

doc.dr inż. Mieczysław FELD, mgr inż. Bogdan SIEMIENIUK
Instytut Technologii Budowy Maszyn
Politechnika Gdańska

OPTIMALIZACJA STEREOMETRII OSTRZA I WARUNKÓW OBRÓBK
DLA WYTACZANIA BRĄZU SPIEKANEGO MB12

1. Wstęp

Postęp w dziedzinie mechanizacji i automatyzacji środków produkcji oraz pojawienie się w produkcji bardzo wydajnych automatów tokarskich lub wytaczarskich wymaga od personelu inżynieryjno-technologicznego umiejętności wyboru odpowiedniego narzędzia do obróbki oraz określenia, ekonomicznie uzasadnionego okresu jego trwałości. Problem ten odgrywa szczególnie rolę w warunkach produkcyjnych, ze względu na:

- potrzebę określenia czasu pracy narzędzia przy uzasadnionych parametrach obróbki, ze względu na wymagania jakościowe powierzchni obrabianych oraz wydajność automatów,
- ustalenie czasu pracy narzędzia, ze względu na technologiczne wskaźniki zużycia ostrza, po którym regeneracja ostrza jest ekonomicznie uzasadniona,
- zaplanowanie ilości narzędzi niezbędnych dla zabezpieczenia pełnej i efektywnej realizacji procesu produkcyjnego,
- konieczność zastępowania narzędzi importowanych narzędziami produkcji krajowej.

2. Charakterystyka materiału obrabianego

Badania prowadzono na tulejkach łożyskowych, wykonanych z taśmy dwuwarstwowej stal - brąz - wytwarzanej przez nałożenie na taśmę stalową warstwy brązu spiekanego B_1010Y drogą metalurgii proszków.

Brązy te charakteryzuje duża odporność na obciążenia uderowe oraz na zużycie. Znajdują one najczęściej zastosowanie na wysokoobciążone tuleje pracujące przy ruchu oscylacyjnym, np. tuleje korbowodów, tuleje zwrotno i resorów lub też na tuleje szczepek hamulcowych [7].

Skład chemiczny brązu MB12, zgodnie z normą BN-81/0821-08 przedstawia się

następująco:

Cu	- reszta do 100 %,
Sn	- 9,0 - 11,0 %,
Pb	- 9,0 - 11,0 %,
P	- 0,14 - 0,24 %,
Inne łącznie	- 0,5 %.

Spośród własności mechanicznych najbardziej charakterystycznymi dla tych brązów, są:

- wytrzymałość brązu na rozciąganie $137,3 \text{ MPa} / 14,0 \text{ kg/mm}^2$,
- twardość 60 - 130 HB.

3. Czynniki podstawowe badań optymalizacyjnych geometrii ostrza

W oparciu o zalecenia i ograniczenia literaturowe [2, 3, 5, 6] w zakresie obróbki brązów określono podstawowe zmienne czynniki stereometrii ostrza, które należało uwzględnić w procesie badań. Każdy czynnik ma określony przedział zmienności. Wewnątrz tego przedziału może on przyjmować dowolną wartość lub wiele wartości dyskretnych. W ramach obszaru określenia wyznaczono lokalny podobszar dla zaplanowania doświadczeń, tj. dla każdego czynnika wyznaczono przedział zmienności parametrów. W tym celu na podstawie informacji uzyskanych przed doświadczeniem ustalono orientacyjnie wartości czynników, których kombinacje dadzą najlepsze spodziewane wyniki. Kombinacji tej wartości czynników odpowiada punkt, którego współrzędne określono jako podstawowy poziom wartości. Przyjęte do badań czynniki zmienne, ich wartości podstawowe i przedziały zmienności przedstawiono w tabl.1.

4. Metodyka i program badań

Jedną z metod statystycznego planowania doświadczeń jest planowanie sympleksowe. Metodę tę wybrano dla realizacji badań optymalizacyjnych stereometrii ostrza [4].

Strategia tego rodzaju optymalizacyjnych badań doświadczalnych oparta jest na algorytmie, którego zasady są następujące:

- na podstawie pomiarów wartości czynnika wynikowego /np. ilości wykonanych sztuk lub okresu trwałości narzędzia/ i odpowiadających im wartoś-

ciom czynników badanych /wartości kątów geometrii narzędzia/ określa się sympleks S_0 ,

- dążąc do bezpośredniej maksymalizacji czynnika wynikowego, określa się w sympleksie S_0 wartość minimalną y_{\min} /np. minimalną ilość wykonanych sztuk lub minimalny okres trwałości narzędzia/,
- tworzy się nowy sympleks S_1 uzupełniając sympleks S_0 nowym punktem układu kątów geometrii narzędzia/ stanowiącym zwierciadlane odbicie minimalnej wartości czynnika wynikowego / y'_{\min} /.

Tablica 1.

Parametry \tilde{x}_1	Poziom podstawowy \tilde{x}_{10}	Przedział zmienności \tilde{x}_1
α_0	9°	6°
α_r	$67,5^\circ$	$22,5^\circ$
α'_r	$18,5^\circ$	$6,5^\circ$
γ_0	$-0,5^\circ$	$3,5^\circ$
λ	-6°	6°

Współrzędne wierzchołka nowego sympleksu /w wartościach zakodowanych/ oblicza się ze wzoru

$$x_{1k+2} = \frac{2}{k} \sum x_{1u} - x_1, \quad /1/$$

gdzie: x_{1k+2} - współrzędna nowego wierzchołka /sympleksu S_1 /, który jest zwierciadlanym odbiciem wierzchołka odrzuconego,

x_1 - współrzędna odrzuconego wierzchołka,

$\frac{1}{k} \sum x_{1u}$ - wartość średnia współrzędnych wszystkich wierzchołków sympleksu S_0 , oprócz odrzuconego,

- określa się na podstawie pomiarów wartość rzeczywistą czynnika wynikowego odpowiadającą współrzędnym punktu y'_{\min} ,
- jeżeli y'_{\min} nie jest najmniejszą wartością w sympleksie S_1 , to określa się dla niego najmniejszą wartość y i tworzy się kolejny sympleks

Tablica 2. Planowanie sympleksowe w zastosowaniu do optymalizacji geometrii ostrza skrawającego

Numery punktów doświadczenia	Sympleksa	Wierzchołek w którym realizuje się doświadczenie	Kąt przyłożenia		Kąt przystawienia		Kąt pomocniczy przystawienia		Kąt natarcia		Kąt pochylenia głównej krawędzi skrawającej	
			α_0		χ_r		χ'_r		γ_0		λ	
			kod	stopnie	kod	stopnie	kod	stopnie	kod	stopnie	kod	stopnie
1	ABCDEF	A	0,5	12	0,289	74	0,204	19,9	0,158	0,1	0,129	-5,2
2	ABCDEF	B	-0,5	6	0,289	74	0,204	19,9	0,158	0,1	0,129	-5,2
3	ABCDEF	C	0	9	-0,578	54,5	0,204	19,9	0,158	0,1	0,129	-5,2
4	ABCDEF	D	0	9	0	67,5	-0,612	14,5	0,158	0,1	0,129	-5,2
5	ABCDEF	E	0	9	0	67,5	0	18,5	-0,632	-3,8	0,129	-5,2
6	ABCDEF	F	0	9	0	67,5	0	18,5	0	-0,5	-0,645	-9,9
7	A*BCDEF	A*	-0,7	4,8	-0,405	58,4	-0,286	16,6	-0,22	-1,3	-0,181	-7,1
8	A*BC*DEF	C*	-0,48	6	0,532	79,5	-0,481	15,4	-0,37	-1,8	-0,304	-7,8
9	A*B*C*DEF	B*	0,02	9,2	-0,238	62,1	-0,756	13,6	-0,59	-2,5	-0,478	-8,9

S_2 itd.

Praktyczny sposób realizacji eksperymentu sympleksowego jak również obliczone współrzędne nowych sympleksów przedstawiono w tab.2.

Etapem zamykającym w metodyce badań sympleksowych jest ułożenie planu badań - będącego podstawą dla ustalenia /w poszczególnych punktach doświadczenia/ parametrów stereometrycznych ostrza skrawającego. Współrzędne sympleksu S_0 podano w tablicy 2 /pierwsze 6 punktów doświadczenia/.

W efekcie realizacji planu badań otrzymano następujące wyniki w zakresie trwałości ostrza /tabl.3/.

Tybllica 3. Wartości czynnika wynikowego

Nr punktu pomiarowego z tablicy 2	Trwałość ostrza /w ilości wykonanych sztuk/
1	42
2	96
3	81
4	179
5	102
6	213
7	225
8	183
9	106

Po zrealizowaniu cyklu badań podstawowych /punkty pomiarowe 1 - 6 / wyznaczono nowy układ parametrów ostrza /sympleks S_1 , jako "lustrzane odbicie" względem punktu 1/, który okazał się bardziej korzystnym powodując wzrost trwałości ostrza.

Z kolei wyznaczono układ parametrów ostrza - sympleks S_2 - względem punktu pomiarowego 3 /tabl.2/. Po przeprowadzeniu badań okazało się, że układ parametrów ostrza /punkt 8, tabl.2/ prowadzi do obniżenia okresu trwałości ostrza. Ponownie dokonano przekształcenia układu parametrów dla uzyskania sympleksu S_3 /punkt 9, tabl.2/, a po zrealizowaniu badań

zaobserwowano, ponownie obniżenie okresu trwałości ostrza /punkt 9, tabl.3/. Zdecydowano zakończyć badania i przyjąć jako optymalną stereometrię ostrza wg punktu pomiarowego 7 /tabl.2/,

czyli $\alpha_0 = 5^\circ$, $\alpha_r = 58^\circ$, $\alpha'_r = 17^\circ$, $\gamma_0 = -1^\circ$, $\lambda = -7^\circ$.

Badania realizowano na automacie wytaczarskim firmy CINCINATI, stosując parametry obróbki: $v = 372$ m/min i $p = 149,8$ mm/min /0,05 mm/obr/. Do badań zaprojektowano i zlecono do wykonania noże wytaczarki /rys.1/ dla których - przed rozpoczęciem badań - przeprowadzono stuprocentową kontrolę stereometrii ostrza skrawającego [1].

Jako kryterium optymalizacji przyjęto maksymalny okres trwałości ostrza /w ilości sztuk obrobionych tulejek/ przy zachowaniu parametru chropowatości powierzchni wytaczanej $R_a < 1,25$ μ m.

5. Ustalenie zależności okresu trwałości ostrza w funkcji parametrów skrawania

Tradycyjne metody badawcze stosowane w obróbce skrawaniem /doświadczenia jednoczynnikowe/ nie dają możliwości określenia błędów w eksperymentowaniu, jak również sprawdzenia adekwatności otrzymanych zależności.

We wszystkich znanych badaniach z dziedziny obróbki skrawaniem przyjmuje się zależność okresu trwałości ostrza, w funkcji parametrów skrawania, opisywać równaniem postaci:

$$T = C_T V^s p^{u_T} g^{e_T}, \quad /2/$$

gdzie: T - okres trwałości ostrza, min;

C_T - stały współczynnik;

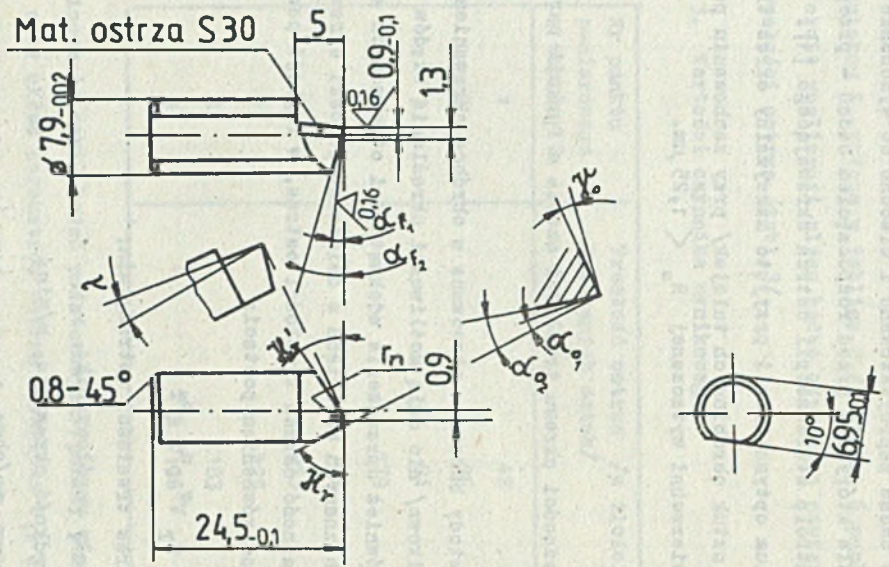
V - prędkość skrawania, m/min;

p - posuw, mm/obr;

g - głębokość skrawania, mm;

s, u_T, e_T - wykładniki.

Głębokość skrawania podczas badań nie uległa zmianie, pominięto za-



Rys.1. Nóż wytaczak z nalutowaną płytką

tem jej oddziaływanie na okres trwałości ostrza. Po zmodyfikowaniu powyższego równania oraz przekształceniu zależności poprzez logarytmowanie, otrzymano liniowy model w postaci:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_1 2 X_1 X_2 \quad /3/$$

W tab.4. zestawiono wyniki kodowania zmiennych niezależnych.

Tablica 4. Kodowanie czynników zmiennych

	V		p	
	X ₁	X ₁	X ₂	X ₂
Górny /+/	848,2	2,9285	0,11	-1,0419
Dolny /-/	210,6	2,3236	0,032	-2,50515

Macierz planowania eksperymentu wraz z wynikami przeprowadzonych prób przedstawion w tabl.5.

Tablica 5. Macierz planowania 2² i wyniki przeprowadzonych doświadczeń

Numer punktu	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ X ₂	Okres trwałości ostrza, min		
					Y ₁	Y ₂	Y ₃
					Y ₁	Y ₂	Y ₃
1	+	-	-	+	<u>263,75</u> 2,421	<u>310,17</u> 2,492	<u>286,96</u> 2,457
2	+	+	-	-	<u>15,76</u> 1,198	<u>19,39</u> 1,288	<u>17,58</u> 1,245
3	+	-	+	-	<u>4,90</u> 0,690	<u>3,50</u> 0,544	<u>4,2</u> 0,623
4	+	+	+	+	<u>2,85</u> 0,445	<u>3,23</u> 0,509	<u>3,04</u> 0,483

Przeprowadzono eksperyment, obliczono współczynniki regresji, stosując statystyczną metodę analizy wyników i otrzymano matematyczną zależność wiążącą okres trwałości narzędzia z prędkością skrawania i posuwem w postaci:

$$Y = 1,202 - 0,338 X_1 - 0,649 X_2 + 0,268 X_1 X_2 \quad /4/$$

Po przekształceniu wielkości zakodowanych otrzymano zależność:

$$T = \frac{\sqrt{2,8952} \cdot p \cdot 3,2582 \lg v}{10,9625 \cdot 2,277 \cdot 10^9} \quad /5/$$

Pełny tok postępowania przy wyznaczaniu zależności, okresu trwałości ostrza, wraz z całym aparatem matematycznego opracowania wyników badań podano w literaturze [1].

6. Badania weryfikacyjne

Zbyt niska odporność materiału ostrza - wykonanego z gatunku S30 - na ścieranie oraz związany z tym faktem konieczność częstego wprowadzanie korekcyi ustawienia noża w wytaczadle, stały się przesłanką do poszukiwania materiału ostrza o większej trwałości.

Na podstawie literatury [5, 6] wybrano do badań weryfikacyjnych materiały ostrza gatunku H20.

W tabl.6 przedstawiono macierz planowania oraz wyniki doświadczeń.

W wyniku przeprowadzonych badań i obliczeń uzyskano statystyczny model okresu trwałości ostrza w postaci:

$$Y = 1,2065 - 0,565 X_1 - 0,363 X_2 + 0,0845 X_1 X_2 \quad /6/$$

Po przekształceniu wielkości zakodowanych parametrów otrzymano zależność:

$$T = \frac{11,738 \cdot p \cdot 1,0273 \lg v}{\sqrt{0,5816} \cdot p \cdot 4,0471} \quad /7/$$

Przeprowadzone badania trwałości narzędzia, na materiale ostrza gatunku H20, wykazały:

- większą odporność na ścieranie badanego materiału płytki w stosunku do materiału gatunku S30, dzięki czemu wyeliminowano konieczność wielokrotnego korygowania ustawienia noża w wytaczadle. Dla materiału ostrza

Tablica 6.

Numer punktu pomiarowego	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	Okres trwałości ostrza min	
					$\frac{Y_1}{1g Y_1}$	$\frac{Y_2}{1g Y_2}$
1	+	-	-	-	$\frac{150,3}{2,177}$	$\frac{182,3}{2,2617}$
2	+	+	-	-	$\frac{9,3}{0,968}$	$\frac{7,45}{0,872}$
3	+	-	+	-	$\frac{17,7}{1,249}$	$\frac{25}{1,398}$
4	+	+	+	+	$\frac{2,66}{0,4249}$	$\frac{2}{0,301}$

gatunku S30, pierwszej korekcji dokonywano już po 20-sztuce obrobionej, a dla materiału ostrza H20 dopiero po 110 sztuce obrobionej,

- uwzględniając funkcję kryterium - parametr chropowatości powierzchni $R_a < 1,25 \mu\text{m}$ - nie stwierdzono efektywnego wzrostu okresu trwałości narzędzia;

7. Wnioski i zalecenia wynikające z badań

1. Dla obróbki brązu MB12 zaleca się stosować noże, do wytaczadeł, z ostrzami wykonanymi z węglików spiekanych gatunku H20 o stereometrii ostrza: $\alpha_0 = 5^\circ$, $\chi_r = 58^\circ$, $\chi'_r = 17^\circ$, $\gamma_0 = -1^\circ$, $\lambda = -7^\circ$, $\gamma_n = 1 - 1,6 \text{ mm}$.
2. Dla uzyskania chropowatości powierzchni po wytaczaniu o parametrach $R_a < 1,25 \mu\text{m}$, należy bezwzględnie stosować docieranie powierzchni przyłożenia i natarcia ostrza narzędzia skrawającego;
3. Ze względu na trwałość narzędzi wykonanych z węglików spiekanych, a jednocześnie ze względu na wydajność automatu zaleca się, dla obróbki brązu MB12, stosować prędkość skrawania $v = 260 - 290 \text{ m/min}$. Pozwoli to na uzyskanie okresu trwałości ostrza na poziomie $T = 80 - 100 \text{ min}$.

8. Literatura

1. Feld M., Siemieniuk B.: Badanie procesu technologicznego wytaczania tu-

1. Politechnika Gdańska ITBM, 1981 /praca niepublikowana/.
2. Górski E.: Obróbka gładkościowa. WNT, Warszawa, 1970.
3. Kaczmarek J.: Metoda doboru posuwu i szybkości skrawania ze względu na żadaną trwałość ostrza i gładkość powierzchni. IOS, 1962, Zeszyty naukowe, Nr 13.
4. Kacew P.G.: Kontrola narzędzi skrawających metodami statystycznymi. WNT, Warszawa, 1978.
5. Kalish, Herbert S.: Selecting the optimum cutting tool material. Part,II. *Cutt. Tool. Eng.*, 1971., 29, nr 3-4, 10 - 13.
6. Normatywy technologiczne. Obróbka miedzi i stopów miedzi. WPM, Warszawa, 1979.
7. Normy branżowe BN-81/0821-08 i BN-78/1137-01.

Mieczysław FELD, Bogdan SIEMIANIUK

OPTIMIZATION OF THE CUTTING EDGE STEROMETRY AND CUTTING
CONDITIONS FOR THE BORING OF THE MB12 SINTERED BRONZE

Summary

The results of investigations of boring conditions optimization for the MB12 bearing sleeves are presented. Simplex method was employed for optimization of the cutting edge sterometry. The optimum sterometry and material of a tool is specified and the dependence of the tool life from the cutting speed and feed is determined;