

Na przykład dla noża 10×10 ze stali szybko tnącej $T_z = 45$ min (tabl. 0-5), a więc współczynnik $K_{Tv} = 1,15$ (tabl. 0-4), a z tabl. 0-6 dla przekroju 10×10 w przypadku obróbki stali $K_f = 0,87$

$$v_1 = v_z K_{Tv} K_f = v_z \cdot 1,15 \cdot 0,87 = v_z$$

Obydwa współczynniki nawzajem się zniosły. Podobne postępowanie przeprowadzone dla noża o przekroju 40×63 daje

$$v_1 = v_z \cdot 0,94 \cdot 1,12 = 1,05 v_z$$

Z przeprowadzonych końcowych przeliczeń wynika wniosek mający duże znaczenie praktyczne: dla celów technicznego normowania pracy można w przypadku noży tokarskich ze stali szybko tnącej przy doborze szybkości skrawania pominąć współczynniki poprawkowe, wynikające z wielkości noża.

Tablica 0-6. Współczynniki poprawkowe K_f uwzględniające wpływ przekroju trzonka noża o ostrzu ze stali szybko tnącej na okresową szybkość skrawania

Materiał obrabiany	Przekrój trzonka noża, mm					
	10 × 10	20 × 32	25 × 40	32 × 50	40 × 63	50 × 80
	Wartość współczynnika poprawkowego K_f					
Stal	0,87	1,0	1,04	1,08	1,12	1,19
Żeliwo	0,93	1,0	1,02	1,04	1,06	1,09

Powstaje pytanie, czy ten wniosek dotyczy także innych rodzajów narzędzi. Wydaje się, że warunki technicznego normowania pracy w obróbce skrawaniem pozwalają na przyjęcie takiego uproszczenia, tym bardziej że przeciwnie działające wpływy obu czynników są technicznie uzasadnione.

W każdym razie większe zakłady produkcyjne przy opracowywaniu zakładowych normatywów technologicznych dla obróbki skrawaniem powinny zdobyć się nie tylko na adaptację wykorzystywanych normatywów źródłowych, ale i na sprawdzenie, czy w ich warunkach produkcyjnych i przy istniejącej organizacji gospodarki narzędziowej nie zachodzi jednak potrzeba skorygowania zalecanych okresów trwałości dla podstawowych rodzajów narzędzi. Przy okazji weryfikacji zalecanych szybkości skrawania można też ewentualnie skorygować wartości wykładnika potęgowego s , który — jak wskazuje na to wzór [0.9] — ma istotne znaczenie dla wielkości trwałości ekonomicznej. Jest to szczególnie aktualne przy wprowadzaniu nowych gatunków narzędziowych i lepszych jakościowo płynów chłodząco-smarujących.

2. Dobór szybkości skrawania przy różnych warunkach obróbki

Okresowa szybkość skrawania dla danego rodzaju narzędzia v_T zależy od wielu czynników i ogólnie zależność taką ujmuje się dla przypadku noża tokarskiego wzorem

$$v_T = \frac{C_v}{g^{e_v} p^{u_v}} K_M K_S K_p K_N K_K K_r K_x K_{x_1} \quad [0.12]$$

gdzie: C_v — wielkość stała zależna od materiału wzorcowego i rodzaju noża, e_v i u_v — wykładniki potęg zależne od rodzaju toczenia i od wielkości posuwu p , $K_M \div K_{x_1}$ — różne współczynniki poprawkowe uwzględniające wpływy materiału obrabianego, geometrii i materiału ostrza skrawającego.



Wzór [0.12] jest zbyt kłopotliwy w stosowaniu i dlatego konieczne są w nim pewne uproszczenia.

Przeanalizujmy teraz wspomniany wzór. Wielkości głębokości skrawania g i posuwu p znajdują się w mianowniku, gdyż zwiększanie przekroju warstwy skrawanej $f = gp$ wywołuje zmniejszanie okresowej szybkości v_T . Wpływy głębokości i posuwu są jednak niejednakowe i dlatego wykładniki potęg e_g i u_p są różne. W tabl. 0-7 podano wartości stałej C_v i wykładników dla niektórych noży tokarskich.

Po przeanalizowaniu wartości wykładników e_g i u_p ze wzoru wynika, że mały wykładnik świadczy o mniejszej „wrażliwości” szybkości na zmiany danego parametru obróbki (g lub p). Okazuje się więc, że zmiany głębokości skrawania g mniej wpływają na wielkość szybkości v_T niż zmiany posuwu p . Znaczy to praktycznie, że należy skrawać możliwie przy największej głębokości skrawania.

Aby to udowodnić, wystarczy obliczyć czasy obróbki żeliwa o twardości $HB = 150 \text{ kG/mm}^2$ przy zdzieraniu nożem tokarskim naddatku materiałowego 6 mm na średnicy 63 mm i na długości 100 mm w dwóch wariantach:

- 1) toczenie w jednym przejściu, $g = 6 \text{ mm}$, $p = 0,4 \text{ mm/obr}$
- 2) toczenie w dwóch przejściach, $g = 3 \text{ mm}$, $p = 0,8 \text{ mm/obr}$.

Obliczanie wg wzoru [0.12] (bez uwzględnienia współczynników poprawkowych) przy wykorzystaniu wskaźników z tabl. 0-7 jest kłopotliwe i źle jest, gdy obliczający normę pracy musi takie obliczenia przeprowadzać. Tego rodzaju gotowe przeliczenia powinny być zawarte w normatywach warunków skrawania w takiej postaci, jak np. w tabl. 0-8. Z tablicy tej wynika, że dla

$$\begin{array}{lll} p = 6 \text{ mm} & p = 0,4 \text{ mm/obr} & v_z = 102 \text{ m/min} \\ p = 3 \text{ mm} & p = 0,8 \text{ mm/obr} & v_z = 91,5 \text{ m/min} \end{array}$$

Przy średnicy $D = 63 \text{ mm}$ wypadają odpowiednio prędkości obrotowe: $n = 520 \text{ obr/min}$ i $n = 460 \text{ obr/min}$. W takim razie czas główny t_g obróbki przy toczeniu z jednym przejściem będzie wynosił wg wzoru [0.1]

$$t_g = \frac{100}{520 \cdot 0,4} = 0,48 \text{ min}$$

a przy toczeniu z dwoma przejściami

$$t_g = \frac{100 \cdot 2}{460 \cdot 0,8} = 0,54 \text{ min}$$

Okazuje się więc, że skrawanie na maksymalną głębokość jest ekonomiczniejsze. Zasada ta dotyczy wszystkich rodzajów obróbki.

Należy teraz wyjaśnić sprawę stałej materiałowej C_v i współczynnika materiałowego K_M . Czy dla każdego materiału sporządzić oddzielną tablicę typu tablicy 0-8? Na przykład dla żeliwa szarego trzeba by było przygotować co najmniej 7 tablic dla gatunków od twardości $HB = 120 \text{ kG/mm}^2$ do $HB = 260 \text{ kG/mm}^2$.

W tych warunkach celowe jest tworzenie normatywów dla materiałów wzorcowych, a wszelkie odmiany gatunkowe uwzględniać współczynnikami K_M . Zwykle materiałami wzorcowymi są: stal węglowa o $R_m = 75 \text{ kG/mm}^2$ ¹⁾, żeliwo szare o $HB = 190 \text{ kG/mm}^2$, żeliwo ciągliwe o $HB = 150 \text{ kG/mm}^2$ i brąz o średniej twardości $HB = 100 \div 140 \text{ kG/mm}^2$. Stopy aluminiowe porównuje się ze stałą o $R_m = 75 \text{ kG/mm}^2$ stosując $K_M = 4 \div 6$.

¹⁾ Autor uważa, że należałoby przyjąć stal węglową o $R_m = 65 \text{ kG/mm}^2$ jako najczęściej stosowaną w naszym przemyśle, tak zostało przyjęte w niniejszym opracowaniu dla podstawowych rodzajów obróbki.

Tablica 0-7. Wartości stałej materiałowej C_v i wykładników e_v i u_v dla noży tokarskich wg IOS

Materiał ostrza	Wzorcowy materiał obrabiany kG/mm^2	Rodzaj toczenia	T_z min	Warunki chłodzenia	Rodzaj stałej		
					C_v	e_v	u_v
					Wartość		
Stal szybko- tnąca SW18	stal węglowa $R_m = 75$	zewnątrzne podłużne	60	z chłodzeniem	32,0	0,25	0,54
		przecinanie	120	"	6,8	—	0,66
		kształtowe	120	"	5,4	—	0,50
	żeliwo szare $HB = 150$	zewnątrzne podłużne	60	bez chłodzenia	34,1	0,15	0,35
		przecinanie	120	"	14,8	—	0,40
Węglik spiekane S10	stal węglowa $R_m = 75$	zewnątrzne podłużne	90	"	90,0	0,18	0,30
Węglik spiekane H20	żeliwo szare $HB = 150$	zewnątrzne podłużne	90	"	91,5	0,18	0,35

Tablica 0-8. Przykład tabelarycznych normatywów szybkości skrawania przy toczeniu żeliwa szarego $HB = 150 \text{ kG/mm}^2$ (bez skorupy odlewniczej) nożem zdzierakiem bezścinowym z płytką gatunku H20 (kąt $\kappa = 45^\circ$)

Posuw p mm/obr	Rodzaj normatywu	Głębokość skrawania g , mm						
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0
		Wartości: siły skrawania P_z , kG; szybkości v , m/min, moc N_e , kW						
0,2	P_z	14	28	56	83	—	—	—
	v_{90}	178	157	132	129	—	—	—
	N_e	0,54	0,92	1,67	2,35	—	—	—
0,4	P_z	—	46	93	138	184	277	460
	v_{90}	—	141	124	117	111	102	93
	N_e	—	1,41	2,52	3,54	4,41	6,2	9,3
0,8	P_z	—	—	—	234	310	465	780
	v_{90}	—	—	—	91,5	86,5	81,0	73,8
	N_e	—	—	—	4,7	5,8	8,35	12,4
1,5	P_z	—	—	—	—	495	750	1240
	v_{90}	—	—	—	—	69,2	65,2	58,5
	N_e	—	—	—	—	7,5	10,5	15,9

Współczynniki materiałowe K_M muszą być zawsze uwzględniane, gdyż wartości ich wahają się w dużych granicach od 0,30 do 6,0.

Uwzględnianie stanu materiału obrabianego ma praktycznie duże znaczenie. Właśnie na stan materiału i jego jakość narzekają warsztaty, nie mogąc utrzymać normatywnych szybkości skrawania. Tabl. 0-9 daje współczynniki poprawkowe K_s i K_p w zależności od stanu wewnętrznego i powierzchni materiału. Wydaje się, że tablica ta została zbudowana zbyt szczegółowo i dla celów technicznego normowania w warunkach normalnej produkcji średnioseryjnej wystarczy pamiętać, że:

a) dla stali ulepszonej cieplnie szybkość skrawania zmniejsza się o 20%, tj. $K_s = 0,8$

b) dla odlewów stalowych bez skorupy $K_p = 0,9$

c) dla odlewów i odkuwek ze skorupą kuzienną czy odlewniczą $K_p = 0,75 \div 0,8$

Tablica 0-9. Wartości współczynników poprawkowych K_s i K_p zależnych od stanu wewnętrznego i powierzchni materiału obrabianego

Stan wewnętrzny stali								
Walcowana			Obrabiana cieplnie					
na zimno ciągniona		na gorąco	normalizowana	odpuszczana		ulepszana		
Wartości współczynnika K_s								
1,1		1,0	0,95	0,9		0,8		
Stan powierzchni obrabianej								
bez skorupy			ze skorupą					
stal		żeliwo	Twar- dość HB	stal			żeliwo	stopy miedzi
kuta	lana			gorąco walcowa- wana	odkuwka	odlew	odlew	odlew
Wartości współczynnika K_p								
1,0	0,9	1,0	<160	0,9	0,75	0,75	0,7	0,9
			160-200		0,80	0,80	0,75	0,9
			>200		0,85	0,85	0,80	0,95
przy odlewach stalowych i żeliwnych z wtrąceniami piaskowymi $K_p = 0,5-0,6$								

Materiały ostrzy narzędzi mogą być różnych gatunków i podobnie jak przy materiałach obrabianych przyjmuje się pewne gatunki wzorcowe. Tymi wzorcowymi materiałami są: stal szybko tnąca SW 18 oraz węgliki spiekane S10 i H20. Inne odmiany gatunków najchętniej uwzględnia się odpowiednimi współczynnikami poprawkowymi K_N . Jest to jednak na tle rozwoju wielu nowych materiałów narzędziowych zbyt upraszczanie sprawy.

Nowe gatunki węglików spiekanych bardziej odpornych na zużycie, np. H03, H05, wytrzymalszych np. S40, H30, odpornych na duże zmiany temperatury skrawania jak np. S25, czy wreszcie tzw. gatunki uniwersalne U10 i U20 nie dają się załatwiać jedynie współczynnikami poprawkowymi do wzorcowych szybkości skrawania. Niestety nie dysponujemy odpowiednimi tablicami parametrów skrawania dla tych gatunków, a jedynie polską normą PN-69/H-89500, podającą właściwości i zastosowania.

W tabl. 0-10 zestawiono wytyczne zastosowań podstawowych gatunków węglików spiekanych w obróbce skrawaniem. Wprowadzenie międzynarodowego sy-

Tablica 0-10. Zastosowanie podstawowych gatunków węglików spiekanych w obróbce skrawaniem

Oznaczenie gatunku		Materiał obrabiany	Rodzaj i warunki obróbki
wg PN	wg ISO		
S03	P01	stal, staliwo	obróbka wykańczająca przy małych przekrojach warstwy skrawanej, a dużych szybkościach skrawania; skrawanie ciągle wolne od drgań; wysoka trwałość ścierna ostrza
S10	P10	stal, staliwo	obróbka wykańczająca i zgrubna przy średnich posuwach, a dużych szybkościach; przydatny do toczenia kopiowego i toczenia gwintów oraz obróbki przerywanej przy ujemnym kącie natarcia; wymagana dobra sztywność układu obrabiarka-przedmiot-narzędzie, obróbka bez chłodzenia
S20	P20	stal, staliwo, żeliwo ciągliwe	obróbka półwykańczająca i zgrubna przy średnich posuwach i szybkościach skrawania w warunkach średniej sztywności układu obrabiarka-przedmiot-narzędzie; większa odporność na zmienne obciążenie ostrza, nadaje się do strugania, oraz do obróbki na kopiarkach i automatach w warunkach stosowania chłodziwa
S25	P25	stal, staliwo	obróbka półwykańczająca i zgrubna przy średnich posuwach i szybkościach skrawania w warunkach dużych zmian temperatury np. przy skrawaniu wiórem odpryskowym, przy toczeniu kopiowym zgrubnym, przy stosowaniu chłodziwa na automatach
S30	P30	stal, staliwo z zanieczyszczeniami	obróbka półwykańczająca i zgrubna przy dużych posuwach, a małych szybkościach skrawania w trudnych warunkach skrawania np. wskutek małej sztywności układu obrabiarka-przedmiot-narzędzie; przy dużych zanieczyszczeniach w obrabianym materiale; przydatny do strugania i dłutowania przy małych szybkościach skrawania
S40	P40	stal, staliwo z jamami skurczowymi i zapiaszczeniami, stale o skłonnościach do tworzenia narostów na ostrzu, stal nie-rdzenna i żaroodporna	obróbka dużymi przekrojami warstwy skrawanej przy niskich szybkościach skrawania w bardzo niekorzystnych warunkach obróbki: znaczne różnice w twardości materiału obrabianego, wiór przerywany, drgania w układzie obrabiarka-przedmiot-narzędzie

Tablica 0-10 (cd.)

Oznaczenie gatunku		Materiał obrabiany	Rodzaj i warunki obróbki
wg PN	wg ISO		
U10	M10	stal, staliwo, stal manganowa, stal nierdzewna, stal żaroodporna, stal hartowana, żeliwo szare, metale nieżelazne	obróbka wykańczająca i półwykańczająca przy małych i średnich przekrojach warstwy skrawanej, oraz przy średnich szybkościach skrawania w warunkach zachowania sztywności obrabiarka-przedmiot-narzędzie; wysoka odporność ostrza na pęknięcia umożliwia obróbkę stali z miejscowymi utwardzeniami czy szwami spawalniczymi
H05	K01	żeliwo szare o dużej twardości, żeliwo białe, stal hartowana, stopy Al z dużą zawartością krzemu, papier prasowany, tworzywa sztuczne	obróbka wykańczająca (toczenie, wytaczanie, skrobanie), duża odporność na ścieranie
H10	K10	żeliwo o dużej twardości $HB = 400 \text{ kG/mm}^2$, żeliwo ciągliwe, żeliwo utwardzone, stal stopowa austenityczna, stopy Al i Al-Si, guma twarda, marmur	obróbka wykańczająca przy wymaganej dużej ostrości (trwałości skrawnej) krawędzi ostrza jak np. przy przeciąganiu, rozwiercaniu, skrobaniu; także do toczenia, wiercenia, frezowania ze średnimi posuwami i szybkościami
H20	K20	żeliwo szare średniej twardości $HB \approx 220 \text{ kG/mm}^2$, stopy Cu, stopy Al, tworzywa sztuczne	obróbka zgrubna i wykańczająca w trudnych warunkach, przy pracy z uderzeniami (struganie)
Uwaga: norma polska PN-69/H-89500 przewiduje także gatunki S50, U20, H03, H30, H40 ze wskazaniem zastosowań.			

stemu oznaczeń wg ISO umożliwia klasyfikowanie gatunków węglików spiekanych z różnych krajów pod względem zastosowań, jednakże jeśli chodzi o identyfikowanie poziomu zależności skrawanych np. w doborze szybkości skrawania, to w tym zakresie trzeba zachować ostrożność. Faktem jest, że wprowadzenie węglików tantalowych do gatunków grupy S przyczyniło się do poprawy jakości tych gatunków bardziej niż to wynikałoby z przynależności do odpowiedniej grupy zastosowań wg ISO; zachodnioniemieckie TT10–TT30 (tj. wg ISO: P10÷P30) zachowują trwałość większą względem odpowiednich gatunków S10-S30 bez dodatku tantalum. Największa różnica w trwałości rzędu 80% zachodzi w porównywaniu gatunków TT30 i S30. Nasz nowy gatunek S25 zawiera właśnie także węgliki tantalum. Poza tym poszczególne gatunki zachowują swoje optymalne własności przy różnych zakresach szybkości skrawania tak np. S10 przy $v = 60 \div 300 \text{ m/min}$, natomiast

S30 w przedziale $v = 25 \div 150$ m/min; różne też są zakresy zalecanych posuwów: dla S10 $p = 0,05 \div 1,0$ mm/obr., a dla S30 $p = 0,2 \div 2,0$ mm/obr.

Jednakże póki nie zostaną opracowane źródłowe normatywy technologiczne na zastosowanie poszczególnych gatunków węglików spiekanych, dla celów orientacyjnych można przyjąć następujące współczynniki poprawkowe:

Gatunek węglik	S03	<u>S10</u>	S20	S25	S30	S40	U10	H05	H10	<u>H20</u>	H30	U20
K_N	1,10	1,0	0,75	0,80	0,60	0,45	0,5	1,15	1,10	1,0	0,8	0,80

(gatunki jako wzorce odniesienia są podkreślone).

Pamiętać jednak trzeba o zakresie zastosowań poszczególnych gatunków węglików spiekanych i o tym, że im wyższa jest skrawność materiału, tym mniejsze dopuszcza się obciążenie siłą skrawania i bardziej jest wrażliwa płytka z węglików na drgania i uderzenia w procesie skrawania.

Jeśli chodzi o stale szybko tnące, to obserwuje się obecnie większe zróżnicowanie gatunków w zastosowaniu na różne narzędzia. Dane tabl. 0-11 przedstawiają tendencje występujące obecnie w naszym przemyśle. Jest rzeczą charakterystyczną, iż następuje poważna redukcja zastosowań oszczędnościowej stali SW9 na rzecz stali

Tablica 0-11. Tendencje w wyborze gatunków stali szybko tnącej na narzędzia do obróbki skrawaniem¹⁾

Lp.	Grupa narzędziowa	Gatunek stali szybko tnącej
1	Noże tokarskie normalne	SW18, SK5V
2	" " profilowe	SK10V, SW7Mo
3	" " przecinaki	SK10V, SK7Mo
4	Wiertła kręte	SW18, SW7Mo
5	Nawiertaki	SW7Mo
6	Rozwiertaki i pogłębiacze	SW7Mo, SW18, SW12C
7	Gwintowniki, narzynki	SW7Mo, SW12C, SW9C
8	Frezy trzpieniowe	SW18, SW7Mo
9	Frezy tarczowe	SW18, SW7Mo
10	Frezy ślimakowe do uzębień	SW18, SK10V, SKC, SW12C
11	Noże krążkowe do uzębień	SW18, SW7Mo, SKC
12	Wiórkowniki krążkowe	SW18, SW7Mo
13	Przeciągacze kołowe Gleasona	SW18, SW7Mo
14	Przeciągacze trzpieniowe	SW18, SW12C, SW7Mo
15	Narzędzia ogólnego przeznaczenia	SW9, SW7Mo

¹⁾ Zestawione przez autora na podstawie informacji z większych zakładów przemysłu maszynowego produkujących narzędzia we własnym zakresie oraz danych z przemysłu narzędziowego.

molibdenowej SW7Mo, szczególnie przydatnej na narzędzia trzpieniowe. Stąd SW18 traktuje się w dalszym ciągu jako gatunek wzorcowy nawet w skali międzynarodowej: stabilność cech skrawnych nawet przy mniej kontrolowanych warunkach obróbki cieplnej jest poważną zaletą we wszelkich porównaniach cech skrawnych innych gatunków stali szybko tnącej.

Wprowadzanie stali szybko tnącej o mniejszej zawartości wolframu (W), a zawierających dodatki wanadu (V), kobaltu (Co) i molibdenu (Mo) pozwala na le-



psze dostosowanie materiału ostrza do wymagań danej odmiany obróbki. Dodatek wanadu podwyższa trwałość na zużycie ściernie, natomiast kobalt i molibden podwyższa przewodność cieplną ostrza, co jest tak ważne w narzędziach trzpieniowych. Stale szybko tnące o podwyższonej zawartości węgla (SW12C, SW9C) wykazują lepszą udarność i ciągliwość względem stali SW18 i SW9.

Przy tak dużym zróżnicowaniu gatunków stali szybko tnącej, a braku sprawdzonych warunków ich eksploatacji u poszczególnych rodzajów narzędzi, trudna jest budowa ujednoliconych tablic normatywów skrawania. Poszczególne gatunki stali szybko tnącej u różnych narzędzi przy różnych warunkach skrawania wykazują również różne własności skrawne, różne są optymalne szybkości skrawania i posuwu, różne są wartości wykładnika potęgi s w zależności $v - T$. Niezbędna jest nowa metoda oceny przydatności poszczególnych gatunków materiałów narzędziowych i zestawiania zalecanych warunków skrawania. Nie bez znaczenia jest tu dobór coraz bardziej różnicowanych płynów obróbkowych.

W wyborze gatunków stali szybko tnącej można posługiwać się orientacyjną gradacją ich własności:

- wg odporności na ścieranie: SW7Mo, SW12C, SW18, SK10V, SK5V,
- wg ciągliwości: SK5V, SW12C, SW18, SW7Mo,
- wg twardości w wysokich temperaturach skrawania: SW18, SW7Mo, SK10V, SW12C.

Jednakże wszystkie te nowe gatunki materiału wymagają większych precyzji w obróbce cieplnej narzędzi.

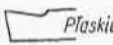

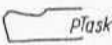
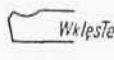
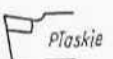
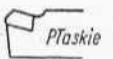

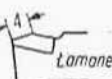
Względy praktyczne wymagają znajomości choćby przybliżonych współczynników poprawkowych w doborze szybkości skrawania względem wzorcowych szybkości ustalonych dla stali szybko tnącej SW18. Otóż dla tych wszystkich nowych gatunków stali szybko tnącej współczynnik poprawkowy waha się w dość szerokim zakresie $K_N = 1,05 \div 1,2$ zależnie od rodzaju obróbki i zakresu stosowanych szybkości skrawania, np. stal SW12C przy frezowaniu przy szybkościach $v < 50$ m/min dopuszcza szybkości o ok. 20% większe niż w analogicznych warunkach stal SW18, ale przy większych szybkościach zalety stali SW12C zanikają i dobór szybkości skrawania następuje jak dla SW18 (wg badań E. Żmichorskiego w IMP). W wyborze wartości K_N z przedziału $1,05 \div 1,2$ należy kierować się wg ważności własności danego gatunku w danym rodzaju obróbki i gradacji tego gatunku pod względem tej własności.

Przeprowadzane badania cech skrawności nowych gatunków stali szybko tnącej chętniej posługują się bardziej efektywnymi wskaźnikami wzrostu trwałości, np. $1,5 \div 2$ razy, niż danymi o dopuszczalnym powiększaniu szybkości skrawania. Przeliczenia wg znanej zależności [0.8] wykazują, że te nowe gatunki materiałów na narzędzia pozwalają na podwyższanie szybkości właśnie w granicach $5 \div 15\%$, a to już jest mniej efektywne dla badań naukowych.

Współczynniki poprawkowe K_k uzależnione są od kształtu krawędzi i K_r , który zależy od wielkości zaokrąglania wierzchołka noża. Wartości liczbowe tych współczynników podano w tabl. 0-12 i 0-13.

Z tabl. 0-12 widać, że zastosowanie właściwego kształtu powierzchni natarcia pozwala na zwiększenie szybkości skrawania o wielkość rzędu $12 \div 15\%$. Ale ostrza ścinowe mogą być stosowane jedynie przy obróbce zgrubnej. W praktyce technicznego normowania pominięcie współczynnika kształtu nie powoduje większego błędu, ponieważ nie ma możliwości uwzględnienia wszystkich wpływających czynników, gdyż wiele z nich jest przypadkowych i nie dających się przewidzieć przez obliczającego normę pracy.

Tablica 0-12. Wartości współczynnika K_s uwzględniającego wpływ kształtu powierzchni natarcia na okresową szybkość skrawania v_T

Ostrze ze stali szybko tnącej				
Kształt powierzchni natarcia	Bezścińowe		Ścinowe	
				
K_k	1,0	1,0	1,15	
Ostrze z węglików spiekanych				
Kształt powierzchni natarcia	z dodatnim kątem natarcia			z ujemnym kątem natarcia
	bezścińowe	z ujemnym ściem		
				
K_k	1,0	1,12		1,18

Tablica 0-13. Wartości współczynnika K_r uwzględniającego wpływ promienia zaokrąglenia wierzchołka ostrza r na szybkość skrawania v_T

Materiał obrabiany	Rodzaj obróbki	Wielkość promienia r , mm			
		1	2	3	5
		Wartość współczynnika K_r			
Stal	zgrubna	0,94	1,0	1,03	—
	wykańczająca	0,86	1,0	1,09	1,21
Żeliwo	zgrubna	0,90	1,0	1,06	—
	wykańczająca	0,84	1,0	1,03	1,07

Tablica 0-14. Wartości współczynnika K_α uwzględniającego wpływ kąta przystawienia α na okresową szybkość skrawania v_T

Materiał ostrza	Materiał obrabiany	Zakres stosowności	Kąt przystawienia α					
			10°	20°	30°	45°	60°	90°
			Wartość współczynnika K_α					
Stal szybko tnąca	stal	$p > 0,25$	—	—	1,26	1,0	0,84	0,66
	żeliwo	„	—	—	1,20	1,0	0,88	0,73
	stopy miedzi	—	—	—	—	1,13	1,0	0,83
Węgliki spiekane	stal	—	1,55	1,3	1,13	1,0	0,92	0,81
	żeliwo	—	—	—	1,2	1,0	0,88	0,73

Wpływ promienia zaokrąglenia r wierzchołka ostrza noża na okresową szybkość skrawania v_T pokazuje tabl. 0-13. Ponieważ w praktyce promień ten zawiera się w granicach $r = 1 \div 3$ mm, więc wartości współczynników poprawkowych K_r są niewielkie i w technicznym normowaniu raczej są pomijane. Pamiętać należy jedynie o tym, że zbyt małe zaokrąglenia w toczonech odsadzeniach na przedmiotach wymagać będą specjalnego oszlifowania wierzchołka noża i zarazem zmniejszenia szybkości skrawania nawet o 20%. Chodzi tu oczywiście o obróbkę wykańczającą. Ponieważ w obróbce wykańczającej zwykle i tak nie wykorzystuje się pełnej określonej szybkości skrawania, więc właściwie nie zachodzi w ogóle potrzeba specjalnego zmniejszania szybkości.

Ważną rolę w doborze szybkości skrawania odgrywa kąt przystawienia α głównej krawędzi skrawającej, co pokazano w tabl. 0-14. W normatywach okresowej szybkości przyjęty jest normalnie kąt $\alpha = 45^\circ$, tymczasem dla przypadku toczenia nożem bocznym czy nożem bocianem kąt $\alpha = 90 \div 95^\circ$, współczynnik poprawkowy K_α może wynieść nawet 0,66, tzn. następuje zmniejszenie szybkości o jedną trzecią. Kąt taki ma częste zastosowanie przy toczeniu wszelkich odsadzeń i o tym współczynniku trzeba koniecznie pamiętać. Przy małych głębokościach skrawania $g \leq 1$ mm praktycznie zanika wpływ tego kąta.

Jeśli chodzi o pomocniczy kąt przystawienia α_1 , to jego wpływ jest nieznaczny (tabl. 0-15) i na ogół nie uwzględnia się go. Trzeba tu tylko zwrócić uwagę, że duży kąt α_1 odpowiada zazwyczaj nożom o małym kącie ostrza, stosowanym często na tokarkach kopiowych. Zatem do noży obróbki kopiowej oprócz innych współczynników uwzględnia się również współczynnik $K_{\alpha_1} = 0,9$.

Tablica 0-15. Wartości współczynnika K_{α_1} uwzględniającego wpływ pomocniczego kąta przystawienia α_1 na okresową szybkość skrawania v_T

Materiał obrabiany	Pomocniczy kąt przystawienia α_1			
	10°	15°	30°	45°
	wartość współczynnika K_{α_1}			
Wszystkie metale	1,03	1,00	0,94	0,90

Wzór [0.12] i tak nie uwzględnia wszystkich możliwych współczynników poprawkowych, jednakże w warunkach produkcji średnioseryjnej uwzględnianie ich nie jest celowe. Trzeba sprawę postawić jasno; albo rozbudowywać normatywy i wydłużać czas potrzebny na posługiwanie się nimi, albo uprościć je ograniczając się do najistotniejszych współczynników. Źródłowe normatywy warunków skrawania opracowane przez instytuty naukowo-badawcze mogą być w pełni wykorzystywane w warunkach szczegółowo opracowanej technologii dla produkcji wielkoseryjnej i masowej. Wtedy czas zużyty na dobór warunków skrawania zawsze się opłaca. A nie należy zapominać, że dla takiej produkcji wybrane parametry obróbki muszą być sprawdzane na warsztacie w okresie rozruchu produkcji. Niemalą rolę odgrywa przy tym stałość jakości materiałów obrabianych i ostrzy narzędzi skrawających.

Natomiast warunki produkcji średnioseryjnej wymagają, aby normatywy warunków skrawania ograniczały się do najistotniejszych czynników. Uwzględnianie dziesięciu czy więcej współczynników i stałych czyni w takich warunkach produkcyjnych obliczanie norm nader czasochłonne, a efekt uzyskanej dokładności w określeniu okresowej szybkości skrawania ginie wskutek istnienia wielu trudnych do określenia czynników, jak: zmienna jakość materiału, zmienność naddatku na obróbkę, zmienność obrabiarki, różne warunki chłodzenia itd.

Dlatego z omówionych współczynników poprawkowych należy w warunkach produkcji średnioseryjnej uwzględnić:

- 1) współczynnik materiałowy K_M ,
- 2) uproszczone współczynniki stanu materiału K_r i K_p ,
- 3) współczynnik gatunku materiału ostrza K_N ,
- 4) współczynnik kąta przystawienia K_α .

Pozostałe współczynniki mogą być pominięte.

W przypadku narzędzi wieloostrzowych dochodzą zwykle jeszcze trzy czynniki: średnica narzędzia, ilość ostrzy i szerokość obróbki.

Okresowa szybkość skrawania v_T dla narzędzi wieloostrzowych wyraża się więc uogólnionym wzorem

$$v_T = \frac{C_v D^{k_v}}{g^{c_v} p_z^{u_v} B^{w_v} z^{a_v}} \quad [0.13]$$

gdzie: D — średnica narzędzia, p_z — posuw w mm/ząb, B — szerokość obróbki (np. frezowania) w mm, z — ilość zębów (ostrzy), k_v , w_v i a_v — wykładniki potęg zależne od rodzaju narzędzia i materiału obrabianego.

Najistotniejszą rolę wśród podanych tu nowych czynników, nie występujących we wzorze [0.8], odgrywa średnica narzędzia. Wykładnik potęgowy k_v waha się tu od 0,2 do 0,7 przy czym wyższa wartość 0,45 ÷ 0,7 występuje u frezów walcowych, trzpieniowych i kształtowych. Znaczący wpływ na powiększenie trwałości ostrzy i można wobec tego ze wzrostem wielkości narzędzia powiększać okresową szybkość skrawania, podobnie jak to było w przypadku noży tokarskich (patrz tabl. 0-6). Ale z drugiej strony ze wzrostem średnicy powiększa się ilość zębów z . Ciekawe byłoby zbadanie wynikowego wpływu na okresową szybkość skrawania trzech czynników: średnicy D i z nią związanych okresowej trwałości T_z oraz ilości ostrzy z . Ilość zębów u frezów określa się empiryczną zależnością $z = m \sqrt{D}$, gdzie m — współczynnik zależny od rodzaju freza. W takim razie można napisać

$$\frac{D^{k_v}}{z^{a_v}} = \frac{D^{k_v}}{(mD^{0,5})^{a_v}} = CD^{k_v - 0,5a_v} \quad [0.14]$$

gdzie C — pewna stała dla danego rodzaju freza.

Wobec tego dla każdego rodzaju freza istnieje jakiś sumaryczny współczynnik poprawkowy K_D na szybkość skrawania uwzględniający wielkość narzędzia. Wyjaśnią to przykłady.

Dla głowicy frezowej z ostrzami ze stali szybko tnącej wykładniki potęgowe są następujące: $k_v = 0,25$ i $a_v = 0,1$. Jeśli wzorcową wielkością jest $D = 160$ mm o zalecanej trwałości $T_z = 180$ min, to dla freza o $D = 315$ mm i trwałości zalecanej $T_z = 360$ min ($K_{T_v} = 0,87$) szybkość skrawania v_1 wyniesie

$$v_1 = v_z K_{T_v} K_D = v_z \cdot 0,87 \left(\frac{315}{160} \right)^{0,25 - 0,5 \cdot 0,1} = v_z \cdot 0,87 \cdot 1,15 = 1,0 v_z$$

Podobne przeliczenia dla freza trzpieniowego $D = 50$ mm o $T_z = 120$ min w oparciu o normatywy szybkości v_z ustalone dla freza $D = 32$ mm o $T_z = 60$ min dają

$$v_1 = v_z \cdot 0,8 \left(\frac{50}{32} \right)^{0,45 - 0,5 \cdot 0,1} = v_z \cdot 0,8 \cdot 1,20 = 0,96 v_z$$

Powyższe przeliczenia wykazują, że dla celów technicznego normowania czasu obróbki skrawaniem wniosek z rozdziału 0.II.1. o możliwości pomijania współczynnika poprawkowego uwzględniającego wpływ wielkości narzędzia na okresową szybkość skrawania może być rozciągnięty na inne rodzaje narzędzi. Takie uproszczenie niewątpliwie zmniejszyłoby ilość potrzebnych użytkowych tablic normatywów szybkości skrawania, sporządzonych w zakładach.

Oczywiście wniosek ten nie daje się rozciągnąć na wszystkie narzędzia. Takim wyjątkiem są wiertła, gdzie ze wzrostem średnicy nie rośnie ilość zębów i odpowiednie przeliczenia wykazują wzrost okresowej szybkości skrawania dla większych średnic.

Np. dla wiertel krętych przy obróbce stali wykładnik $k_v = 0,4$. Porównanie wiertła o średnicy $D = 40$ mm i o trwałości zalecanej $T_z = 60$ min z wiertłem o średnicy $D = 10$ mm i o $T_z = 10$ min daje

$$v_1 = v_z K_{T_v} K_D = v_z \cdot 0,7 \cdot 1,74 = 1,22 v_z$$

Czterokrotny wzrost średnicy przy zachowaniu innych warunków obróbki pozwala na zwiększenie szybkości skrawania o 22%.

Przy wiertłach nieodzowne jest zatem uwzględnianie w normatywach szybkości skrawania samej wielkości narzędzia.

Pozostaje jeszcze sprawa wpływu szerokości obróbki B . Wykładnik potęgowy w_p wynosi przeciętnie $0,1 \div 0,2$; wyjątkowo 0,3 dla frezów walcowych przy obróbce żeliwa. Wynika z tego, że zmiany szerokości nawet $\pm 50\%$ w stosunku do normatywnych nie wymagają praktycznie zmian szybkości skrawania. (tabl. 0-16). Wydaje się więc, że takie tablice współczynników poprawczych K_B mogą mieć mniejszą ilość stopniowań.

Tablica 0-16. Wartości współczynników poprawkowych K_B na szybkość skrawania uwzględniających zmianę szerokości frezowania B_{rzecz} w stosunku do normatywnej B_z

Rodzaj freza	Materiał obrabiany	Stosunek B_{rzecz}/B_z							
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	4,0
		Wartość współczynnika poprawkowego K_B							
Walcowe i palcowe	stal	1,17	1,09	1,05	1,02	1	0,96	0,93	0,87
	żeliwo	1,62	1,33	1,16	1,07	1	0,89	0,81	0,66
Czołowe	stal	1,17	1,15	1,08	1,04	1	0,95	0,90	0,82
	żeliwo	1,17	1,09	1,05	1,02	1	0,96	0,93	0,87
Tarczowe	stal i żeliwo	1,17	1,09	1,05	1,02	1	0,96	0,93	0,87

Z analizy uogólnionego wzoru [0.13] dla narzędzi wielostrzowych wynika, że dodatkowym czynnikiem, który należy uwzględnić w doborze szybkości skrawania, jest szerokość obróbki B .

W takim razie parametrami wyjściowymi w doborze szybkości skrawania są:

- rodzaj narzędzia,
- materiał ostrza narzędzia,
- rodzaj materiału obrabianego,
- głębokość skrawania g ,
- posuw p ,
- szerokość obróbki B ,

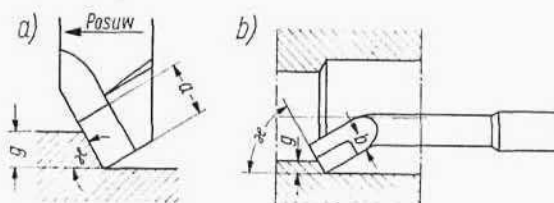
- g) kąt przystawienia głównej krawędzi skrawającej α i w pewnych przypadkach
- h) wielkość narzędzia.

W praktyce przyjęło się tabelaryczne ujmowanie parametrów technologicznych dla obróbki skrawaniem, tak też przedstawiono w niniejszym opracowaniu. Graficzne przedstawienie normatywów szybkości skrawania czy posuwów jest przyjmowane niechętnie mimo niewątpliwych ich zalet, np. w ocenie intensywności wpływu poszczególnych czynników.

3. Dobór ilości przejść obróbkowych

Rozważania nad wpływem głębokości skrawania i wielkości posuwu na okresową szybkość skrawania i trwałość narzędzi skrawających przeprowadzono na wstępie rozdziału 0.II.2. Badania te wykazały, że najracjonalniej jest skrawać przy pełnej głębokości skrawania, jeśli to tylko jest możliwe. Gdy znana jest więc wielkość naddatku materiału oraz stan jakościowy materiału, a ponadto sprecyzowane są wymagania techniczne odnośnie jakości powierzchni po obróbce, to dane te na ogół wystarczają do określenia ilości przejść. Dla robót tokarskich przy wymaganej chropowatości $\nabla 2 \div \nabla 4$ wystarcza jedno przejście z właściwym posuwem, natomiast przy chropowatości $\nabla 5 \div \nabla 7$ klasy przy dużym nadadtku i surowej powierzchni wyjściowej wymagane są co najmniej dwa przejścia: zdzierające i wykańczające. W czasie zdzierania zdejmuje się nadmiar materiału w postaci nadadtku, a wykańczanie nadaje powierzchni obrabianej właściwą jakość. Ilość przejść zgrubnych może wynosić więcej niż jedno, gdy:

- a) wielkość nadadtku materiałowego przekracza możliwości gabarytowe ostrza narzędzia (poziom materiał nie może sięgać poza wzniesienie roboczej krawędzi skrawającej — rys. 0/10),



Rys. 0/10. Głębokość skrawania g musi być mniejsza od wysokości wzniesienia krawędzi skrawającej: a) przy nożach-zdzierakach $g < a \sin \alpha$ np. dla noża 16×25 , $\alpha = 45^\circ$, $a = 16$ mm; $g < 11$ mm, b) przy nożach-wytaczakach $g < b \sin \alpha$, np. dla noża 16×16 , $\alpha = 60^\circ$, $b = 6$ mm; $g < 5$ mm

- b) zachodzi znaczna nierównomierność wielkości nadadtku, czy jednorodności wewnętrznej, powodująca tak silne drgania narzędzia i układu „obrabiarka-przedmiot”, że w wyniku nie otrzymuje się wystarczającej klasy chropowatości powierzchni dla dalszej obróbki wykańczającej,

- c) możliwości wytrzymałościowe narzędzia czy przedmiotu nie dopuszczają do zbyt dużych sił skrawania.

W praktyce decyzja co do ilości przejść zależy od zaplanowania samego procesu technologicznego. Warunki przygotowania odlewów, czy odkuwek dla produkcji seryjnej są na ogół na tyle korzystne, że w większości np. robót tokarskich stosuje się 1 lub 2 przejścia zgrubne. Określenie głębokości skrawania dla przejścia zgrubnego nie jest wówczas trudne. Pamiętać trzeba wtedy tylko o dwóch momentach: