

УДК 621.91

Г.І. КОСТЮК, О.М. МЕЛКОЗЬОРОВА, Р.В. ВОРОПАЙ, А.О. БРЕУС

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

ЭФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ 45 РІЗАЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ З ПОКРИТТЯМ

Наведено залежності об'єму матеріалу, що знімається, за час роботи від зносу по передній і задній поверхні і розміру лунки ріжучого інструменту (PI). На прикладі обробки загартованої сталі 45 показано, що одного критерію ефективності обробки загартованих сталей PI з покриттям недостатньо, а необхідно використовувати багатокритеріальну оцінку - сумарний рейтинг, що враховує величину об'єму матеріалу, що знімається, за період стійкості, стійкість PI і продуктивність обробки. Показано, як можна вибрати режими обробки та матеріал PI з покриттям, що забезпечує високий сумарний рейтинг, з урахуванням адгезії.

Ключові слова: загартована сталь, знамаємий об'єм матеріалу, за період стійкості, стійкість ріжучого інструменту, продуктивність обробки, сумарний рейтинг, матеріал PI, покриття, адгезія.

Вступ

Наплавлення твердих сплавів на деталі, загартовування, цементация та інші види зміцнень призводять до істотної зміни геометрії деталі в результаті її короблення, через що вона вимагає подальшої обробки, найчастіше шліфування, але багато дефектів не можуть бути усунені шліфуванням. І тоді на перший план виступає точіння, яке забезпечує достатню точність і необхідну шорсткість [1-7].

У той самий час наплавлення твердих сплавів і детонаційне напилення неможливо використовувати деталі без наступної формоутворюючої обробки, тобто. вимагають використання точіння, стругання, фрезерування або іншої механічної обробки. Все це говорить про актуальність і важливість досліджень, що проводяться.

1. Прилади, матеріали та методи вимірювання

Досліджувався зношування різального інструменту (PI) – пластини H13A виробництва фірми «Сандвік Коромант» з покриттям 0,18 HfN + 0,82 ZrN при точенні сталі 45, загартованої в маслі при температурі 800° С (витримка 20 хвилин) і високий відпустка при температурі 600° С (витримка 50 хвилин). Структура сталі – сорбіт відпустки, твердість 59 HRC.

Покриття 0,18 HfN + 0,82 ZrN наносилося при потенціалі на підкладці 350 В, тиск азоту $P = 3 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст, час нанесення покриття – 30 хв, мікротвердість – $H_{\mu} = 36$ ГПа.

Знос вимірювався на інструментальному та оптичному мікроскопах, де визначалися також розміри лунки на передній поверхні.

Точіння проводилося на модернізованому верстаті 1K62 при режимах різання: число обертів $n = 630$ об/хв, глибина різання – 0,25 – 0,5 мм, подача – 0,15 – 0,3 мм/об.

2. Результати експерименту та їх обговорення

Досліджувалась динаміка зносу по передній та задній поверхнях, а також розміри лунки.

Для виявлення ефективності обробки були побудовані залежності об'єму матеріалу, що знімається, за час роботи від зносу по передній і задній поверхні і розміру лунки PI, яка показана на рис. 1 – 4.

Об'єм обробки, що знімається, лінійно зростає від зносу по передній і задній поверхні, а розмір лунки залишається постійним при обробці загартованої сталі 40X PI: пластини Сандвік Коромант з комбінованим зміцненням передньої поверхні і покриття 0,18HfN+0,82ZrN, на задній поверхні.

Так як ефективність токарної обробки визначається в основному знімаємим об'ємом матеріалу за період стійкості [1-10] і, прийнявши критичний знос PI для чорнового точіння 0,6 мм, для напівчистового точіння 0,4 мм, а для чистового 0,25 мм, то можна визначити величину об'єму, що знімається, за період досягнення критичної шорсткості (технологічний критерій).

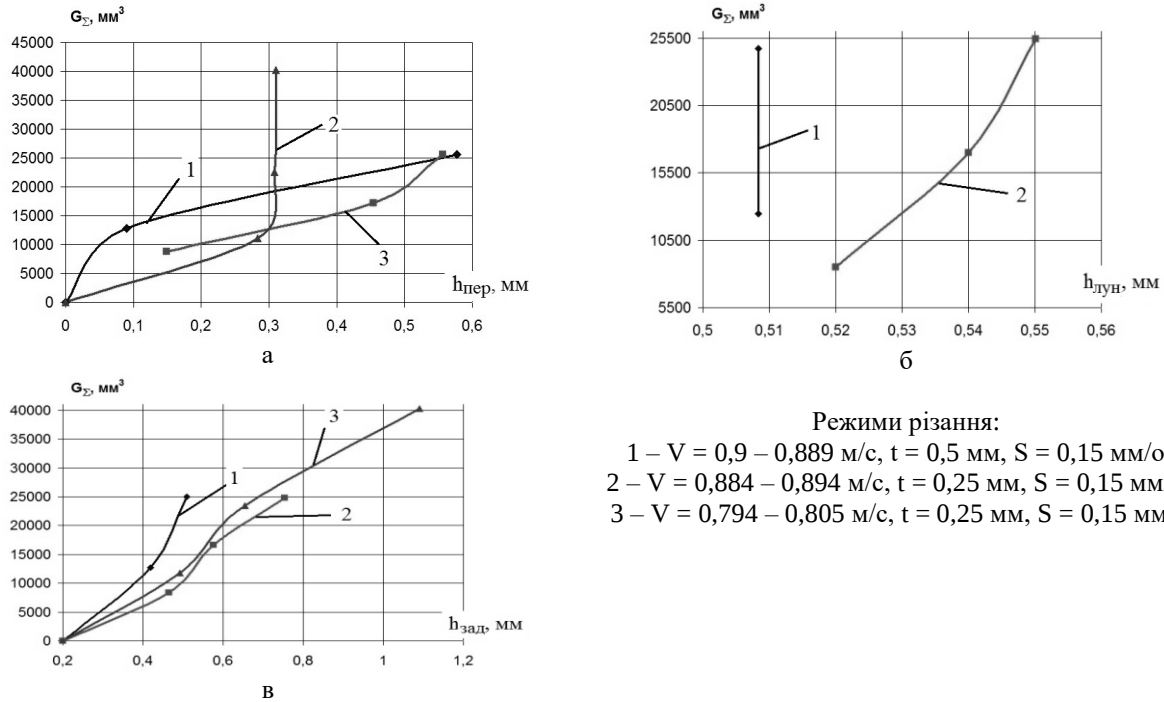


Рис. 1. Зміна об'єму матеріалу, що знімається, за час роботи PI (СК) з покриттям 0,18 HfN + 0,8 ZrN + Al₂O₃ і комбінованим зміцненням від зносу по передній (а), задній (в) і розміру лунки (б) при обробці загартованої сталі 45 HRC = 49

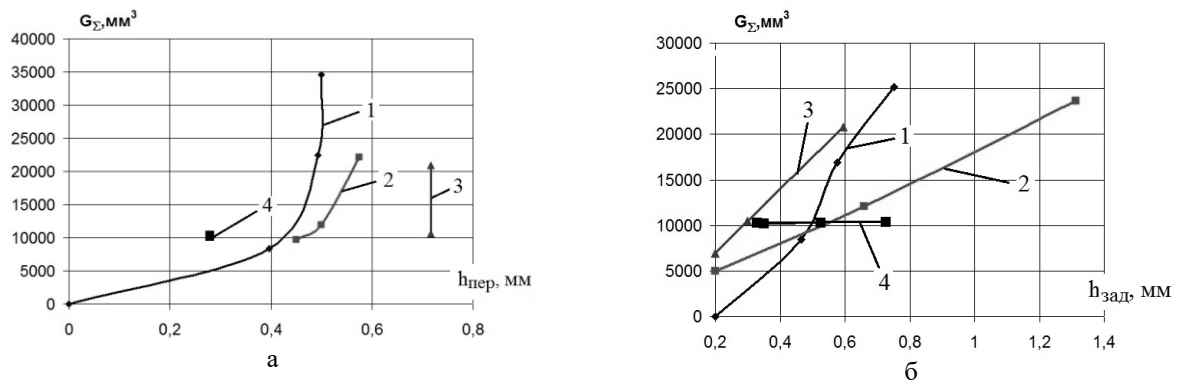


Рис. 2. Зміна об'єму матеріалу, що знімається, за час роботи PI (Сандвік Коромант – Н13, з покриттям 0,18 HfN + 0,8 ZrN) від зносу по передній (а) і задній (б) поверхні при точінні загартованої сталі 45 (режими різання: 1 - $V = 2,54 - 2,58$ м/с, $t = 0,35$ мм, $S = 0,15$ мм/об; 2 - $V = 3,38 - 3,44$ м/с, $t = 0,35$ мм, $S = 0,15$ мм/об; 3 - $V = 836,8 - 822,4$ мм/с, $t = 0,35$ мм, $S = 0,15$ мм/об; 4 - $V = 821 - 805$ мм/с, $S = 0,12$ мм/об)

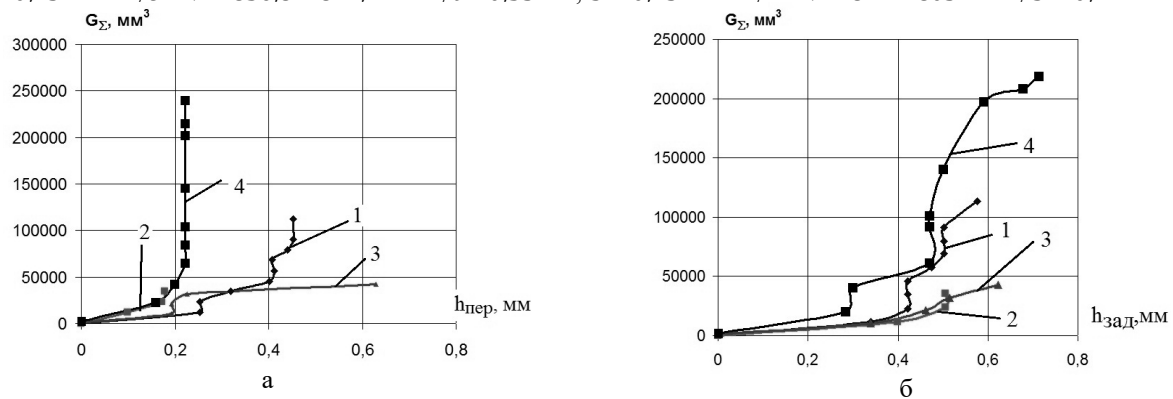


Рис. 3. Зміна об'єму матеріалу, що знімається, за час роботи PI (MC221, з покриттям TiN) від зносу по передній (а) і задній (б) поверхні при точінні загартованої сталі 45 (режими різання: 1 - $V = 8,608 - 8,158$ м/с, $t = 0,35$ мм, $S = 0,15$ мм/об; 2 - $V = 8,734 - 8,63$ м/с, $t = 0,35$ мм, $S = 0,15$ мм/об; 3 - $V = 8,106 - 8,002$ м/с, $t = 0,35$ мм, $S = 0,15$ мм/об; 4 - $V = 8,002 - 8,786$ м/с, $t = 0,35$ мм, $S = 0,35$ мм/об)

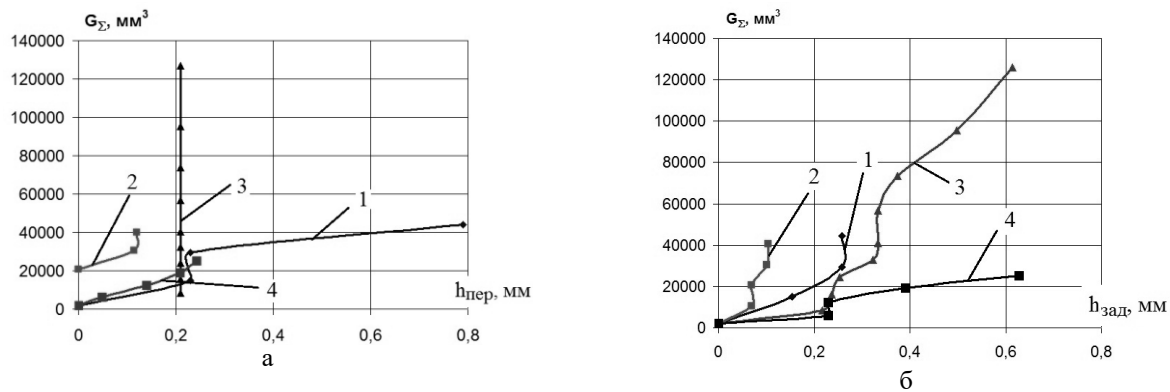


Рис. 4. Зміна об'єму матеріалу, що знімається, за час роботи ПІ (Sandvik Corporation 3210, з покриттям 0,18HfN+0,82ZrN) від зносу по передній (а) і задній (б) поверхні при точенні загартованої сталі 45 (режими різання: 1 – $V=0,805\text{--}0,784$ м/с, $t=0,5$ мм, $S=0,15$ мм/об; 2 – $V=0,7803\text{--}0,894$ м/с, $t=0,5$ мм, $S=0,15$ мм/об; 3 – $V=0,88891\text{--}0,8211$ м/с, $t=0,5$ мм, $S=0,15$ мм/об; 4 – $V=0,88891\text{--}0,8211$ м/с, $t=0,5$ мм, $S=0,15$ мм/об)

Аналогічні дослідження проведені також для комбінованого ПІ при іншому режимі обробки, глибина зменшилася до 0,25 мм, а подача і швидкість різання залишилися майже такими ж. Для цього випадку є можливість визначення величини об'єму, що знімається, за критерієм знос по задній поверхні 0,6 мм - чорнова обробка 0,4 мм - напівчистова, 0,25 мм - чистова обробка. На жаль, результати відносно не високі за величиною обсягу, що знімається за період стійкості. Були проведені дослідження для цього зміцнення з глибиною різання 0,35 мм, зі швидкістю різання 2,56 м/с і тією ж подачею. Виявилось, що суттєве збільшення швидкості різання більш ніж 2,7 рази практично не знижує об'єм, що знімається за період стійкості. Що говорить про те, що комбіноване зміцнення ефективно при високих швидкостях різання (рис. 2 а, б крива 1). Для ПІ – пластина Сандвік Коромант (Н13) з покриттям 0,18HfN+0,82ZrN при точінні із загартованою сталлю 45 при ще більш високих швидкостях різання (3,7 м/с і тих же інших умовах) показує вищий об'єм, що знімається. При більш низьких швидкостях різання (рис. 2 а, б, крива 4) 0,822 м/с, але при більш низькій подачі 0,12 мм/с знижується обсяг дещо впав. Все це говорить про не дуже ефективну роботу покриття Сандвік Коромант. Застосування ріжучого інструменту MC 221 з тим же покриттям призводить до істотної стабілізації результатів і підвищенням об'єму, що знімається, за період стійкості. За винятком тих випадків, коли відбувається термопружний шпиль леза (рис. 3 а, б крива 1). У цьому випадку є можливість отримання об'єму, що знімається за період стійкості більше $1\text{--}2,4 \cdot 10^5$ мм³ (рис. 3), хоча при реалізації сколу його значення становлять не більше $4,4 \cdot 10^4$ мм³ (рис. 4 а, б, крива 1). Додаткові дослідження працездатності із пластины Сандвік Коромант 3210 показали відносно невисокі результати через сколу пластины (рис. 4 а, крива 2). Тоді як в інших експериментах практично при тих же режимах реалізується знімається обсяг

матеріалу за період стійкості досягає $1,28 \cdot 10^5$ мм³, хоча при тих же режимах і тому ж ПІ реалізується знімається обсяг навіть менше $3 \cdot 10^4$ мм³. Все це говорить, про не стабільне розподілення зміцнених ділянок у матеріалі деталі, загартованої (загартованої HRC = 49).

На підставі наведених досліджень складена табл. 1, де дано значення об'єму матеріалу, що знімається (загартована сталь 45 HRC = 49) за період стійкості ПІ при чорновому точінні (критерій – знос по задній поверхні $h_{\text{зп}} = 0,6$ мм), при полувчистовому точінні ($h_{\text{зп}} = 0,4$ мм) та чистовому точінні ($h_{\text{зп}} = 0,25$ мм) загартованої сталі 45 (HRC = 49) пластинами Н13 Сандвік Коромант з комбінованим зміцненням (покриття 0,18 HfN + 0,82 ZrN + лазерна модифікація перед-ній поверхні) і тільки з покриттям 0,18 HfN + 0,82 ZrN, пластинами з MC221 (трикарбідний ПС) з покриттям 0,18 HfN + 0,82 ZrN та пластинами з T15K6 з покриттям 0,18 HfN + 0,82 ZrN. У таблиці дано стійкість ПІ з цих твердих сплавів T_p і продуктивність обробки П, представлені рейтинги R_i по G , T_p і П і дані режими різання їх реалізують.

Подана табл. 1 в залежності від виду обробки (чорнова, напівчистова або чистова обробка) дозволяє знайти найбільш ефективний режим різання по максимуму величини об'єму матеріалу, що знімається, а також визначити стійкість (визначає частоту зміни інструменту) і продуктивність, що визначає час на обробку однієї деталі і число деталей, які можуть бути оброблені однією або всіма різальними гранями пластины, а значить і визначити потрібну кількість пластин для обробки всіх деталей партії.

У всі досліджені проміжки часу необхідно визначити ефективність обробки, яку оцінимо за величиною обсягу, що знімається, за період стійкості і динаміці зносу по задній поверхні (прийємо критерієм зносу досягнення зносу по задній поверхні $h_{\text{зп}} = 0,4$ мм). Ми зможемо визначити об'єм, що

Таблица 1

Об'єм матеріалу, що знімається, за період стійкості G , стійкість T і продуктивність P та режими різання її реалізують при точинні загартованої сталі 45 (HRC=49) (покрита $P1 - 0,18\text{HfN} + 0,82\text{ZrN}$)

Матеріал РІ	G, мм³ при h ₃ = 0,6	G, мм³ при h ₃ = 0,4	G, мм³ при h ₃ = 0,25	Режими різання			T _в , с	П, мм³/с	Рейтинг по			Сумарний рейтинг	№ режиму
				V, м/с	t, мм	S, мм/об			G	Tr	П		
Сандвік Коромант	4·10 ⁴	1,2·10 ⁴	7·10 ³	0,9	0,5	0,15	376	104,6	8	11	3	7	1
	1,8·10 ⁴	10 ³	3,8·10 ³	0,89	0,25	0,15	768	23,4	13	7	14	15	2
Сандвік Коромант + КУ	1,8·10 ⁴	-	-	0,89	0,35	0,15	256	46,1	14	13	9	16	3
Сандвік Коромант + КУ	2,2·10 ⁴	7,2·10 ³	5·10 ³	0,8	0,35	0,15	390	56,4	11	12	8	14	4
	1,7·10 ⁴	7·10 ³	4,2·10 ³	2,57	0,35	0,15	252	67,5	13	13	5	14	5
	2,2·10 ⁴	1,42·10 ⁴	8,2·10 ³	3,38	0,35	0,15	134	164,2	11	14	1	9	6
	2,2·10 ⁴	8,85·10 ³	8,1·10 ³	0,83	0,35	0,12	584	37,7	11	7	11	12	7
	1,0325·10 ⁴	1,025·10 ⁴	1,05·10 ⁴	0,83	0,35	0,12	482	21,8	16	10	14	18	8
Сандвік Коромант	4,47·10 ⁴ скол	-	-	0,79	0,5	0,15	750	59,6	6	8	7	6	9
	1,28·10 ⁵	7,7·10 ⁴	2,4·10 ⁴	0,85	0,25	0,15	450	28,4	4	11	13	11	10
	2,5·10 ⁵	1,88·10 ⁴	1,25·10 ⁴	1,35	0,25	0,15	4000	62,5	1	1	6	1	11
	5·10 ⁴ скол	-	-	0,77	0,35	0,15	1250	40	6	4	10	5	12
	2,4·10 ⁴	1,88·10 ⁴	1,25·10 ⁴	1,38	0,25	0,15	492	48,8	10	8	9	10	13
	2,11·10 ⁴	1,4·10 ⁴	8·10 ³	0,832	0,35	0,12	484	43,6	12	9	10	14	14
	3,1·10 ⁴	1,3·10 ⁴	0,8·10 ⁴	0,81	0,35	0,13	968	32,2	9	6	12	10	15
Сандвік Коромант	-	-	4,4·10 ⁴	0,795	0,5	0,15	750	57	7	8	8	8	16
	-	-	5,2·10 ⁴ h=0,1 мкм	0,74	0,35	0,15	1250	41,7	6	4	10	5	17
Сандвік Коромант	1,28·10 ⁵	7,5·10 ⁴	2,48·10 ⁴	0,847	0,25	0,15	4000	32	4	1	12	4	18
	2,4·10 ⁴	6,45·10 ³	1,24·10 ³	1,380	0,25	0,15	492	48	10	10	9	12	19
Сандвік Коромант	3,1·10 ⁴	1,3·10 ⁴	0,7·10 ⁴	0,815	0,35		1320	23,5	9	3	14	9	20
MC221	>1,3·10 ⁵	2·10 ⁴	10 ⁴	0,85	0,35	0,15	2590	50,2	3	2	9	2	21
	>8·10 ⁵	1,2·10 ⁴	7·10 ³	8,7	0,35	0,15	777	103	5	7	3	3	22
	4,1·10 ⁴	4,4·10 ⁴	2,3·10 ⁴	8,35	0,35	0,35	1036	39,6	7	5	10	7	23
MC221	2,1·10 ⁵	4,3·10 ⁴	2,05·10 ⁴	0,8	0,35	0,3	2590	81,1	2	2	4	1	24
T15K6	1,7·10 ⁴ скол	-	-	0,878	0,5	0,3	130	130,8	13	15	2	3	25
	1,1·10 ⁴ скол	-	-	0,876	0,35	0,5	720	15,3	15	9	15	17	26

знімається за період стійкості за величиною прогнозованої величини стійкості:

$$T_{\text{пр}} = \frac{h_{\text{зп.кр}}}{V_{\text{изн.зп}}} = \frac{h_{\text{зп.кр}} \times (t_3 - t_2)}{h_{\text{зп3}} - h_{\text{зп2}}}. \quad (1)$$

Получив період стойкости, можем получить величину прогнозируемого снимаемого объема за период стойкости как:

$$G_{\text{пр}} = \frac{G_3 - G_2}{t_3 - t_2} \times T_{\text{пр}} = \frac{G_3 - G_2}{t_3 - t_2} \times \frac{h_{\text{зп.кр}}(t_3 - t_2)}{h_{\text{зп3}} - h_{\text{зп2}}}, \quad (2)$$

де $h_{\text{зп.кр}}$ – знос, що допускається по задній поверхні;

$V_{\text{изн.зп}}$ – швидкість зношування по задній поверхні PI.

$h_{\text{зп3}}$ – знос по задній поверхні до кінця третього періоду роботи;

$h_{\text{зп2}}$ – знос по задній поверхні до кінця другого періоду роботи;

t_3 і t_2 – час роботи у третьому та у другому періодах;

G_3 і G_2 – об'єм матеріалу, що знімається за час t_3 і t_2 .

Такий підхід дозволяє прогнозувати знімається обсяг за період стійкості без проведення повномасштабного експерименту.

Перший критерій - об'єм матеріалу, що знімається, за період стійкості дає можливість отримати максимально можливий результат по матеріалу, що знімається з деталі, але який не враховує, як швидко досягається цей результат і який час може працювати PI, які часто є важливими.

Тоді, на наш погляд, ефективним критерієм повинен бути сумарний критерій, який враховує всі три, які помножені на відповідний ваговий коефіцієнт μ_i (від 0,1 до 1), який визначає важливість конкретного критерію для даного завдання обробки. Тоді величина Q визначається рейтинг по PI, покриття і режиму обробки знаходиться так:

$$Q = R_1 \cdot \mu_1 + R_2 \cdot \mu_2 + R_3 \cdot \mu_3.$$

Мінімальне значення Q дає перший сумарний рейтинг зі зростанням Q значення рейтингу збільшується.

Так, прийнявши $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 1$, тобто. рівнозначність критеріїв у таблиці дано рейтинги режимів, які враховують всі критерії. Видно, що перший багатокритеріальний рейтинг отримав режим 10, що має рейтинг 1, 1, 6 за відповідними однокритеріальними критеріями в порядку розгляду (PI – Сандвік Коромант з покриттям $V = 1,39$ м/с та MC221 ($V = 10,8$ м

/с)). Рейтинг: 2, 2, 9. Другий сумарний рейтинг має режим 21 з рейтингами 3, 2, 9 (PI – MC221 з покриттям, $V = 8,5$ м/с), третій багатокритеріальний рейтинг має режим 22 з відповідними однокритеріальними рейтингами 5, 7, 3 (PI – MC221 з покриттям, $V = 8,7$ м/с).

Для вирішення питання вибору покриттів на PI ефективних режимів обробки і зниження адгезійної взаємодії покриття з оброблюваним матеріалом [11-14] були проведені розрахунки енергії адгезії W_p і напруг зчеплення σ для різних покриттів, що працюють при обробці сталі ШХ15, 65Г, 40Х і стали 45 загартованих, що дозволило вибирати покриття з мінімальною адгезійною взаємодією (табл. 2), але в той же час мають високу стійкість до абразивного зносу.

Для сталі ШХ15 мінімальну адгезію має Si, який не може бути використаний у покриття, тоді як 0,2HfN+0,8ZrN має досить низьке адгезійне зчеплення і має високу твердість 36 ГПа, що виводить його на перший план при обробці сталі ШХ15. Для сталі 40Х по мінімуму адгезії також має Si, тоді як з урахуванням величини мікротвердості покриття, покриття 0,75TiN+0,25AlN і 0,2HfN+0,8ZrN мають пріоритети зниження як абразивного так і адгезійного зносу. Для загартованих сталей 65Г і стали 45 ті ж покриття 0,75TiN+0,25AlN і 0,2HfN+0,8ZrN мають найбільш вигідні властивості по зносостійкості.

Висновки

1. У роботі отримано новий багатокритеріальний рейтинг, що базується на рейтингах за трьома критеріями:

- максимальний об'єм матеріалу деталі, що знімається, за період стійкості PI при відповідних режимах різання і матеріалах PI і покриттів;
- максимальна стійкість PI при відповідних режимах різання, матеріалах PI та покриттів;
- максимальна продуктивність обробки (режими різання, матеріали PI та покриття).

2. Показана можливість прогнозу об'єму, що знімається, за період стійкості і стійкості пластини з покриттям при заданих режимах різання без повномасштабного експерименту.

3. Визначено, що динаміка зносу на передній поверхні при обробці загартованої сталі ШХ15 відрізняється від сталі 45: спочатку поблизу ріжучої кромки з'являється одна лунка на передній поверхні, яка з часом збільшується в довжину, причому глибина лунки зберігається і у самої різальної кромки покриття продовжує успішно працювати.

Таблица 2

Енергія адгезійної взаємодії W_p напруги схоплювання σ загартованих сталей
ШХ15, 40, 65Г і сталі45

	$W_p, \text{Дж/м}^2$	$\sigma, \text{МПа}$	$W_p, \text{Дж/м}^2$	$\sigma, \text{МПа}$	$W_p, \text{Дж/м}^2$	$\sigma, \text{МПа}$
Сталь	ШХ15		40Х		65Г, 45	
Покриття	$h = 10^{-8} - 10^{-5} \text{мм}$		$h = 10^{-8} - 10^{-5} \text{мм}$		$h = 10^{-8} - 10^{-5} \text{мм}$	
TiN	4,41	7780,42-246,04	4,11	7512,11-237,55	4,27	7649,13-241,89
AlN	3,98	6248,97-197,61	3,74	6053,61-191,43	3,86	6153,62-194,59
50TiN+50AlN	4,22	7047,25-222,85	3,95	6814,24-215,49	4,09	6933,35-219,25
75TiN+25AlN	4,05	6455,52-204,14	3,79	6250,51-197,66	3,92	6355,42-200,98
Ti	2,52	2876,86-90,97	2,40	2803,37-88,65	2,46	2841,16-89,85
TiB2	4,71	8183,13-258,77	4,42	7922,16-250,52	4,57	8055,69-254,74
TiB2	5,00	9280,75-293,48	4,67	8967,55-283,58	4,84	9127,58-288,64
Ti+TiB2	3,78	5749,09-181,80	3,55	5569,77-176,13	3,67	5661,57-179,03
HfN	3,91	5852,64-185,08	3,71	5696,54-180,14	3,81	5776,72-182,68
ZrN	4,31	7320,38-231,49	4,03	7076,76-223,79	4,18	7201,28-227,72
0,2HfN+0,8ZrN	4,27	7065,56-223,43	4,00	6838,49-216,25	4,14	6954,66-219,93
Ni	3,61	5154,65-163,00	3,45	5037,38-159,30	3,53	5097,79-161,21
Al	1,42	1785,02-56,45	1,40	1772,67-56,06	1,41	1779,11-56,26
Mg	1,16	1285,20-40,64	1,14	1275,28-40,33	1,15	1280,44-40,49
Al-3%Mg	1,41	1771,04-56,01	1,39	1758,72-55,62	1,40	1765,14-55,82
B	1,76	5077,74-160,57	1,60	4841,43-153,10	1,68	4960,99-156,88
50%Fe-25%Si-25%B	1,76	3886,25-122,89	1,60	3705,39-117,17	1,68	3796,90-120,07
50%Fe-50%Si	3,34	4581,31-144,87	3,17	4462,29-141,11	3,25	4523,46-143,04
Cu	2,40	3118,30-98,61	2,34	3077,04-97,30	2,37	3098,45-97,98
Mo	4,29	6646,62-210,18	4,07	6478,94-204,88	4,18	6565,17-207,61
Fe-63%TiN	4,26	6932,45-219,22	4,00	6717,70-212,43	4,14	6827,66-215,91
Ni-64%TiN	3,91	5907,95-186,83	3,69	5740,35-181,53	3,80	5826,34-184,24
MgO	3,37	5838,88-184,64	3,10	5604,49-177,23	3,24	5723,67-181,00
Ag	1,70	2174,92-68,78	-	-	1,69	2166,34-68,51
Ag-76%MgO	3,57	5466,02-172,85	5,42	-	3,46	5374,26-169,95
WC	5,81	11539,54-364,91	3,32	11150,32-352,60	5,62	11349,19-358,89
Co	3,46	4874,21-154,14	5,32	4774,72-150,99	3,39	4826,06-152,61
WC-10%Co	5,68	11009,72-348,16	4,27	10646,01-336,66	5,50	10831,94-342,54
TiN-50%TiB2	4,57	7983,95-252,47		7718,88-244,09	4,42	7854,37-248,38
Si3N4	4,51	8194,42-259,13	4,20	7905,95-250,01	4,36	8053,18-254,66
SiC	4,19	8036,78-254,15	3,88	7728,98-244,41	4,04	7885,71-249,37
TiC0,96	3,62	7283,95-230,34	3,33	6982,25-220,80	3,48	7135,50-225,64
BN	3,96	10110,62-319,73	3,63	9675,20-305,96	3,80	9896,09-312,94
Ti(B,N,C)	3,81	8777,44-277,57	3,49	8404,75-265,78	3,65	8593,91-271,76
TiSi2	1,10	3525,26-111,48	1,08	3499,66-110,67	1,09	3513,00-111,09
C	2,49	8633,95-273,03	2,26	8235,40-260,43	2,37	8437,11-266,80
TiN-Si3N4-TiSi2	2,22	5458,83-172,62	2,21	5445,15-172,19	2,22	5452,30-172,42
VN	4,15	6807,87-215,28	3,89	6586,25-208,28	4,02	6699,59-211,86
TiN/VN	4,29	7307,01-231,07	4,01	7061,56-223,31	4,15	7186,99-227,27
ZrB2	3,06	6947,14-219,69	2,79	6639,75-209,97	2,92	6795,55-214,89
Алмаз	5,10	11980,46-378,86	4,70	11502,56-363,74	4,90	11745,60-371,43
Zr	0,52	645,32-20,41	0,52	643,80-20,36	0,52	644,60-20,38
TiN/Zr	3,57	5090,22-160,97	3,42	4982,55-157,56	3,50	5038,09-159,32
AlN	3,98	6248,97-197,61	3,74	6053,61-191,43	3,86	6153,62-194,59
TiN/AlN	4,22	7047,25-222,85	3,95	6814,24-215,49	4,09	6933,35-219,25

Закінчення табл. 2

	$W_p, \text{Дж/м}^2$	$\sigma, \text{МПа}$	$W_p, \text{Дж/м}^2$	$\sigma, \text{МПа}$	$W_p, \text{Дж/м}^2$	$\sigma, \text{МПа}$
Сталь	ШХ15		40Х		65Г, 45	
Покриття	$h = 10^{-8} - 10^{-5} \text{мм}$		$h = 10^{-8} - 10^{-5} \text{мм}$		$h = 10^{-8} - 10^{-5} \text{мм}$	
TiB2+25TiN	4,64	8084,10-255,64	4,34	7820,97-247,32	4,49	7955,54-251,58
TiB2+50TiN	4,57	7983,95-252,47	4,27	7718,88-244,09	4,42	7854,37-248,38
TiB2+75TiN	4,26	7049,60-222,93	3,99	6822,55-215,75	4,13	6938,70-219,42
Cr2N	4,04	6313,77-199,66	3,80	6122,90-193,62	3,92	6220,69-196,72
Cr2N/Ni	3,88	5782,50-182,86	3,68	5628,35-177,98	3,78	5707,54-180,49
HfB2	3,02	7008,52-221,63	2,76	6697,17-211,78	2,89	6854,96-216,77
ZrN	4,29	7303,80-230,97	4,01	7058,51-223,21	4,15	7183,86-227,17
ZrN/Cu	3,82	5605,65-177,27	3,63	5465,48-172,83	3,72	5537,57-175,11
ZrN/Ni	4,10	6367,94-201,37	3,87	6184,76-195,58	3,98	6278,71-198,55
TiN/Si3N4	4,46	7989,63-252,65	4,16	7711,15-243,85	4,31	7853,32-248,34
WC	5,76	11335,85-358,47	5,38	10956,42-346,47	5,57	11150,33-352,60
WC/DLC/WS2	5,17	11107,94-351,26	4,78	10686,48-337,94	4,98	10901,14-344,72
Nb	2,12	2836,33-89,69	2,08	2809,54-88,85	2,11	2823,48-89,29
Fe-Nb-B	1,76	3789,68-119,84	1,60	3613,32-114,26	1,68	3702,55-117,08
Cr	3,17	4340,99-137,27	3,31	-	3,12	4301,41-136,02
Fe-25Cr-0,2Ti-0,12C	3,46	4857,95-153,62	5,36	4751,35-150,25	3,39	4806,30-151,99
WC-6%Co	5,74	11224,06-354,94	3,07	10850,05-343,11	5,55	11041,21-349,15
ZrO2	3,20	4349,81-137,55	-	4258,57-134,67	3,14	4305,64-136,16
ZrO2+3%Y2O3	3,19	4321,02-136,64	3,06	4230,52-133,78	3,13	4277,21-135,26
Al2O3	4,16	7306,59-231,05	3,87	7045,03-222,78	4,02	7178,47-227,00
Cu-0,4Cr	2,74	3626,90-114,69	2,66	3570,50-112,91	2,70	3599,71-113,83
Cu-0,4Cr	2,66	3502,16-110,75	2,58	3449,71-109,09	2,62	3476,89-109,95
Cu M1	4,46	7989,63-252,65	4,16	7711,15-243,85	4,31	7853,32-248,34
n-TiN/a-SiNx	3,50	4922,04-155,65	3,34	4808,86-152,07	3,42	4867,16-153,91
Ti-Si-N	3,95	5924,64-187,35	3,75	5771,35-182,51	3,85	5850,14-185,00
AlN/Cu	3,50	4922,04-155,65	3,34	4808,86-152,07	3,42	4867,16-153,91
TiN/Cu	3,95	5924,64-187,35	3,75	5771,35-182,51	3,85	5850,14-185,00
Zr	1,33	1700,52-53,78	1,31	1690,42-53,46	1,32	1695,69-53,62
Mo	4,33	6668,12-210,86	4,15	6528,27-206,44	4,25	6600,41-208,72
W	4,56	7560,87-239,10	4,29	7334,95-231,95	4,43	7450,72-235,61
Ag	1,70	2174,92-68,78	1,67	2157,03-68,21	1,69	2166,34-68,51
Ge	2,84	3498,85-110,64	2,68	3398,69-107,48	2,76	3450,06-109,10
nc-TiN/a-Si3N4	4,46	7989,63-252,65	4,16	7711,15-243,85	4,31	7853,32-248,34
nc-TiN/a-Si3N4/TiSi2	2,22	5458,83-172,62	2,21	5445,15-172,19	2,22	5452,30-172,42
Co-6%WCнано	3,73	5401,08-170,80	3,56	5282,61-167,05	3,65	5343,69-168,98
Co-2%WCнано	3,55	5052,76-159,78	3,40	4946,95-156,44	3,48	5001,53-158,16
Co-6%Wнано	3,73	5401,08-170,80	3,56	5282,61-167,05	3,65	5343,69-168,98
Co-0,92%Al2O3нано	3,48	4905,58-155,13	3,34	4804,61-151,94	3,41	4856,71-153,58
Co-3,3%Al2O3нано	3,52	4985,99-157,67	3,37	4881,16-154,36	3,45	4935,24-156,07
ZrO2	3,20	4349,81-137,55	3,07	4258,57-134,67	3,14	4305,64-136,16
Co-1,13%ZrO2нано	3,46	4868,35-153,95	3,32	4768,94-150,81	3,39	4820,24-152,43
Co-2,56%ZrO2нано	3,45	4860,93-153,72	3,31	4761,62-150,58	3,39	4812,87-152,20
Co-4,53%ZrO2нано	3,45	4850,70-153,39	3,31	4751,54-150,26	3,38	4802,71-151,88
Zn	2,49	2965,96-93,79	2,39	2905,55-91,88	2,44	2936,73-92,87
Zn-Ni	3,10	4107,18-129,88	2,96	4015,90-126,99	3,03	4062,95-128,48
TiNx(0.97)/Cu(0.03)	4,41	7692,41-243,26	4,11	7430,32-234,97	4,26	7564,20-239,20
Ti1-xAlxN(0.94)/ AlN(0.05)	3,97	6219,04-196,66	3,73	6024,71-190,52	3,85	6124,19-193,66
TaB2	4,57	8949,66-283,01	4,24	8615,29-272,44	4,41	8785,66-277,83

4. Принципово доведено можливість заміни шліфування точінням при обробці загартованих сталей.

5. Показана можливість отримання об'єму матеріалу, що знімається, за період стійкості, стійкості та продуктивності та визначення режимів різання для ефективної обробки.

6. Методика дозволяє визначити час обробки будь-якої поверхні загартованої деталі і оцінити потребу в пластинах для обробки всіх деталей у партії.

7. Створено методику оцінки адгезійної взаємодії загартованих сталей 40Х, 65Г, ШХ15 і сталі 45 з різними матеріалами покриттів, яка дозволяє з позиції підвищення працездатності покриттів на різучому інструменті вибирати їх з урахуванням абразивного зносу (максимум мікро та адгезійного зносу (мінімум адгезійного зчеплення).

8. Проведені дослідження дозволяють визначити ефективні покриття з точки зору максимального знімається обсягу, матеріалу за період стійкості, величини стійкості РІ і продуктивності процесу різання, а також дозволяє врахувати адгезійну взаємодію і, в кінцевому рахунку, визначити ефективні покриття для чорної, напівчистої та чистої обробки загартованих сталей.

9. Розроблено методику оцінки впливу адгезійної взаємодії загартованих сталей 40Х, ШХ15, 65Г і сталі 45 з різними покриттями, що дозволяє оцінити інтенсивність адгезійного схоплювання для плазмово-іонних покриттів $h_p = 10^5$ м. та нанопокриття $h = 10^{-8}$ м та призначення покриття за цим критерієм.

Література

1. Костюк, Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 1. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий [Текст] / Г.И. Костюк. - К.: изд-во АИНУ, 2002. - 596 с.
2. Костюк, Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 2. Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования [Текст] / Г.И. Костюк. - К.: изд-во АИНУ, 2002. - 482 с.
4. Костюк, Г.И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем: справочник [Текст] / Г.И. Костюк. - К.: «Антиква», 2003. - 412 с.
5. Костюк, Г.И. Физико-технические основы роботизированного производства [Текст]: учеб. пособие / Г.И. Костюк. - Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. - 614 с.
6. Kostyuk, G.I. The effective cutting tools having the coating and hardened layers [Text]: monograph-reference book / G.I. Kostyuk. - Kh.: National aerospace university named after N. E. Gukovsky «KNAI», 2007. - 633 p.
7. Костюк, Г.И. Исследование эффективности механической обработки стали 16ХЗМВФНБ-Ш РИ с покрытием 0,18НfN+0,82ZrN [Текст] / Г.И. Костюк, А.В. Фадеев, А.Н. Костюк // Машинобудування та прогресивні технології: сб. науч. тр. АИНУ. - Вып. 3. - Х., 2011. - С. 67-70.
8. Эффективность токарной обработки закаленной стали 40Х РИ с покрытием [Текст] / Г.И. Костюк, К.П. Исяк, И.С.Татаркина, А.А.Бреус // Технологии в машиностроении: сб. науч. тр. нац. техн. ун-та «ХПИ». - Вып. 3. - Х., 2011. - С. 9-12.
9. Исследование износа пластин с покрытием при эффективном точении закаленной стали 65Г [Текст] / Г.И. Костюк, И.В. Дощечкина, А.Н. Костюк, Р.В. Воронай // Технологии в машиностроении: сб. науч. тр. нац. техн. ун-та «ХПИ». - Вып. 3. - Х., 2011. - С. 50-54.
10. Костюк, Г.И. Повышение работоспособности покрытий на РИ при обработке сталей с учетом адгезионного взаимодействия [Текст] / Г.И. Костюк, В.А. Фадеев, О.О. Бруйка // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». - Вып. 3(63). - Х., 2010. - С. 63-72.
11. Экспериментальное исследование шероховатости поверхности деталей при чистовом точении стали 30Х14А РИ с покрытием 0,8ZrN+0,2НfN и без него [Текст] / Г.И. Костюк, А.И. Филиппенко, К.П. Исяк, А.Н. Костюк // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». - Вып. 3(63). - Х., 2010. - С. 117-128.
12. Деформация стружки после полустогового точения стали 39ХС и сплава ЭИ702 и чистового точения жаропрочной стали 30Х14А РИ с покрытиями [Текст] / Г.И. Костюк, В.Н. Степаненко, Е.Г. Костюк, А.Н. Костюк, Ю.Ю. Карамышев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». - Вып. 3(63). - Х., 2010. - С. 134-140.
13. Костюк, Г.И. Силы резания при обработке конструкционных материалов твердыми сплавами с различными покрытиями [Текст] / Г.И. Костюк, А.Ю. Миргородский, Хаки Махмуд Салех // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». - Вып. 3(63). - Х., 2010. - С. 165-172.

14. Исследование износа РИ с покрытием при его моделировании на машине трения [Текст] / Г.И. Костюк, А.В. Фадеев, А.Н. Куринной, Т.П. Босенко // Вопросы проектирования и производства

конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3(63). – Х., 2010. – С. 165 – 172.

Надійшла до редакції 31.01.2012.

Рецензент: д-р техн. наук., проф., зав. каф. Технології проектування авіаційних двигунів, А.І. Долматов, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

ЭФЕКТИВНОСТЬ ОБРОБКИ ЗАГАРТОВАННОЙ СТАЛИ 45 РИЗАЛЬНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С ПОКРЫТИЕМ

Г.И. Костюк, О.М. Мелкозьорова, Р. В. Воронай, А.О. Бреус

Приведені залежності знімає мого матеріалу за час роботи від зносу по передній та по задній поверхні та розміру лунки РІ. На прикладі обробки загартованої сталі 45 доведено, що одного критерію ефективності обробки загартованих сталей недостатньо, а необхідно застосовувати багатокритеріальну оцінку – сумарний рейтинг, враховуючи величину знімає мого об'єму матеріалу за період стійкості, стійкість РІ та продуктивність обробки. Показано, як можливо обирати режими обробки та матеріал РІ з покриттям забезпечуючи високий сумарний рейтинг, з врахуванням адгезії.

Ключові слова: загартована сталь, знімаємий об'єм матеріалу за період стійкості, стійкість ріжучого інструменту, продуктивність обробки, сумарний рейтинг, матеріал РІ, покриття, адгезія.

EFFICIENCY OF TREATMENT OF HARD-TEMPERED OF CHROMIUM STRUCTURAL STEEL OF CUTTING TOOL WITH COATING

G.I. Kostyk, O.M. Melkozerova, R.W. Voropay, A.A. Breus

Dependences of the removed volume of a material for an operating time from deterioration on a forward and back surface and hole CT are resulted the size. It is rotined on the example of treatment of hard-tempered chromium of structural steel, that one criterion of efficiency of treatment hard-tempered steels CT with coating not enough, and it is necessary to use a multicriterion estimation – total rating, taking into account the size of the taken off volume of material for period of durability, durability of CT and productivity of treatment. It is rotined, as possible to choose the modes of treatment and material of CT with coating providing high total rating, take into account adhesion.

Keywords: hard-tempered steel, taken off volume, to time durability CT, productivity of treatment, adhesion.

Костюк Геннадій Ігорович – д-р техн. наук., проф., зав. кафедри Теоретичної механіки, машинобудування та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

Мелкозьорова Ольга Михайлівна – асп. каф. Теоретичної механіки, машинобудування та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна, e-mail: olja.mex@gmail.com.

Воронай Руслан Володимирович – асп. каф. Теоретичної механіки, машинобудування та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна.

Бреус Андрій Олександрович – асист. каф. Теоретичної механіки, машинобудування та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна.