

УДК 621.9

Г.М. Виговський, ст. викл.

О.А. Громовий, аспір.

П.П. Мельничук, к.т.н., доц.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

КОСОКУТНЕ РІЗАННЯ. ДЕФОРМАЦІЯ ТА НАПРЯМОК СХОДУ СТРУЖКИ

На основі експериментальних досліджень встановлені деформації зрізуваного шару та напрямок сходу стружки при косокутному безвершинному різанні.

Ефективність косокутного різання підтверджена багатьма роботами [1–5]. Однак неоднозначність при визначенні оптимальної геометрії різальної частини інструмента з огляду на фізико-механічні явища, які супроводжують обробку (деформація стружки, зношування інструмента, нагрівання технологічної системи тощо), потребує подальших досліджень. Особливо це стосується лезової обробки з високими швидкостями різання інструментом з полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ), котрі завдяки можливості зрізувати тонкі шари металу використовують для чистового точіння та фрезерування. Для конструювання чистових торцевих фрез косокутного різання оцінка доцільних оптимальних значень робочого переднього кута γ_p та кута сходу стружки ν пов'язана також з можливістю використання безвершинної геометрії ножів. Як відомо [1–12], напрямок сходу стружки (кут ν) визначає співвідношення сил різання, зношення інструмента та якість обробленої поверхні.

Залежність (1), запропонована в роботах [6, 7] для розрахунку робочого переднього кута γ_p :

$$\sin \gamma_p = \sin \lambda \cdot \sin \nu + \cos \lambda \cdot \cos \nu \cdot \sin \gamma_n \quad (1)$$

встановлена для малих швидкостей різання ν .

В інших співвідношеннях, отриманих відповідно в роботах [8] і [9]:

$$\nu \approx \lambda \quad (2)$$

та

$$\nu = k \cdot \lambda, \quad (3)$$

де $k = 1,0 \dots 0,9$ – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу та умов різання.

Автором [10] пропонується обчислювати кут сходу стружки із залежності:

$$\nu = \arccos K_p \cdot \cos \lambda, \quad (4)$$

де K_p – коефіцієнт розширення стружки.

Для більшості випадків $\nu > \lambda$, причому різниця між кутами ν і λ росте зі збільшенням кута λ і складає $5^\circ \dots 7^\circ$ для найбільшого з досліджених значень $\lambda = 60^\circ$ [10].

Неоднозначні трактування впливу режимів різання на кут сходу стружки ν прослідковуються в роботах [6, 7, 12–14]. Автори [11, 12] стверджують, що швидкість різання ν не впливає на кут ν , а за даними [6] вказана залежність пояснюється рівнянням:

$$\nu = \frac{\lambda}{V^{0,08}}, \quad (5)$$

яке уточнюється в роботі [13]:

$$\nu = \frac{\lambda}{V^{0,12}}. \quad (6)$$

Аналогічні оцінки впливу на значення λ і товщини зрізу (поперечний переріз). В роботах [11, 12, 13] не вказується на будь-яку залежність ν від товщин зрізу, в роботі ж [10] збільшення товщини зрізуваного шару призводило до збільшення кута ν .

З огляду на конструювання торцевих фрез з НТМ косокутної геометрії, авторами виконані власні дослідження кута нахилу різальної кромки λ як фактора, котрий зумовлює вихідні явища – теплоутворення, стружкоутворення та зношування інструмента.

Торцеве фрезерування незагартованої сталі 45 здійснювалось одноножовою та багатоножовою фрезами (радіус задньої циліндричної поверхні $r = 6 \dots 18$ мм) в межах режимів різання, що наведені в табл. 1. Паралельно виконане моделювання торцевого фрезерування одноножовою фрезею

шляхом токарної обробки торця несучільного диска при поперечній подачі. Кут нахилу різальної кромки λ задавався дискретно - -20° ; -45° ; -70° ; передній кут $\gamma_n = +30^\circ$; 0° ; -30° .

Таблиця 1

№ з/п	Товщина шару, що зрізається, a , мм	Кут нахилу різальної кромки λ , град	Швидкість різання V , м/с	Коефіцієнт укорочення K_L при передньому куті γ_n , град			Коефіцієнт потовщення K_A при передньому куті γ_n , град		
				+30	0	-30	+30	0	-30
1	0,05	20	1,4	1,62	2,09	4,44	1,80	3,80	4,26
2			2,8	1,53	2,38	2,94	1,62	2,44	2,76
3			4,5	1,49	2,09	2,53	1,66	4,26	2,48
4		45	1,4	1,59	2,22	3,54	1,78	2,80	2,94
5			2,8	1,51	2,24	2,48	1,52	2,00	2,24
6			4,5	1,43	1,97	2,41	1,74	1,76	2,22
7		70	1,4	1,30	1,98	4,12	1,40	1,56	2,22
8			2,8	1,42	2,05	2,61	1,26	1,56	1,62
9			4,5	1,35	1,77	1,83	1,20	1,56	1,42
10	0,15	20	1,4	1,64	2,24	2,44	1,72	2,41	2,38
11			2,8	1,50	1,86	2,00	1,62	2,33	2,19
12			4,5	1,40	1,61	1,74	1,54	1,93	2,03
13		45	1,4	1,61	2,03	2,33	1,85	2,87	2,18
14			2,8	1,43	1,66	1,92	1,62	1,97	1,93
15			4,5	1,40	1,57	1,71	1,72	1,70	1,81
16		70	1,4	1,38	1,89	2,09	1,59	1,89	1,51
17			2,8	1,29	1,66	1,61	1,30	1,50	1,41
18			4,5	1,22	1,44	1,49	1,15	1,47	1,49
19	0,25	20	1,4	1,54	1,85	2,08	1,67	1,95	2,22
20			2,8	1,37	1,63	1,67	1,52	1,79	2,04
21			4,5	1,27	1,56	1,63	1,48	1,87	1,53
22		45	1,4	1,55	1,80	1,94	1,53	1,94	1,94
23			2,8	1,29	1,54	1,68	1,60	1,69	1,92
24			4,5	1,24	1,46	1,59	1,54	1,61	1,43
25		70	1,4	1,25	1,55	1,64	1,49	1,61	1,48
26			2,8	1,26	1,43	1,40	1,36	1,35	1,31
27			4,5	1,21	1,32	1,25	1,33	1,40	1,46

Фотографуванням (рис. 1) та кінозйомкою встановлювався кут сходу стружки товщиною $a = 0,05 \dots 0,25$ мм, мікрометром вимірювались розміри елементів стружки, що дозволило встановити коефіцієнти її укорочення K_L та K_A .

В загальному вигляді:

$$K_A, K_L, v = f_1, f_2, f_3(\gamma_n, a, V). \tag{8}$$

Експериментальні значення коефіцієнтів K_L та K_A дані в табл. 1.

Характер деформації зрізуваного шару показав, що максимальні значення коефіцієнтів K_A та K_L мали місце при мінімальних в експериментах значеннях γ_n, a, V та λ .

Із збільшенням швидкості різання практично при всіх поєднаннях параметрів зменшуються коефіцієнти K_L і K_A . Найбільш сильно впливає швидкість різання на коефіцієнти K_L і K_A при мінімальній товщині шару, що зрізається $a = 0,05$ мм, куту нахилу різальної кромки $\lambda = 20^\circ$ і передньому куті в нормальному перерізі $\gamma_n = -30^\circ$. При зміні швидкості різання від $V = 1,4$ м/с до $V = 4,5$ м/с при даному поєднанні параметрів K_L зменшується від 4,44 до 2,53, а K_A відповідно зменшується від 4,26 до 2,48.

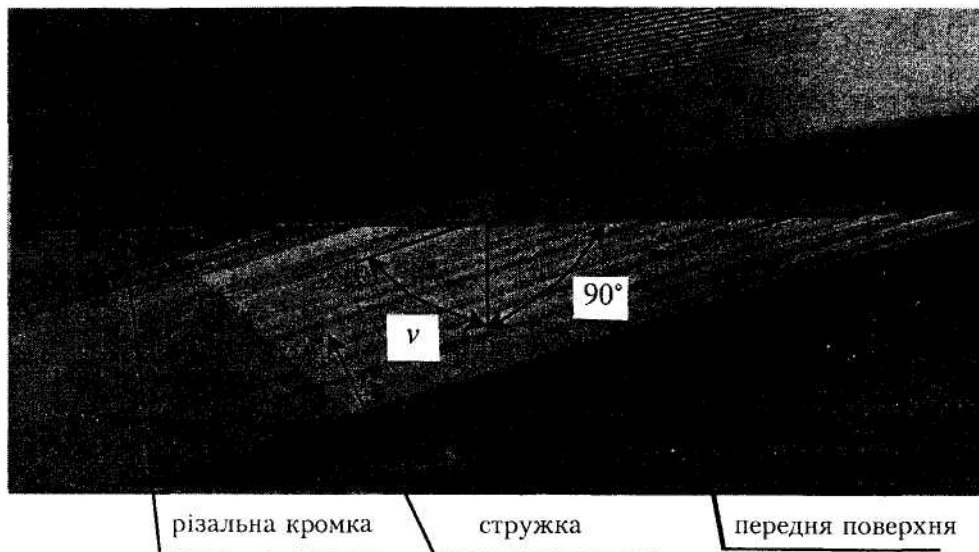


Рис. 1. Схема вимірювання кута сходу стружки

При мінімальній в досліджах $a = 0,05$ мм коефіцієнти потовщення та укорочення стружки мають максимальні значення. Зі збільшенням кута нахилу різальної кромки відбувається зменшення коефіцієнтів K_L і K_A , причому найбільш істотно – для малих товщин зрізу. Кут нахилу різальної кромки особливо сильно впливає на дані коефіцієнти при максимальній в експерименті швидкості різання $V = 4,5$ м/с.

Оскільки кут нахилу різальної кромки є найбільш істотним чинником, що впливає на коефіцієнти потовщення та укорочення стружки, то рівняння регресії розраховувалися при постійних значеннях кута λ . Знаки коефіцієнтів (табл. 2 і табл. 3) рівняння регресії від'ємні, тому для зменшення коефіцієнтів K_A і K_L для ножів торцевих фрез необхідно збільшувати кути γ_n і λ , швидкість різання та товщину зрізуваного шару.

Експериментальні дані апроксимовані поліномами виду:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{23} X_2 X_3 + b_{13} X_1 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3, \quad (9)$$

де Y – функція відгуку (K_A , K_L та ν відповідно);

b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти рівняння регресії, що визначають вплив відповідно γ_n, a, V ;

X_1, X_2, X_3 – кодовані позначення γ_n, a, V .

Для $\gamma_n = 0^\circ - (-30^\circ)$; $a = 0,05 - 0,15$ мм; $V = 1,4 - 2,8$ м/с одержані моделі у вигляді наступних поліномів:

– при $\lambda = 20^\circ$:

$$K_L = 2,549 - 0,406 X_1 - 0,414 X_2 - 0,254 X_3 + 0,321 X_1 X_2 - 0,474 X_2 X_3 + 0,231 X_1 X_3 - 0,216 X_1 X_2 X_3; \quad (10)$$

$$K_A = 2,821 - 0,076 X_1 - 0,494 X_2 - 0,391 X_3 + 0,119 X_1 X_2 + 0,324 X_2 X_3 + 0,031 X_1 X_3 - 0,004 X_1 X_2 X_3; \quad (11)$$

– при $\lambda = 70^\circ$:

$$K_L = 1,624 - 0,274 X_1 - 0,064 X_2 - 0,016 X_3 + 0,054 X_1 X_2 - 0,064 X_2 X_3 + 0,026 X_1 X_3 - 0,311 X_1 X_2 X_3; \quad (12)$$

$$K_A = 1,659 - 0,031 X_1 - 0,081 X_2 - 0,136 X_3 + 0,149 X_1 X_2 + 0,014 X_2 X_3 + 0,039 X_1 X_3 - 0,111 X_1 X_2 X_3. \quad (13)$$

Результати аналізу структури одержаних рівнянь показує, що для зменшення ступеня деформації зрізуваного шару необхідно збільшувати кут нахилу різальної кромки λ , передній кут γ_n , товщину зрізуваного шару a та швидкість різання V .

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів регресії для визначення коефіцієнтів потовщення стружки

№ з/п	λ , град	Діапазони варіювання чинників		Значення коефіцієнтів регресії												
		γ_n , град	a , мм	V , м/с	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{23}	b_{13}	b_{123}				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
1	20	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	2,218	-0,528	-0,198	-0,215	0,178	0,170	0,145	-0,150				
2				2,8-4,5	2,175	-0,565	-0,320	0,173	0,290	-0,293	-0,183	0,263				
3				1,4-2,8	1,876	-0,613	-0,144	-0,061	0,106	-0,016	-0,001	0,004				
4				2,8-4,5	1,760	-0,220	-0,095	-0,055	0,055	0,065	0,025	-0,055				
5	45	0-(-30)	0,05-0,15	1,4-2,8	2,821	-0,076	-0,494	-0,391	0,119	0,324	0,031	-0,004				
6				2,8-4,5	2,553	0,188	-0,433	0,123	-0,178	-0,263	0,233	-0,293				
7				1,4-2,8	2,164	-0,044	-0,164	-0,076	-0,086	-0,009	0,016	0,509				
8				2,8-4,5	1,964	0,016	-0,156	-0,124	0,006	0,016	0,041	0,104				
9	70	0-(-30)	0,05-0,15	1,4-2,8	2,051	-0,359	0,015	-0,285	0,005	0,003	0,140	0,028				
10				2,8-4,5	1,758	-0,104	-0,001	-0,024	0,021	-0,019	0,104	-0,005				
11				1,4-2,8	1,884	-0,234	0,130	-0,164	0,109	0,119	0,124	-0,044				
12				2,8-4,5	1,681	0,129	-0,071	-0,039	0,013	0,004	0,004	0,058				
13	45	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	2,366	0,044	-0,129	-0,331	0,139	0,044	-0,094	-0,069				
14				2,8-4,5	1,954	-0,096	-0,101	-0,079	0,079	-0,016	-0,046	0,009				
15				1,4-2,8	2,055	0,063	-0,178	-0,178	-0,120	0,110	-0,110	-0,141				
16				2,8-4,5	1,758	-0,015	-0,095	-0,120	0,003	-0,023	0,033	0,070				
17	70	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	1,508	-0,120	0,063	-0,103	-0,005	-0,458	-0,005	0,030				
18				2,8-4,5	1,375	-0,148	-0,020	-0,030	0,018	-0,015	-0,023	-0,008				
19				1,4-2,8	1,511	-0,076	-0,059	-0,134	0,049	0,036	0,029	0,004				
20				2,8-4,5	1,358	-0,073	0,003	-0,020	0,058	0,025	-0,025	0,005				
21	45	0-(-30)	0,05-0,15	1,4-2,8	1,659	-0,031	-0,081	-0,136	0,149	0,014	0,039	-0,111				
22				2,8-4,5	1,504	0,019	-0,036	-0,024	-0,006	0,026	0,006	-0,044				
23				1,4-2,8	1,508	0,080	-0,070	-0,115	-0,038	0,008	-0,048	0,025				
24				2,8-4,5	1,424	0,006	-0,044	0,031	-0,011	0,019	-0,026	0,001				

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів регресії для визначення коефіцієнтів укорочення стружки

№ з/п	λ , град	Діапазони варіювання чинників		Значення коефіцієнтів регресії											
		γ_n , град	α , мм	V , м/с	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{23}	b_{13}	b_{123}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	20	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	1,860	-0,290	-0,050	-0,040	0,045	-0,090	-0,018	0,080			
2				2,8-4,5	1,740	-0,260	-0,130	-0,080	0,100	0,005	0,043	-0,020			
3			0,15-0,25	1,704	-0,190	-0,106	-0,114	0,744	0,016	0,036	-0,024				
4			2,8-4,5	1,534	-0,146	-0,064	0,351	0,011	0,016	0,009	-0,014				
5		0-(-30)	0,05-0,15	1,4-2,8	2,549	-0,406	-0,414	-0,254	0,321	-0,474	0,231	-0,216			
6				2,8-4,5	2,151	-0,151	-0,334	-0,144	0,099	0,031	0,024	-0,006			
7			0,15-0,25	1,971	-0,076	-0,164	-0,181	-0,009	0,024	0,031	0,016				
8			2,8-4,5	1,723	-0,043	-0,095	-0,068	0,010	0,170	0,003	-0,015				
9	45	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	1,786	-0,251	-0,104	-0,076	0,089	-0,061	0,011	0,036			
10				2,8-4,5	1,651	-0,209	-0,136	-0,059	0,109	0,029	0,031	-0,016			
11			0,15-0,25	1,614	-0,144	-0,069	-0,134	0,019	0,004	0,024	-0,024				
12			2,8-4,5	1,449	-0,109	-0,066	-0,031	-0,009	-0,001	0,011	-0,004				
13		0-(-30)	0,05-0,15	1,4-2,8	2,290	-0,253	-0,330	-0,215	0,138	0,045	0,128	-0,143			
14				2,8-4,5	1,995	-0,135	-0,280	-0,080	0,035	0,005	-0,019	0,040			
15			0,15-0,25	1,863	-0,105	-0,123	-0,163	0,035	0,033	0,005	-0,005				
16			2,8-4,5	1,641	-0,084	-0,074	-0,059	0,016	0,016	0,016	-0,014				
17	70	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	1,624	-0,274	-0,064	-0,016	0,054	-0,064	0,026	-0,311			
18				2,8-4,5	1,526	-0,204	-0,121	-0,081	0,059	0,006	0,044	-0,009			
19			0,15-0,25	1,466	-0,169	-0,094	-0,054	0,051	0,026	0,036	-0,004				
20			2,8-4,5	1,335	0,223	-0,050	-0,058	0,038	0,018	0,025	-0,010				
21		0-(-30)	0,05-0,15	1,4-2,8	2,253	-0,355	-0,438	0,205	0,320	0,090	-0,285	-0,168			
22				2,8-4,5	1,808	-0,078	-0,258	-0,175	0,078	0,090	0,050	-0,588			
23			0,15-0,25	1,661	-0,025	-0,155	-0,135	0,010	0,045	0,045	-0,015				
24			2,8-4,5	1,469	-0,006	-0,081	-0,055	0,006	0,029	0,006	0,001				

Використання косокутної геометрії ножів для ступінчастих фрез полегшить умови зрізання тонких шарів зрізу, що особливо важливо для чистового фрезерування, де має місце різання з товщинами зрізу, близькими до радіуса округлення різальних кромки.

Співвідношення між кутами ν і λ залежить від значень γ_n , V , a , а також кута λ . При варіюванні γ_n , V , a кут сходу стружки складає:

$$\nu = (0,85 - 1,38)\lambda \text{ при } \lambda = 20^\circ;$$

$$\nu = (0,58 - 1,03)\lambda \text{ при } \lambda = 45^\circ;$$

$$\nu = (0,55 - 0,98)\lambda \text{ при } \lambda = 70^\circ.$$

Таблиця 4

№ з/п	a, мм	λ, град	V, м/с	Кут сходу стружки ν, град при передньому куті γ _n , град		
				+ 30	0	- 30
1	0,05	20	1,4	24,55	18,85	17,00
2			2,8	22,80	17,40	17,00
3			4,5	23,20	18,15	17,90
4		45	1,4	42,95	36,40	26,00
5			2,8	40,55	31,90	28,95
6			4,5	42,75	33,80	32,05
7		70	1,4	62,30	52,90	38,70
8			2,8	62,05	50,40	39,50
9			4,5	61,45	50,90	47,10
10	0,15	20	1,4	23,20	19,50	18,45
11			2,8	23,20	21,45	20,70
12			4,5	25,25	23,05	20,85
13		45	1,4	42,50	33,35	28,70
14			2,8	43,45	37,30	34,50
15			4,5	44,05	39,50	36,60
16		70	1,4	59,45	51,30	50,00
17			2,8	62,80	55,70	51,50
18			4,5	67,25	59,70	54,20
19	0,25	20	1,4	23,45	22,60	19,10
20			2,8	25,80	25,20	21,30
21			4,5	27,55	25,40	21,10
22		45	1,4	41,30	36,80	32,35
23			2,8	46,10	40,10	36,50
24			4,5	46,55	42,30	36,70
25		70	1,4	68,30	61,20	55,80
26			2,8	65,25	63,55	55,50
27			4,5	66,75	61,80	55,65

В результаті обробки експериментальних даних при $\gamma_n = 0^\circ - (-30^\circ)$; $a = 0,05 - 0,15$ мм; $V = 1,4 - 2,8$ м/с одержані залежності (табл. 5):

- при $\lambda = 20^\circ$:

$$\nu = 18,8 + 0,506X_1 + 1,23X_2 + 0,344X_3 - 0,056X_1X_2 + 0,706X_2X_3 - 0,219X_1X_3 + 0,144X_1X_2X_3; \tag{14}$$

- при $\lambda = 45^\circ$:

$$\nu = 32,1 + 2,500X_1 + 1,330X_2 + 1,030X_3 - 0,738X_1X_2 + 1,41X_2X_3 - 1,160X_1X_3 + 0,700X_1X_2X_3; \tag{15}$$

- при $\lambda = 70^\circ$:

$$\nu = 48,8 + 43,830X_1 + 3,380X_2 + 0,530X_3 - 2,450X_1X_2 + 0,950X_2X_3 - 0,050X_1X_3 + 0,780X_1X_2X_3. \tag{16}$$

Таблиця 5

Значення коефіцієнтів регресії для визначення кута сходу стружки

№ з/п	λ , град	Діапазони варіювання чинників			Значення коефіцієнтів регресії								
		γ_n , град	a , мм	V , м/с	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{23}	b_{13}	b_{123}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	20	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	21,40	2,069	0,469	-0,156	-0,706	0,644	-0,281	-0,206	
2			2,8-4,5	21,80	1,800	1,430	0,600	-0,813	0,313	0,013	0,100		
3			0,15-0,25	1,4-2,8	23,10	0,863	1,210	0,863	-0,500	0,375	-0,275	0,213	
4			2,8-4,5	24,60	0,838	1,380	0,700	-0,150	-0,213	0,250	0,138		
5	20	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	18,80	0,506	1,230	0,344	-0,056	0,706	-0,219	0,144	
6			2,8-4,5	19,60	0,225	1,730	0,650	0,513	-0,213	-0,063	0,425		
7			0,15-0,25	1,4-2,8	21,04	1,150	1,410	1,130	0,700	0,075	0,013	0,088	
8			2,8-4,5	22,40	1,390	0,869	0,219	0,656	-0,219	0,231	-0,131		
9	20	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	38,60	3,810	0,600	-0,250	0,013	1,480	-0,113	-0,639	
10			2,8-4,5	39,20	3,540	1,910	0,863	-0,863	-0,163	-0,163	-0,238		
11			0,15-0,25	1,4-2,8	40,40	2,980	1,210	1,380	-0,850	0,150	0,063	0,813	
12			2,8-4,5	42,40	2,620	1,340	0,681	-0,056	-0,019	-0,419	-0,019		
13	20	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	32,10	2,500	1,330	1,030	-0,738	1,410	-1,160	0,700	
14			2,8-4,5	34,30	1,300	2,650	1,160	0,125	-0,086	-0,138	0,175		
15			0,15-0,25	1,4-2,8	35,20	2,190	1,740	1,900	0,325	-0,538	-0,588	-0,125	
16			2,8-4,5	38,00	-1,571	0,961	0,836	0,451	-0,231	0,276	0,244		
17	20	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	57,10	4,550	0,213	0,638	-0,738	1,300	0,138	-0,040	
18			2,8-4,5	58,80	4,610	2,580	1,040	-0,944	1,070	-0,081	0,194		
19			0,15-0,25	1,4-2,8	60,50	2,650	3,230	0,484	-1,160	-1,450	-1,160	-0,090	
20			2,8-4,5	62,50	2,310	1,090	1,420	-1,350	-0,690	0,815	0,703		
21	20	0-(+30)	0,05-0,15	1,4-2,8	48,80	3,830	3,380	0,525	-2,450	0,950	-0,050	0,775	
22			2,8-4,5	51,10	3,050	4,150	1,850	-0,625	-0,175	-0,725	1,050		
23			0,15-0,25	1,4-2,8	55,60	2,370	3,440	0,994	0,994	-0,481	0,694	-0,031	
24			2,8-4,5	57,20	2,990	1,930	0,160	0,560	-1,040	-0,080	-0,400		

Аналіз структури одержаних рівнянь показує, що збільшення кута сходу стружки відбувається при зростанні кута нахилу різальної кромки λ , переднього кута γ_n , товщини зрізаного шару a та швидкості різання V .

Висновки

1. Експериментально встановлено, що при обробці сталі інструментами з кутами нахилу різальної кромки $\lambda > 20^\circ$ процес різання характеризується значно меншими ступенями деформації зрізаного шару.
2. Експериментально обґрунтовано, що при чистовій обробці може бути застосована косокутна геометрія, що призводить до збільшення кутів сходу стружки, а значить і до збільшення робочих передніх кутів інструмента.
3. Дослідження показали, що для зменшення деформацій зрізаного шару необхідно збільшувати значення передніх кутів у нормальному перерізі, товщин перерізу та швидкостей різання для ножів торцевих фрез.
4. Одержані математичні залежності коефіцієнтів усадки стружки та кута сходу стружки від кута нахилу різальної кромки, переднього кута, товщини перерізу, швидкості різання дозволяють використовувати їх при розрахунках сил різання, що виникають при торцевому фрезеруванні.
5. На основі виконаних досліджень запропонована геометрія та схема різання безвершинних ступінчастих фрез косокутного різання підвищеної працездатності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Цфасс М.Д. Исследование чистового точения бескислородной меди резами с одной прямолинейной режущей кромкой / Научные труды Саратовского политехнического института. – Саратов, 1970. – Вып. 45. – С. 160–166.
2. Кунпер Э.Е. Исследование процесса образования неровностей поверхности при обработке коррозионностойких сталей лезвийными инструментами: Дисс... канд. техн. наук. – Брянск, 1970.
3. Бобров В.Ф. Некоторые вопросы стружкообразования при свободном косоугольном резании. – В кн.: Прогрессивная технология машиностроения. – Тула, 1966. – С.111–115.
4. Львов Н.П. Влияние угла наклона главной режущей кромки на составляющие силы резания при несвободном точении закаленных сталей // Вестник машиностроения. – 1966. – Вып. 2.
5. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.: Машиностроение, 1969. – 150 с.
6. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – С. 367.
7. Kronenberg M. Gedanken zur Theorie und Praxis der Ultra-Schnellzerspannung / Tech. Zbl. prakt. Metallbearb. – 1961. – Bd. 55. – № 8. – S. 443–446.
8. Грановский Г.И. Кинематика резания. – М.: Машгиз, 1948.
9. Stabler G.V. The Fundamental Geometry of cutting Tools, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, vol. 165, 1951.
10. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. – М.: Машгиз, 1962.
11. Allen A. Some aspects of fundamental research in metal cutting and its application. – Australie, Engg., 1951.
12. Passannanti Antonio Influenza dei parametri di taglia sull'angolo di stuggita del truciolo nel taglio abliguo. Tech ital, 1975, 40, № 4–6.
13. Карсетский Г.И. Исследование технологических особенностей механической обработки труднообрабатываемых материалов твердосплавным инструментом с большим углом наклона главной режущей кромки: Дисс... канд. техн. наук. – Тюмень, 1974.
14. Shaw M.C., Smith P.A., Cook N.H. The Rotary cutting Tool, Transactions of the ASME, vol. 74, № 6, 1952.

15. Романов И.Ф., Голубев С.А. Влияние угла наклона винтовых зубьев на стойкость цилиндрических фрез при обработке жаропрочных сплавов. – В кн.: Станки и инструмент. – 1956. – Вып. 1. – С. 19–21.
16. Голубев С.А. Влияние угла наклона винтовых зубьев фрез на их стойкость. – В кн.: Станки и инструмент. – 1959. – Вып. 10. – С. 34–35.
17. Кравченко Б.А. и др. Фрезерование торцовыми фрезами, оснащенными сверхтвердыми материалами // Синтетические алмазы. – 1977. – Вып. 3.
18. Виговський Г. Сили різання при обробці торцевими фрезами косокутного різання // Вісник Тернопільського державного технічного університету, т. 4. – 1999. – С. 148–153.
19. Вьговский Г.Н., Мельничук П.П. Конструкции и эксплуатация торцовых фрез с ножами из сверхтвердых материалов // Тяжелое машиностроение. – 1999. – Вып. 6. – С. 25–27.
20. Боровский Г.В. Особенности и эффективность внедрения в машиностроение режущего инструмента из композитов // Станки и инструмент. – 1984. – Вып. 7. – С. 12–14.
21. Виговський Г.М., Мельничук П.П. Процес різання торцевими ступінчастими фрезами з косокутною геометрією різальних частин, що оснащені надтвердими матеріалами (НТМ) // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 7. – С. 73–81.

ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович – заступник першого проректора Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- дослідження у галузі обробки металів різанням;
- проектування ріжучого інструменту.

ГРОМОВИЙ Олексій Андрійович – асистент кафедри “Технологія машинобудування та конструювання технічних систем” Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – кандидат технічних наук, доцент, перший проректор Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- дослідження у галузі механіки руйнування;
- технологія машинобудування.

Подано 03.12.1999.