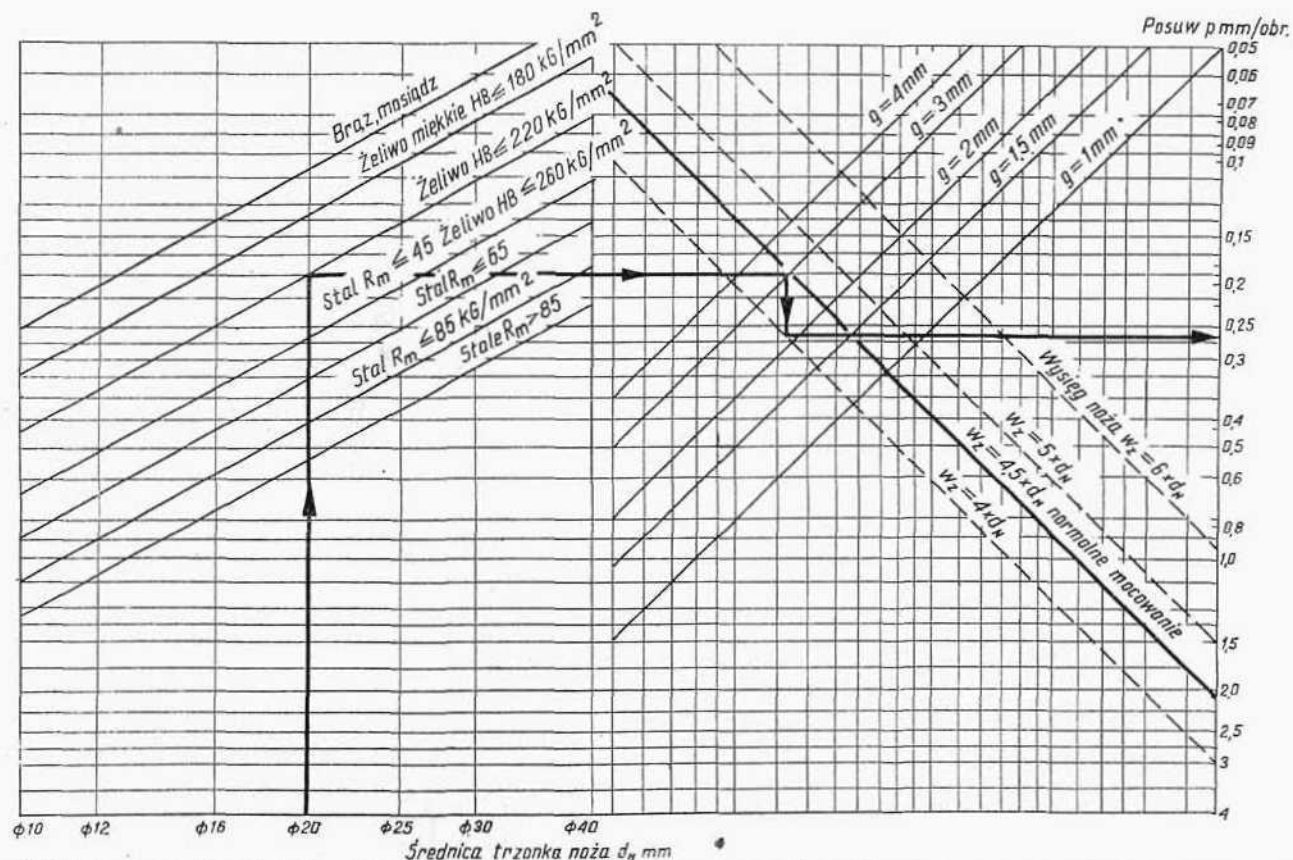
Uwaga. Wyższe wartości liczbowe stosować dla materiałów miękkich.

Przy wytaczaniu duże wysięgi noży wytaczaków są powodem tego, że normatywy posuwów są funkcją wymiarów wytaczaka i jego wysięgu oraz głębokości skrawania g (tabl. 0-20).

Graficzne przedstawienie normatywów posuwów jak na rys. 0/15 pozwala na ściślejszy wybór posuwu, można uwzględnić cały szereg czynników ograniczających wielkość tego posuwu. Jednakże — jak już wyjaśniono wcześniej — w praktyce normowania czasu obróbki skrawaniem — ujęcia tabelaryczne najchętniej są stosowane.

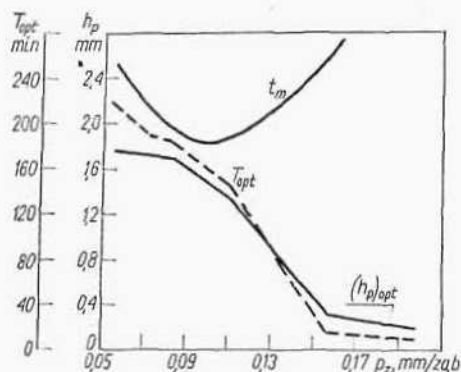
Przy innych rodzajach obróbki zachodzą podobne zagadnienia i są one rozwiązywane w ten sam sposób. Wielkości posuwów zgrubnych zależą od sztywności przedmiotu, jego materiału oraz od sztywności samego narzędzia (co często wynika z samej konstrukcji narzędzia niezależnie od jego sposobu mocowania). Niekiedy mogą być użyte inne kryteria.

Jest rzeczą ciekawą, że przy niektórych rodzajach obróbki, posuw jest parametrem bardziej limitującym trwałość ostrza narzędzia aniżeli szybkość skrawania. Otóż np. przy skrawaniu stali głowicami frezowymi okazało się, że z punktu widzenia najkrótszego czasu obróbki, przy zachowaniu maksymalnej żywotności narzędzia, optymalnym posuwem jest $p = 0,11$ mm/ząb przy wysokości starcia $h_p = 1,3$ mm. Rys. 0/16 jest ilustracją wyników takiego badania.

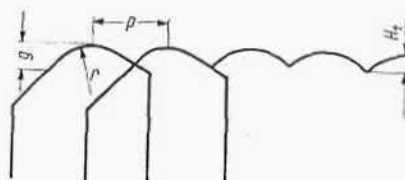


Rys. 0/15. Nomogram do ustalania wielkości posuwu p w mm/obr przy wytaczaniu zgrubnym otworów nożami-wytaczakami, w zależności od średnicy trzonka noża i jego wysięgu w_z , dla różnych głębokości skrawania g
 Uwagi: 1) wykresy ważne dla zdzierania nożami o dużym wysięgu $w_z \geq 4d_n$, 2) dopuszczalne ugięcie wierzchołka ostrza noża przyjęto równe 0,15 mm, 3) wykresy ważne dla zdzierania, po którym przewiduje się co najmniej jeszcze jedno przejście obróbkowe (opracowanie autora)

W obróbce wykańczającej sprawa doboru posuwów jest rozstrzygana z innego zupełnie punktu widzenia. Momentem rozstrzygającym jest tu wymagana gładkość i dokładność powierzchni po obróbce. Podczas obróbki z posuwem p mm/obr, wierzchołek noża o promieniu zaokrąglenia r odtwarza geometrycznie na powierzchni przedmiotu nierówności, jak to pokazano na rys. 0/17. Wysokość



Rys. 0/16. Wpływ posuwu p_z na optymalną wysokość starcia $(h_p)_{opt}$ jako kryterium stępienia i optymalną trwałość ostrza T_{opt} , dające w wyniku maksymalną eksploatacyjną żywotność narzędzia, oraz na czas maszynowej obróbki t_m . (Głowica frezowa: $D_f = 200$ mm, ilość ostrzy $z = 4$, węgiel spiekany S20; szerokość frezowania $B = 100 \div 110$ mm, głębokość $g = 3$ mm, kąt przystawienia $\alpha = 60^\circ$; wg badań J. Harasymowicza z Politechniki Krakowskiej, r. 1965)



Rys. 0/17. Teoretyczne odwzorowanie ostrza noża na materiale obrabianym (H_r — teoretyczna wysokość chropowatości powierzchni)

nierówności R_{zt} teoretycznej zależy — jak to wynika z geometrii obróbki — od dwóch zasadniczych parametrów: promienia r i posuwu p . Zwiększając promień r , czy zmniejszając posuw p uzyskuje się mniejszą wysokość chropowatości (rys. 0/18), a więc gładszą powierzchnię.

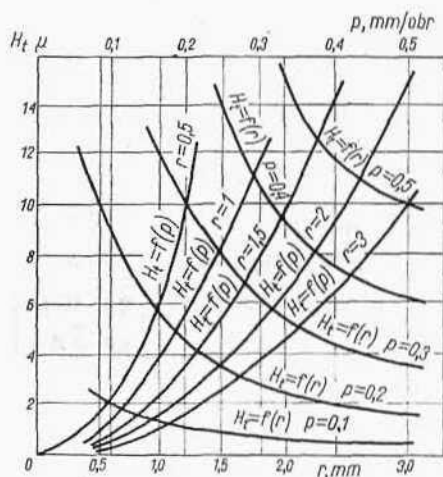
Przy obróbce wykańczającej dokładnej występuje przypadek odwzorowania łukowego, jak na rys. 0/16 i wtedy wysokość chropowatości teoretycznej można określić ze wzoru

$$R_{zt} \cong 125 \frac{p^2}{r} \mu\text{m} \quad [0.28]$$

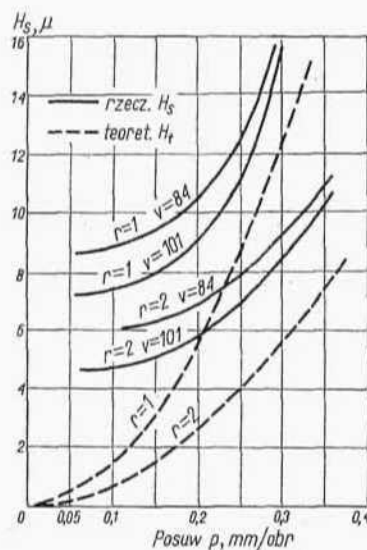
W rzeczywistości chropowatość powierzchni okazuje się zawsze większa, niż to wynikałoby z geometrycznego odwzorowania, co pokazują wykresy na rys. 0/19. Stwierdza się, że przy obróbce wykańczającej określonego materiału w $\nabla 5 \div 8$ klasie chropowatości głównymi czynnikami są: posuw, szybkość skrawania i rodzaj płynu obróbkowego.

Zjawisko występowania większej rzeczywistej chropowatości w porównaniu z teoretyczną tłumaczyć można przyczynami fizycznymi, zachodzącymi w procesie powstawania wióra, jak również wpływem tępienia się ostrza, gdyż wtedy rośnie tarcie i drgania. Materiały dające wzór kruchy, odrywany (żeliwo), łatwiej uzyskują wyższą gładkość, niż materiały ciągliwe o wiórze wstęgowym (stal miękka, alumi-

nium). Charakterystyczna dla materiałów ciągliwych (o wysokim współczynniku śpęczenia wióra) jest trudność uzyskania zadowalającej gładkości. Są to materiały „zadzierające się” przy obróbce, szczególnie przy małych szybkościach skrawania, kiedy powstają duże narosty na ostrzu, powodujące silne zadzieranie materiału na powierzchni obrabianej.



Rys. 0/18. Geometryczny wpływ posuwu p i promienia zaokrąglenia r wierzchołka noża na teoretyczną wysokość H_t chropowatości powierzchni



Rys. 0/19. Rzeczywisty wpływ promienia zaokrąglenia r wierzchołka ostrza na wielkość chropowatości rzeczywistej H_s przy różnych posuwach (H_t — teoretyczna wysokość chropowatości)

Na chropowatość powierzchni wpływają i inne czynniki, jak kąt przyłożenia α , pomocniczy kąt przystawienia κ_1 i struktura wewnętrzna materiału. Wpływ struktury materiału na gładkość powierzchni jest wynikiem jej wpływu na przebieg procesu tworzenia wióra.

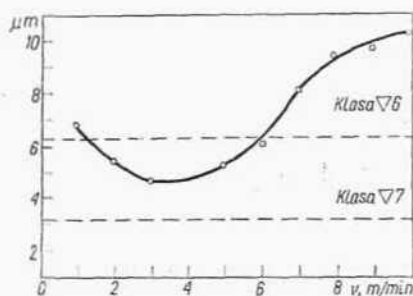
Przy dużej szybkości skrawania, jak np. przy toczeniu węglakami spiekanyimi proces powstawania wióra jest korzystniejszy dla uzyskania lepszej gładkości, niż przy małych szybkościach. W zakresie małych szybkości skrawania obserwuje się zjawisko optymalnej szybkości przy dopuszczalnej chropowatości R_z np. przy rozwiercaniu, przeciąganiu (rys. 0/20). Ale to nie znaczy, że danej klasy chropowatości nie można uzyskać przy znacznie wyższej szybkości skrawania po przekroczeniu pewnego obszaru krytycznego, jakim jest przedział $v = 6 \div 25$ m/min dla przypadku przeciągania.

Dla celów normowania czasu obróbki skrawaniem konieczne jest uchwycenie najistotniejszych czynników, które uwarunkowałyby wybór wielkości posuwu przy danej chropowatości. Tymi czynnikami są: rodzaj materiału obrabianego, szybkość skrawania v oraz w przypadku toczenia promień zaokrąglenia ostrza noża r .

Na rys. 0/21 przedstawiono roboczy nomogram radzieckiej fabryki obrabiarek im. Kirowa w Tyflisie służący do określenia wielkości posuwu, przy żądanej klasie chropowatości powierzchni. Jednakże wydaje się, że opracowanie takich nomogramów dla wszystkich rodzajów materiałów, co jest bardzo pożądane dla wieloseryj-

nej produkcji, byłoby dla średnioseryjnej produkcji zbyt kłopotliwe wskutek wielkiej liczby tablic. Ponadto trzeba dodać, że badania nad uogólnieniem tak ujętych zagadnień nie są dostateczne, by mogły dać autorytatywne i dokładniejsze normatywy na dobór warunków skrawania, od normatywów dotychczas stosowanych (tabl. 0-21) ustalonych praktycznie dla określonych klas chropowatości powierzchni.

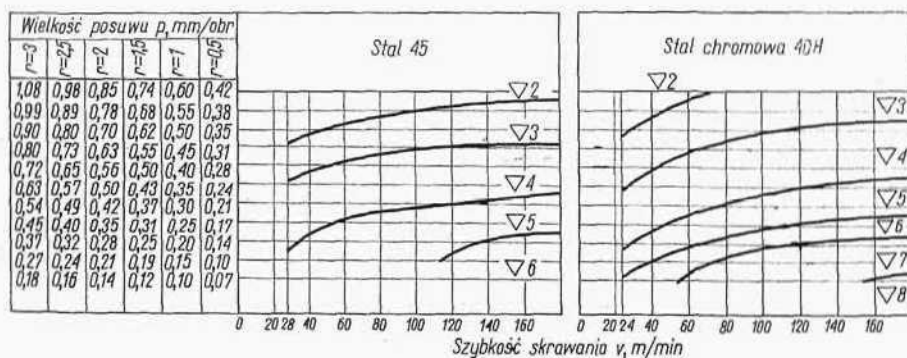
Tablica 0-21. Normatywy posuwów przy toczeniu wykonywanym stali w zależności od klas chropowatości



Rys. 0/20. Przykład wyników badania chropowatości R_z przy przeciąganiu otworów wielorowkowych z różną szybkością skrawania v w stali 15HGM z zastosowaniem oleju rzepakowego jako płynu obróbkowego (z badań Z. Pawłowskiego w Z. M. Ursus, 1965 r.)

Klasa chropowatości	Materiał ostrza	Wytrzymałość stali obrabianej R_m kG/mm ²	
		50	90
		Posuw p , mm/obr	
∇ 4	SS	0,45–0,3	0,7 –0,45
	WSp	0,55–0,4	0,8 –0,6
∇ 5	SS	0,30–0,15	0,45–0,25
	WSp	0,4 –0,3	0,6 –0,4
∇ 6	SS	0,15–0,08	0,25–0,12
	WSp	0,3 –0,2	0,4 –0,3

Uwaga. SS – stal szybko tnąca, WSp – węglaki spiekane.



Rys. 0/21. Nomogram do określania chropowatości powierzchni dla stali węglowej 45 i stali chromowej 40H przy różnych szybkościach skrawania v , promieniach zaokrąglenia r i posuwie p (norma fabryki obrabiarek im. S. M. Kirowa w Tyflisie, ZSRR z 1953 r.)

Normatywy w takim ujęciu jak w tabl. 0-21 cechuje prostota w posługiwaniu się nimi. Istnienie pewnych zakresów wartości jest rzeczą zrozumiałą, jeśli weźmie się pod uwagę, że nie są jednoznacznie określone takie parametry jak szybkość skrawania v i promień zaokrąglenia r . Wyższe wartości posuwów odpowiadać więc będą większemu promieniowi r i większym szybkościom skrawania v . Rozróżnienie materiału ostrza – stal szybko tnąca i węglaki spiekane – odpowiada po prostu „zgrubnemu” uwzględnieniu parametru szybkości v .



Zagadnienie doboru posuwów przy obróbce wykańczającej zostało omówione dla przypadku narzędzi z zaokrąglonym wierzchołkiem ostrza, a więc dla noży tokarskich. Dla innych rodzajów narzędzi nie zawsze występują podobne zjawiska. Przy frezowaniu walcowym występuje chropowatość innego rodzaju. Ale tu także dla uzyskania mniejszej chropowatości zmniejsza się posuwy. Materiały twardsze obrabia się z większymi posuwami dla uzyskania tej samej klasy chropowatości co w przypadku materiałów miękkich. Gdy weźmie się pod uwagę narzędzia o dłuższych krawędziach kalibrujących (tzn. $r = \infty$), to posuwy wykańczające będą oczywiście większe, niż przy nożach tokarskich z zaokrąglonym wierzchołkiem ostrza. Stosując nóż Kolesowa mający na miejsce zaokrąglenia r krawędź kalibrującą pewnej długości można uzyskać małą chropowatość przy posuwach rzędu $1 \div 3$ mm/obr.

Jednakże o jednym trzeba pamiętać. Narzędzia z długimi krawędziami kalibrującymi są bardziej podatne na drgania i dlatego u takich narzędzi jak rozwierarki, które właściwie nie są sztywno mocowane, dla uzyskania małych chropowatości zmniejsza się nie tylko posuwy, ale i szybkości skrawania. W celu unikania wzrostu sił wywołujących drgania, posuwy wykańczające dla materiałów twardszych są także zmniejszane.

Ujawnia się więc tu jeden z najważniejszych czynników, który przy wielu okazjach ograniczać będzie posuwy przy wykańczaniu, ze względu na zachowanie odpowiedniej chropowatości. Czynnikiem tym są drgania układu *obrabiarka — przedmiot — narzędzie*.

Zły stan maszyn, nieszytne mocowanie, niewyważenie obracających się mas, drgania przekazywane obrabiarkę z zewnątrz — oto przypadki, które wymagać będą dalszego zmniejszenia posuwów, a także szybkości skrawania w stosunku do normatywów. Ale jakie kryteria w doborze parametrów skrawania są najbardziej ważne przy różnych wymaganiach produkcji? Produkcja ilościowa jest sprzeczna z produkcją jakościową. Pogodzenie przeciwstawnych postulatów następuje często przez odpowiedni dobór materiału obrabianego, dobierając odpowiednie jego cechy skrawalności. Jeśli przyjąć trzy kryteria: trwałość ostrza, kształt wióra i chropowatość powierzchni, to gradacja ważności tych kryteriów w czterech sytuacjach produkcyjnych będzie następująca:

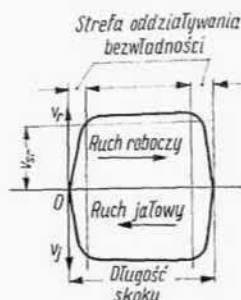
Kryterium	Warunki produkcyjne			
	zdzieranie	wykańczanie	obróbka na automatach	produkcja ilościowa
Max. trwałość ostrza	I	III	II	I
Kształt wióra	II	II	I	II
Klasa chropowatości	III	I	III	III

Tego rodzaju gradacja ważności kryteriów w obróbce skrawaniem ułatwia niewątpliwie dobór geometrii ostrza i parametrów skrawania, a także stawia wymagania co do skrawalności materiału obrabianego. Ten ostatni czynnik ma istotne znaczenie przy obróbce na wszelkiego rodzaju automatach.

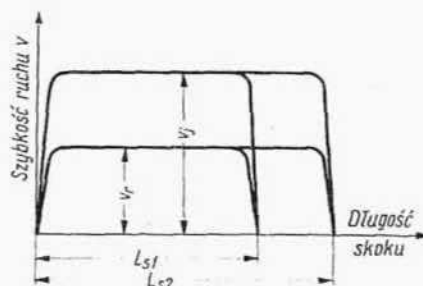
6. Dobór szybkości skrawania przy ruchach roboczych postępowo-zwrotnych

Na wszelkiego rodzaju strugarkach i dłutownicach nie ma ciągłego ruchu skrawania, jest on bowiem stale przeplatany powrotnym jałowym ruchem narzędzia. Ruch postępowo-zwrotny ma tę niedogodność, że w punktach zwrotnych występuje

działanie bezwładności mas i wskutek tego nie można uzyskać stałej szybkości ruchu na całej długości skoku (rys. 0/22). Dlatego też należałoby praktycznie operować pojęciem *średniej roboczej szybkości skrawania* v_{sr} , która jest nieco mniejsza od wartości szybkości uzyskiwanej w środkowej części długości skoku, co pokazano na rys. 0/22.



Rys. 0/22. Wykres szybkości ruchu dla dłutownicy bez przyspieszonego ruchu jałowego



Rys. 0/23. Wykres szybkości ruchu strugarek podłużnych w zależności od długości skoku (L_{s1} , L_{s2}): v_r — szybkość robocza, v_j — szybkość jałowa

Dla takich obrabiarek, jak dłutownice uniwersalne, dłutownice do kół zębatych i strugarki do kół zębatych stożkowych, gdzie ruch powrotny na ogół przebiega podobnie jak ruch roboczy, tzn. jak na wykresie rys. 0/22, wygodniej jest operować pojęciem *średniej szybkości podwójnego skoku* v_s , która nie różni się od średniej szybkości roboczej v_{sr} . Te średnie szybkości oblicza się ze wzorów

$$v_{sr} = \frac{L_s}{1000 t_{sr}} \quad [0.29]$$

$$v_s = \frac{2L_s}{1000 t_{sp}} = \frac{2L_s n_s}{1000} \quad [0.30]$$

gdzie: L_s — długość skoku, t_{sr} — czas trwania skoku roboczego w minutach, t_{sp} — czas trwania podwójnego skoku roboczego w minutach, n_s — liczba podwójnych skoków na minutę.

Ponieważ badania nad określeniem normatywów szybkości skrawania są prowadzone na tych rodzajach obrabiarek, więc i tam wyniki pomiarów szybkości dotyczą szybkości średnich v_s . W ten sposób dla wymienionych obrabiarek, gdzie ruchy robocze i jałowe przebiegają jednakowo, normatywy szybkości skrawania v dotyczą średniej szybkości skoku podwójnego v_s .

Nasuwa się zaraz pytanie, jak kształtuje się średnia szybkość v_s dla noża tokarskiego i noża dłutowniczego. Otóż nóż dłutowniczy pracuje z cyklicznymi uderzeniami, a konstrukcja jego ostrza nie sprzyja szybkiemu odprowadzaniu ciepła i w rezultacie szybkości skrawania zmniejszają się do ok. 50% w stosunku do wartości stosowanych przy toczeniu.

Dla strugarek podłużnych i poprzecznych sprawa powiązania szybkości skrawania ze średnią szybkością v_s nie jest jednak taka prosta, nie można napisać, że $v_{sr} = v_s$. Na rys. 0/23 pokazano wykres szybkości ruchu dla strugarki podłużnej, a na rys. 0/24 — dla strugarki poprzecznej. Przy tych obrabiarkach, gdzie długości skoku są duże, dla zmniejszenia strat czasu na ruch powrotny szybkości jałowe v_j są znacznie zwiększane w stosunku do szybkości roboczych v_r . Napęd jarzmowy

strugarek poprzecznych tego rodzaju jak na rys. 0/24 daje najbardziej niekorzystny rozkład szybkości, natomiast napędy zębatkowe i śrubowe stołu strugarek podłużnych, czy też hydrauliczne, dają bardziej stałą szybkość roboczą, co pokazano na rys. 0/23. Posługując się pojęciami średnich szybkości ruchu roboczego v_{sr} i jałowego v_{sj} , można dla każdej strugarki wyznaczyć charakterystyczny wskaźnik

$$m = \frac{v_{sj}}{v_{sr}} \quad [0.31]$$

Przez analogię do wzoru [0.29] można dla ruchu jałowego napisać

$$v_{sr} = \frac{L_s}{1000 t_{sj}} \quad [0.32]$$

gdzie t_{sj} — czas trwania skoku jałowego w minutach.

W ten sposób mierząc czasy t_{sr} i t_{sj} dla większej ilości skoków można praktycznie wyznaczyć wartość tego wskaźnika m dla różnych wielkości skoków. Dla strugarek poprzecznych wypada ogólnie wskaźnik $m = 1,5 \div 2$, a dla strugarek podłużnych $m = 1,5 \div 2,5$ czasem nawet poniżej 1,5. Im niższy jest wskaźnik m , tym jest więcej strat czasu na ruchy jałowe.

Dla ruchu na długości podwójnego skoku $2L_s$ można ułożyć równanie

$$\frac{2}{v_s} = \frac{1}{v_{sr}} + \frac{1}{v_{sj}} = \frac{1}{v_{sr}} + \frac{1}{mv_{sr}} = \frac{m+1}{v_{sr} m}$$

i stąd średnia szybkość v_s wyniesie

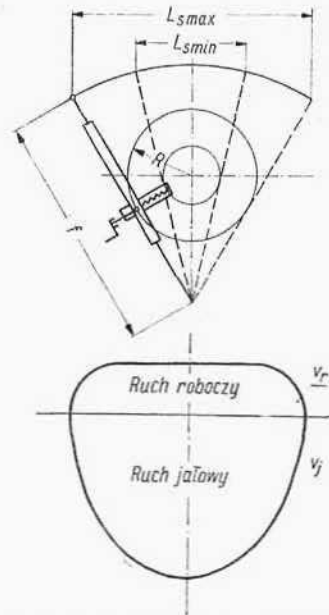
$$v_s = v_{sr} \frac{2m}{m+1} \quad [0.33]$$

Z analizy wzoru wynika, że szybkość średnia v_s jest większa od szybkości roboczej v_{sr} , w związku z tym nie należy utożsamiać normatywów szybkości skrawania v z szybkością średnią v_s , gdyż powoduje to obniżenie wydajności.

Wypływa stąd wniosek, że dla strugarek podłużnych i poprzecznych, gdzie ruch powrotny jest przyspieszony, należy normatywy skrawania v odnieść jedynie do średniej szybkości roboczej v_{sr} . Nieuwzględnienie tego powoduje obniżenie wydajności skrawania o 20 ÷ 33%. Uderzeniowy charakter pracy narzędzi strugarskich powoduje konieczność obniżenia normatywów szybkości skrawania o 20 ÷ 25% w stosunku do noży tokarskich. Dla małych skoków L_s , poniżej 100 mm, szybkości v_{sr} podwyższa się o 10 ÷ 20% ze względu na niewspółmiernie duży wskaźnik m . Trzeba bowiem zaznaczyć, że wskaźnik m nie jest stały dla danej strugarki, że wzrasta w miarę zmniejszania skoku L_s .

7. Uwzględnianie charakterystyki obrabiarki

Warunki skrawania dobrane wg tablic normatywów powinny być skonfrontowane z możliwościami obrabiarki, na której ma być wykonana normowana operacja. Zasadniczymi parametrami podlegającymi temu sprawdzeniu są: prędkości obrotowe i skokowe, posuwy i moc skrawania.



Rys. 0/24. Schemat mechanizmu jarzmowego w strugarce poprzecznej i odpowiadający mu wykres szybkości ruchu. Wielkość skoku L_s zależy od promienia R

Prędkości obrotowe n , czy skokowe n_s , ustala się w zależności od przyjętych odpowiednich wielkości szybkości skrawania v . W większości konstrukcji obrabiarek nie ma ciągłej regulacji prędkości obrotowej, a jedynie pewne ich stopniowanie, a poza tym istniejące prędkości obrotowe mają tylko pewien zakres. Podobnie jak ze stopniowaniem posuwów. Należy więc wyjaśnić, jak dalece wymaga się dostosowywania obliczeń normy pracy do konkretnej charakterystyki obrabiarki. U wielu bowiem pracowników technicznych i naukowych panuje pogląd, że normy pracy można określać jedynie na podstawie pełnej charakterystyki obrabiarki. Sprawą rozstrzygającą jest wielkość produkcji i znajomość umiejscowienia operacji, jeśli chodzi o obrabiarkę mającą ją wykonywać.

W warunkach produkcji jednostkowej, małoseryjnej i średnioseryjnej na ogół nie ma stałego umiejscowienia większości operacji. Ta sama operacja w poszczególnych seriach może być wykonana na coraz innej obrabiarce tego samego rodzaju, ale o innej charakterystyce. Oczywiście jeżeli pewien rodzaj operacji może być wykonywany na jednej konkretnej obrabiarce, ze zrozumiałych względów niewłaściwe byłoby nieuwzględnienie jej charakterystyki. Wymienione wielkości produkcji charakteryzują się ponadto tym, że dokładność określenia norm pracy jest w nich mniejsza niż przy produkcji wielkoseryjnej i masowej.

W takim razie dla produkcji od jednostkowej do średnioseryjnej istotne byłoby jedynie sprawdzenie, czy parametry obróbki (n , p i N_e) mieszczą się w zakresie możliwości danego typu i wielkości obrabiarki. Na ogół przecież dla każdego typu i wielkości obrabiarki istnieje przeciętny zakres prędkości obrotowych n i posuwów p oraz osiągalna moc efektywna skrawania N_e .

Wiadomo np., że polskie frezarki wspornikowe dzielą się na normalnobieżne i szybkobieżne. Różnica między nimi polega na zakresie prędkości obrotowych. Normalnobieżne frezarki mają zakres prędkości obrotowej n od $20 \div 30$ do $400 \div 700$ obr/min, a szybkobieżne od $20 \div 60$ do $1300 \div 1800$ obr/min. Normalna wiertarka kadłubowa nie ma na ogół większej prędkości obrotowej niż $1200 \div 1500$, za to wiertarki stołowe nie mają mniejszej prędkości obrotowej niż 200 itp. Podobnie można operować pojęciem normalnego zakresu posuwów.

Wydać się więc, że dla produkcji o nie ustabilizowanym umiejscowieniu poszczególnych operacji na obrabiarkach o różnych charakterystykach oraz przy braku szczegółów charakterystyk obrabiarek można przyjąć metodę określania norm pracy w oparciu o obliczeniowe parametry obróbki, jednakże pod warunkiem kontrolowania prawdopodobieństwa ich mieszczania się w możliwościach wytypowanego rodzaju i wielkości obrabiarki.

Podobna uwaga dotyczy również kontrolowania mocy obrabiarki.

Natomiast dla produkcji wielkoseryjnej i masowej, w przypadkach gdy są dokładnie znane obrabiarki, które będą wykonywały dane rodzaje operacji, konieczne jest przy obliczaniu normy pracy uwzględnienie pełnej charakterystyki tych obrabiarek. Ale wtedy powstaje nowe zagadnienie: które z sąsiadujących stopni prędkości obrotowych czy posuwów należy przyjąć ostatecznie do obliczeń.

Ogólnie stosuje się zasadę wyboru najbliższej sąsiadującej wartości z charakterystyki. A więc np. gdy z obliczenia wypadło $n = 430$ obr/min, a sąsiadujące prędkości obrotowe obrabiarki były 355 i 500, to ponieważ $n = 430$ była bliższa liczbie 500 niż 355, więc przyjęto prędkość obrotową $n = 500$ obr/min. Błąd czasu głównego wynosiłby wówczas -16% . Gdyby natomiast teoretyczna prędkość obrotowa była $n = 425$, to przyjęcie należałoby $n = 355$. Wtedy błąd czasu głównego byłby równy $+16,5\%$. Okazuje się więc, że fakt istnienia pewnych stopni prędkości obrotowych powoduje powstanie pewnych błędów w obliczeniach czasu głównego.

Błędy te zależą od wielkości stopniowania kolejnych wartości prędkości obrotowych φ czy posuwów q . Na ogół prędkości obrotowe są stopniowane wg postępu geometrycznego o stałym ilorazie φ , natomiast posuwy częściej są uszeregowane wg postępu arytmetycznego. Błąd w wyznaczaniu czasu głównego operacji można oszacować przybliżonym wzorem

$$e_0 = \pm \frac{1,16}{\sqrt{k}} \sqrt{\left(\frac{\varphi-1}{\varphi+1}\right)^2 + \left(\frac{q-1}{q+1}\right)^2} \quad [0.34]$$

gdzie: φ — iloraz w stopniowaniu prędkości obrotowych (na ogół stały dla obrabiarki), q — iloraz w stopniowaniu posuwów (zmienny dla różnych zakresów posuwów), k — ilość podstawowych zabiegów obróbkowych w operacji.

Wzór [0.34] został wyprowadzony na podstawie teorii błędów na poziomie ufności ok. 95% przy założeniu, że prawdopodobieństwo znalezienia się obliczeniowych wartości n i p w przedziale między sąsiadującymi stopniami prędkości obrotowych n czy posuwów p jest jednakowe w całym tym przedziale.

Przykład. Na obrabiarce stopniowanie prędkości obrotowych następuje wg ilorazu $\varphi = 1,25$, natomiast stopniowanie posuwów w danym zakresie — średnio $q = 1,5$. W operacji występuje $k = 4$ podstawowych zabiegów, decydujących o czasie głównym operacji. Błąd w oszacowaniu czasu głównego wskutek nieuwzględnienia charakterystyki danej obrabiarki będzie w myśl wzoru [0.34] wynosił

$$e_0 = \pm \frac{1,16}{\sqrt{4}} \sqrt{\left(\frac{1,25-1}{1,25+1}\right)^2 + \left(\frac{1,5-1}{1,5+1}\right)^2} = \pm 0,13$$

Oczywiście nasuwa się pytanie, czy tak wielki błąd jest tzn. $\pm 13\%$ dopuszczalny w normowaniu pracy. Dopuszczalny błąd w oszacowaniu czasu głównego $(e_0)_{dop}$ można określać wg wzoru

$$(e_0)_{dop} = \frac{e}{\sqrt{u_g}} \quad [0.35]$$

gdzie: e — dokładność wyznaczania norm czasu operacji przyjęta w danym typie produkcji u_g — udział czasu głównego t_g w całkowitym czasie wykonania operacji t_w .

Otóż w produkcji średnioseryjnej dokładność wyznaczania norm czasu operacji powinna być na poziomie $e = \pm 0,10 \div 0,15$. Jeśli założyć, że udział czasu głównego t_g w całkowitym czasie wykonania operacji t_w wynosi ok. 60%, tj. $u_g = 0,60$, to dopuszczalny błąd w oszacowaniu czasu głównego e_0 może wynosić ok. $\pm(0,13 \div 0,20)$ tj. $\pm(13 \div 20)\%$. A zatem w rozpatrywanym przykładzie zachowano założone warunki dokładności normowania.

Przy okazji należy zwrócić uwagę na fakt, że stopniowanie prędkości obrotowych wg ilorazu φ powoduje zawyżenie lub zaniżenie szybkości skrawania o wielkość

$$e_s = \pm \frac{\varphi-1}{\varphi+1} \quad [0.36]$$

A zatem przy $\varphi = 1,25$ musimy się liczyć z różnicami w doborze szybkości skrawania rzędu $e_s = \pm 0,11$ (tj. $\pm 11\%$). Na ten fakt trzeba zwrócić uwagę, aby ustrzec się od zbyt drobiazgowego analizowania w ustalaniu szybkości skrawania.

Przy obliczaniu norm czasu operacji powstaje jeszcze niekiedy problem zmiany warunków skrawania w sąsiadujących zabiegach o mało różniące się liczbie ob-

rotów czy wielkości posuwów. Otóż kierować się tutaj należy głównie zasadą opłacalności czasu. Czas zmiany prędkości obrotowej czy wielkości posuwów wynosi $0,06 \div 0,10$ minuty. Zatem wtedy wskazane jest zmieniać n czy p , kiedy ta zmiana da zysk na czasie większy od czasu trwania samej zmiany. Przy obliczeniach normy bez posługiwania się charakterystyką obrabiarki ta zasada również powinna mieć zastosowanie. Wtedy projektowane czynności pomocnicze zmian warunków obróbki będą zgodne z rzeczywistą potrzebą.

III. Optymalizacja parametrów skrawania przy specyficznych warunkach obróbki

1. Dobór parametrów skrawania przy zmiennych warunkach obróbki

W obróbce przedmiotów skrawaniem występują przypadki, kiedy to w czasie trwania tej obróbki zachodzą systematycznie ciągle lub skokowe zmiany w warunkach przebiegu procesu skrawania. Zmiany te mogą wynikać na skutek zmian w wymiarach, kształtach i kierunkach obróbki. Zmieniać się może przekrój warstwy skrawanej (np. przy cięciu piłą tarczową prętów profilowych), szybkość skrawania (np. przy toczeniu poprzecznym) czy też posuw rzeczywisty (np. przy toczeniu kopiowym przedmiotów kształtowych). W dążeniu do polepszenia warunków eksploatacji obrabiarek konieczne jest uwzględnienie tych okoliczności czy to przez urządzenie do automatycznej zmiany parametrów skrawania (np. przez hydrauliczny posuw ustawiony na określoną siłę skrawania) czy też przez odpowiedni dobór wyjściowych stałych parametrów skrawania.

Osobnym zagadnieniem nie omawianym w tym punkcie jest sterowanie adaptacyjne parametrów skrawania w obrabiarkach sterowanych programowo. Automatyczna zmiana w czasie obróbki jednego lub kilku parametrów następuje w wyniku zakłóceń w przebiegu procesu skrawania na skutek zużywania się ostrza narzędzia, zmian charakteru wióra, tworzenia się narostu na powierzchni natarcia czy też powstawania drgań.

Tym niemniej zarówno przy systematycznych zmianach jak i przy sterowaniu adaptacyjnym konieczne jest wybranie kryteriów, wg których kierować się będziemy w optymalizacji parametrów skrawania w czasie obróbki. Oto możliwe kryteria optymalizacji warunków obróbki:

a) zachowanie stałego momentu skracającego na wrzecionie np. przy głębokim wierceniu, gdzie regulacji podlega minutowy posuw narzędzia,

b) zachowanie stałej siły skrawania P_z przy zmieniającej się głębokości skrawania g i posuwie p , a niezmiennych obrotach n , dla lepszego wyzyskania mocy obrabiarki, np. przy toczeniu kopiowym, gdzie wg stałej mocy skrawania zmienia się posuw i głębokość skrawania,

c) zachowanie stałej szybkości skrawania v przy zmieniającej się średnicy obróbki D , a stałym posuwie p , np. przy specjalnych przecinarkach do prętów i tokarkach do stożków.

d) zachowanie stałej szybkości skrawania v przy zmieniającej się średnicy obróbki D oraz przy posuwie p dostosowującym się do zmian głębokości skrawania g czy zmian średnicy D ; ten przypadek przedstawia jak dotąd raczej możliwość teoretyczną.

Przy zmieniających się warunkach obróbki zazwyczaj automatycznej zmianie podlega prędkość obrotowa n albo posuw p .