

В.С. Майборода, д.т.н., проф.

Н.В. Ульяненко, аспір.

Національний технічний університет України "КПІ"

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОФІЛЮ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТА ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Досліджено вплив комплексної магнітно-абразивної обробки (МАО) і нанесення спеціальних зносостійких покриттів на твердосплавний різальний інструмент на стан мікрогеометрії поверхні та поверхневу твердість. Показано доцільність використання підготовчої МАО перед нанесенням покриттів та поліруючо-зміцнюючої МАО після нанесення покриттів на якість поверхні інструмента.

Вступ. Стан мікрогеометрії робочих поверхонь різального інструмента багато в чому визначає його експлуатаційні показники [1], які значною мірою залежать від умов контактної взаємодії інструмента з оброблюваною деталлю: силами різання, площею фактичного контакту окремих елементів робочих поверхонь з оброблюваною поверхнею, умовами та силами тертя на задній і передній поверхнях, безпосередньо на різальному лезі. Активно взаємодіє з оброблюваною поверхнею більше 70–80 % висоти мікронерівностей робочих поверхонь різального інструмента, а не тільки його вершини, як це передбачається в розрахунках на тертя і знос [2–4]. Тому важливим параметром, що характеризує мікрорельєф поверхонь інструмента, є зміна величини відносної опорної поверхні t_p у залежності від відносної висоти p нерівностей. При цьому запропонована для опису залежність зміни опорної поверхні від величини рівня степенева функція [2], що описує початкову частину кривої – до відносної висоти рівня 0,3–0,4, є явно недостатньою.

Сучасні методи зміцнення різального інструмента, як правило, пов'язані з поверхневою обробкою, яка передбачає механічний, фізичний, хімічний, хіміко-термічний вплив, нанесення спеціальних покриттів. Для більшості застосовуваних методів поверхневого зміцнення різального інструмента характерна зміна мікрогеометрії поверхні у бік погіршення – збільшення величини R_a , зміни функції $t_p(p)$ та ін. Подібне погіршення мікропрофілю має місце і при нанесенні покриттів на різальний інструмент із використанням методів хімічного та фізичного осадження покриттів (CVD і PVD). Забезпечуване при цьому підвищення стійкості різального інструмента пов'язане, в основному, з формуванням на поверхні тонкого шару з підвищеною твердістю, зносостійкістю, теплостійкістю. Істотним резервом підвищення стійкості є регульований вплив на стан мікрогеометрії нанесених покриттів та їх напружений стан. Традиційні методи фінішної обробки, що застосовуються для обробки покриттів, обмежені за своїми можливостями і можуть ефективно використовуватися при обробці товстошарових покриттів. Обробка ж покриттів товщиною до 10 мкм вимагає використання «м'якого» інструмента, який нівелює щодо оброблюваної поверхні, створюючи регульований локальний вплив на виступаючі мікронерівності, не приводячи при обробці до видалення покриття або оголення на окремих ділянках субстрату (підкладки). При цьому необхідне забезпечення рівномірної обробки всіх робочих елементів різального інструмента. Саме такі умови реалізуються у методі магнітно-абразивної обробки (МАО) [5, 6].

Необхідні умови обробки забезпечуються в методі МАО спеціальним сформованим магнітно-абразивним інструментом (МАІ), у якого окремі частинки та їх групи знаходяться в рухливо-скоординованому стані відносно оброблюваної поверхні [7]. Причому твердість такого МАІ може регулюватися в широких межах шляхом зміни енергії магнітного поля, що є віртуальною зв'язкою у МАІ, варіюванням реологічних властивостей МАІ, зміною особливостей руху оброблюваних поверхонь.

Раніше викопані експериментальні дослідження впливу МАО на стан поверхні різального інструмента як перед нанесенням покриттів [8], так і після нанесення, як методом хіміко-термічної обробки (ХТО), так і іонно-плазмовим напиленням нітридів та карбідів перехідних металів [9, 10], показали погіршення шорсткості поверхні, зв'язаної з особливостями формування нанесеного шару [11]. Незважаючи на це, встановлено істотне підвищення

стійкості інструмента, зростання поверхневої твердості та мікротвердості поверхневого шару. Однак докладних досліджень впливу умов MAO на стан характеристик мікропрофілю поверхні інструмента після нанесення покриттів вивчено не було. Крім цього, можливості застосування при MAO для формування MAI різних порошкових матеріалів з метою керування властивостями порошкового інструмента і забезпечення умов MAO з підвищеною поліруючою чи зміцнюючою здатністю [12] робить актуальним дослідження впливу режимів та умов MAO на стан та властивості мікропрофілю оброблюваних деталей.

Тому метою роботи було дослідження впливу умов MAO тврдосплавного різального інструмента при комплексному його зміцненні, що включає технологічну комбінацію методів MAO та нанесення покриттів, на стан мікропрофілю робочих поверхонь.

Експериментальні дослідження. Як об'єкт дослідження служили тврдосплавні непереточувані пластини двох типів з різним станом поверхні та з різним видом покриттів:

- чотиригранні непереточувані пластини фірми KENNAMETAL з покриттям TiN, нанесеним іонно-плазмовим методом в умовах фірми;
- циліндричні різальні елементи зі сплаву T14K8 з покриттям на основі TiC та з покриттям на основі карбідів NbC та Cr₇C₃, отриманих методом ХТО з попередньо підготовленою під нанесення покриття поверхні методом MAO [13].

Досліджували стан поверхні тврдосплавних елементів після нанесення покриття і після поліруючо-зміцнюючої MAO із застосуванням MAI, сформованим з порошку PR P6M5 фракцією 315/200 мкм [12] з округлою формою частинок.

Обробку виконували на спеціальній універсальній установці типу кільцева ванна [14] для обробки різального інструмента. Умови MAO відповідали режимам обробки, що забезпечує найкращі результати по мікротвердості поверхневого шару та шорсткості одержуваної поверхні [14, 15].

На першому етапі були проведені дослідження впливу умов попередньої MAO перед нанесенням покриття на основі карбиду титану методом ХТО на стан поверхні циліндричних тврдосплавних пластин. Результати досліджень наведені на рис. 1.

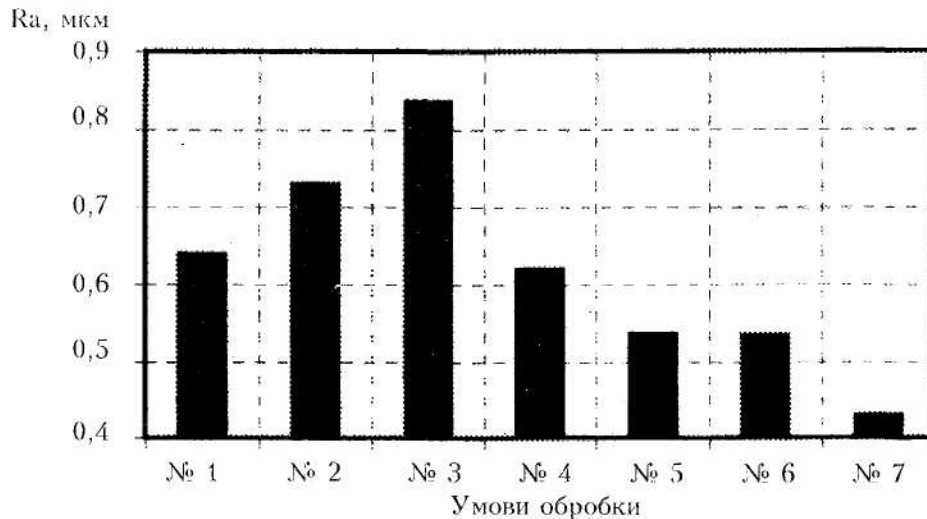


Рис. 1. Вплив умов MAO перед нанесенням покриття на шорсткість мікропрофілю тврдосплавного циліндричного різального елемента зі сплаву T14K8 з покриттям на основі TiC: № 1 – без попередньої MAO; № 2, № 3, № 4 – MAO зі швидкістю 1,67 м/с; № 5, № 6, № 7 – MAO зі швидкістю 2,51 м/с; № 2, № 5 – час MAO 120 с; № 3, № 6 – час MAO 240 с; № 4, № 7 – час MAO 360 с

Встановлено, що попередня MAO зі швидкістю 1,67 м/с перед нанесенням покриття на основі TiC призводить до формування поверхні, у якій шорсткість гірша, ніж у зразків попередньо не оброблених методом MAO, у той час як попередня поліруюча MAO зі швидкістю 2,3–2,5 м/с призводить до зниження шорсткості поверхні з покриттям до $Ra < 0,51$ мкм.

Причому вихідна шорсткість необроблених методом МАО і непотертих зразків складала $Ra = 0,76-0,8$ мкм, а оброблених методом МАО – не більш $Ra = 0,32$ мкм. Аналогічні результати отримані і при нанесенні покриття на основі карбідів ніобію та хрому. Без попередньої МАО шорсткість інструмента з покриттям складала $Ra = 1,2-1,45$ мкм, а з попередньою МАО – $Ra = 0,7-0,73$ мкм. Таке розходження в шорсткості поверхні інструмента з покриттям може бути пов'язане з умовами їх росту при ХТО [11, 16], що визначаються станом мікроструктури, ступенем дефектності та змінням поверхневого шару [2], [7], [17], [18], [19]. Однозначно виділити один з найбільш істотних із зазначених факторів у даній час не представляється можливим через тісний їх взаємозв'язок і взаємовплив, а також відсутність достатнього обсягу інформації та спеціальних досліджень у цій області.

Аналіз зміни відносної величини опорної поверхні мікропрофілю в залежності від його рівня показав, що найбільш щільне покриття отримане при часі попередньої МАО 120 с. Це відноситься як до покриття на основі карбиду титану, так і до покриття на основі карбідів ніобію та хрому. Розраховані щільності відносної величини опорної поверхні профілю [15] підтверджують отримані результати.

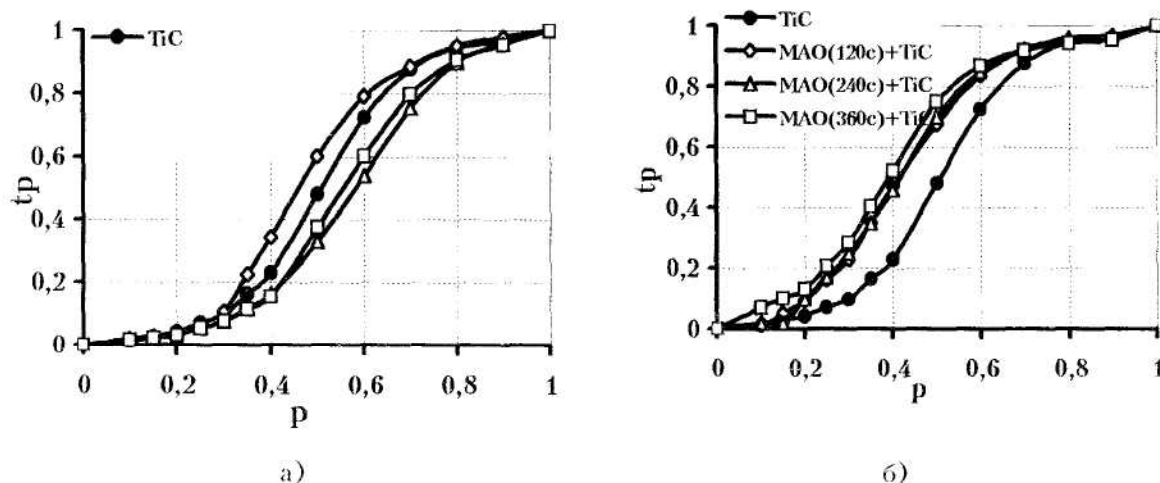


Рис. 2. Зміна відносної величини опорної поверхні мікропрофілю t_p твердого сплаву Т11К8 з титановим покриттям, отриманим методом ХТО при різній тривалості процесу попередньої МАО та швидкості обробки 1,67 м/с (а), 2,51 м/с (б) у залежності від відносного рівня висоти нерівностей p

Порівняння отриманих результатів про характер зміни величини t_p мікропрофілю після різних видів нанесення покриттів та умов обробки робить необхідним проведення якісної оцінки, зв'язаної з введенням окремих інтегральних параметрів або формалізованого формульного опису отриманих залежностей і наступного їх аналізу.

Для формалізованого опису залежностей $t_p = f(p)$ була використана функція:

$$t_p(p) = a_1 p^{a_2} e^{-a_3 p}, \quad (1)$$

де a_1 , a_2 , a_3 – деякі коефіцієнти апроксимації;

t_p – величина відносної опорної поверхні на відповідному відносному рівні мікропрофілю p .

Залежності $t_p = f(p)$, представлені у вигляді (1), мають точку перегину, що відповідає максимальній величині зміни щільності відносної опорної поверхні та фактично визначає значення рівня мікропрофілю p , на який здійснюється перехід від вершин мікропрофілю до западин. Значення p , що відповідають зазначеним точкам з (1), можна визначити як:

$$p_0 = \frac{a_2 - \sqrt{a_2}}{a_3}. \quad (2)$$

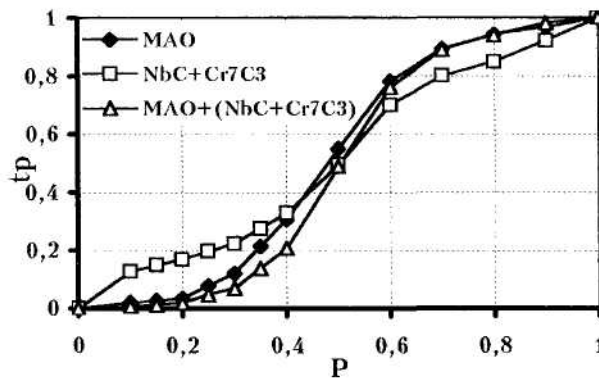


Рис. 3. Зміна відносної величини опорної поверхні мікропрофілю t_p твердого сплаву T14K8 з ніобійхромовим покриттям, отриманим методом ХТО в залежності від відносного рівня висоти нерівностей p при швидкості передньої МАО 1,67 м/с і часу 120 с

У такій спосіб залежності $t_p = f(p)$ умовно розбиваються на дві частини, одна з яких (до значення відносної величини рівня профілю p_0) відповідає за мікроставупи, а інша – за мікроставпани при $p > p_0$. Інтегрально оцінити величину відносної опорної поверхні мікропрофілю в області виступів можна за величиною :

$$S_e = \int_0^{p_0} t_p(p) dp, \tag{3}$$

а в області западин як:

$$S_n = \int_{p_0}^1 t_p(p) dp. \tag{4}$$

Значення коефіцієнтів a_1, a_2, a_3 , середньоквадратичної похибки апроксимації σ^2 , величин p_0, S_e, S_n для різних комбінацій обробок поверхні твердосплавних різальних елементів зі сплаву T14K8 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів $a_1, a_2, a_3, S_e, S_n, p_0$ та середньоквадратичної похибки апроксимації σ^2

Вид поверхневої обробки	Режим МАО		Значення коефіцієнтів			σ^2	p_0	S_e / S_n
	Швидкість об/хв (м/с)	Час с	a_1	a_2	a_3			
без обробки (алмазне шліфування)	-	-	331,24	5,23	5,84	0,0620	0,63	0,19/0,311
ніобійхромовання	-	-	3,18	1,80	1,15	0,0248	0,40	0,069/0,446
титанування	-	-	325,68	5,22	5,82	0,0070	0,50	0,063/0,425
МАО	200 (1,67)	120	185,85	4,64	5,26	0,0074	0,47	0,059/0,451
МАО+титанування	200 (1,67)	120	175,10	4,54	5,21	0,0103	0,46	0,057/0,462
		240	257,05	5,52	5,55	0,0043	0,57	0,075/0,354
		360	431,44	5,77	6,09	0,0049	0,55	0,069/0,373
	300 (2,51)	120	41,66	3,28	3,77	0,0058	0,39	0,052/0,512
		240	46,28	3,33	3,87	0,0066	0,39	0,054/0,517
		360	24,63	2,79	3,25	0,0126	0,35	0,051/0,540
МАО+ніобійхромовання	200 (1,67)	120	808,28	5,89	6,74	0,0117	0,51	0,060/0,431

Для умов експлуатації різального інструмента (табл. 1) стан мікрогеометрії його поверхні повинний бути таким, щоб забезпечувалися мінімальне тертя, максимальна міцність, висока термостійкість. Для цього необхідно, щоб величина S_e була мінімальна, а значення S_n –

навпаки максимальні. Виконання такої умови дозволить істотно знизити цикл приробки різального інструмента на початкових стадіях експлуатації, зменшити теплонапружність процесу різання і приведе до підвищення стійкості.

Аналіз експериментальних даних показав, що найбільш оптимальна мікрогеометрія як за висотою мікронерівностей, так і за ступенем його розгалуженості, характеристиками відносно опорної поверхні забезпечується при використанні методу MAO зі швидкістю порядку 2,5–3 м/с і часом обробки 120–240 с у якості попередньої, підготовчої операції перед нанесенням покриттів методом ХТО.

При цьому можливе формування шорсткості поверхні інструмента з досить щільним профілем з $Ra < 0,45$ мкм. Однак стан поверхні і поверхневого шару не є найбільш оптимальним для умов експлуатації різальних елементів. Насамперед це пов'язано з фізико-механічними характеристиками поверхневого шару. Відомо, що при нанесенні покриттів методом ХТО в поверхневому шарі покриття при його рості виникають стискаючі напруження, а в підкладці (субстраті) – формуються позитивні розгинаючі [11]. Найбільш небезпечною зоною є зона переходу від позитивних до негативних напружень, що, як правило, знаходиться на поверхні підкладки в перехідній зоні покриття–підкладка. Дослідження поверхневої твердості зразків показали наявність високої твердості – до 28–30 ГПа, що різко падає зі збільшенням глибини. Це може служити підтвердженням зазначеного вище розходження в напруженому стані поверхневого шару. Відзначимо, що підвищення твердості покриття супроводжується зниженням його пластичності, ростом мікрокрихкості [20], що небажано для різального інструмента. Застосування підготовчої поліруючої MAO дозволяє не тільки сформувати поверхню субстрату під нанесення покриття шляхом зниження його шорсткості, видалення окисних плівок та дефектних зон, а й сформувати в субстраті необхідний напружений стан. У результаті комбінованої обробки MAO + покриття забезпечується більш рівномірний розподіл твердості поверхневого шару інструмента з покриттям. Результати зміни поверхневої твердості твердосплавних елементів зі сплаву T14K8 з покриттями двох типів на прикладі попередньої MAO зі швидкістю 2,2 м/с і різному часі обробки наведені на рис. 4.

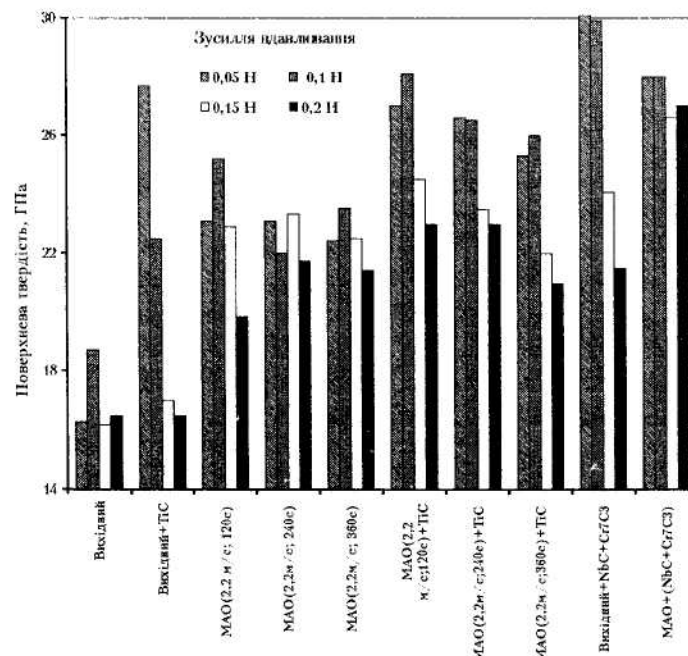


Рис. 4. Поверхнева твердість різальних елементів зі сплаву T14K8 після MAO та комбінованої обробки MAO + покриття при різних зусиллях вдавлювання

Отримане деяке зниження твердості на поверхні і зростання її на глибині (під поверхнею) є позитивним фактом як з погляду напруженого стану поверхневого шару, так і з погляду формування поверхні з оптимальними триботехнічними параметрами, що свідчить про доцільність застосування запропонованої комбінованої обробки.

З метою зниження величини R_a , поліпшення параметрів мікропрофілю поверхні та її напруженого стану були виконані дослідження з використання поліруючо-зміцнюючої, остаточної MAO твердосплавного інструмента з покриттями. Позитивні результати, отримані на різальному інструменті зі швидкорізальних сталей [9] і лопатках компресорів ГТД [12], дозволяють рекомендувати використання комбінації покриття + MAO і для твердих сплавів.

Виконані дослідження впливу поліруючо-зміцнюючої MAO з використанням спеціального MAI на чотиригранних пластинках фірми KENNAMETAL з покриттям на основі TiN показали, що мінімальна шорсткість $R_a = 0,31-0,33$ мкм формується вже через 60 с фінішної MAO (рис. 5).

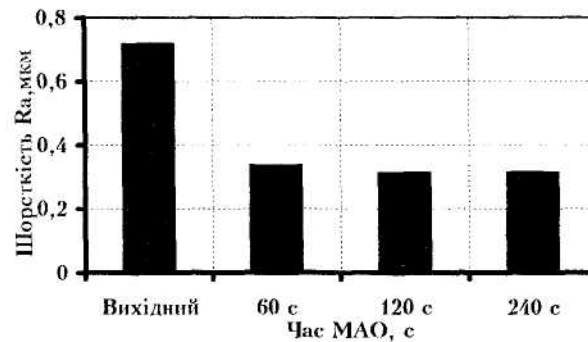


Рис. 5. Зміна шорсткості мікропрофілю R_a твердосплавних чотиригранних пластин KENNAMETAL з покриттям на основі TiN після MAO з різною тривалістю обробки

Характер зміни відносної довжини опорної поверхні мікропрофілю представлений на рис. 6. При цьому значення величини p_0 на залежностях $t_p = f(p)$ зміщується з $p_0 = 0,65$ для вихідних пластин з покриттям, до 0,40–0,45 для пластин, що пройшли зміцнюючу MAO порошком ПР Р6М5 (315/200 мкм). Мікроскопічний аналіз не виявив слідів відшарування або видалення покриття на основі TiN навіть на різальних лезах. Це говорить про те, що процес MAO забезпечив видалення мікрокраплинної фази з поверхні та інших дефектів, не порушивши цілісності покриття.

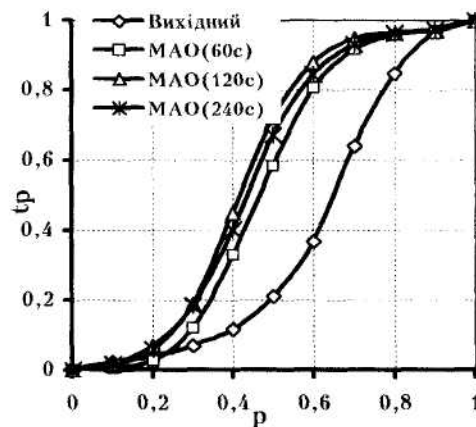


Рис. 6. Зміна відносної величини опорної поверхні мікропрофілю t_p твердосплавних чотиригранних пластин KENNAMETAL з покриттям на основі TiN після MAO з різною тривалістю обробки в залежності від відносного рівня висоти нерівностей p

Підтвердженням цьому є профілограми поверхні, записані при різних збільшеннях (рис. 7). Крім цього, встановлено більш рівномірний розподіл поверхневої твердості за глибиною та зміцнення поверхневого шару. Показано, що при часі зміцнюючої обробки 120 с, з величиною магнітної індукції в робочих зазорах 0,32 Тл швидкості MAO 2,51 м/с, порошком ПР Р6М5 з розміром частинок 315/200 мкм забезпечується величина поверхневої твердості при зусиллях удавлення індентора 0,05–0,15 Н – на рівні 29 ГПа.

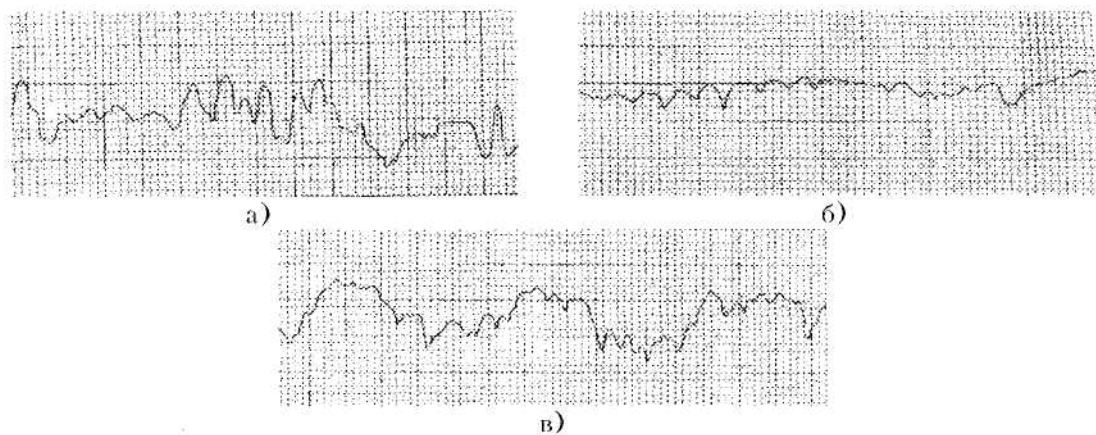


Рис. 7. Профілограми поверхні твердого сплаву KENNAMETAL з покриттям на основі TiN та після поліруючо зміцнюючої MAO; ГЗ 500. (а) – до MAO; (б), (в) – після MAO протягом 120с, (а), (б) – ВЗ 10000; (в) – ВЗ 50000

Характер зміни мікротвердості поверхневого шару наведений на рис. 8. Показано, що при комплексній поверхневій обробці покриття на основі TiN + MAO забезпечується зміцнення твердосплавних пластин на глибину до 300 мкм. При цьому величина H_m біля поверхні складає 28–29 ГПа і плавно знижується до 15–16 ГПа на глибині 300 мкм.

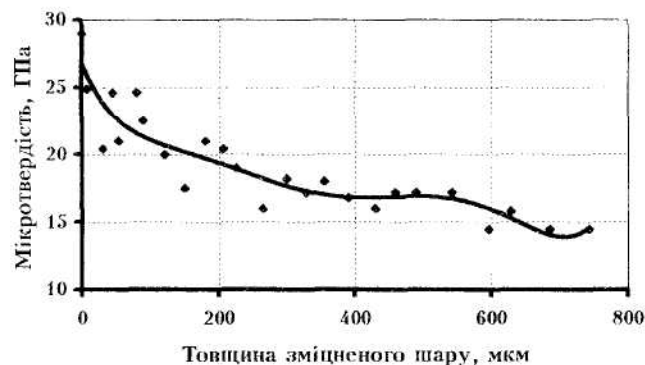


Рис. 8. Зміна мікротвердості поверхневого шару твердосплавної чотиригранної пластини KENNAMETAL з покриттям на основі TiN після поліруючо-зміцнюючої MAO

Виконані дослідження впливу поліруючо-зміцнюючої MAO різального інструмента зі сплаву T14K8 з карбідними покриттями, отриманими методом ХТО, показали, що обробка зі швидкостями 1,67 і 2,51 м/с забезпечує формування поверхні з $Ra = 0,38$ мкм. Характеристики опорної поверхні мікропрофілю, визначені за вищеписаною методикою, наведені в таблиці 2, а поверхнева твердість на глибині до 5–7 мкм не менше 21 ГПа для інструмента з покриттям на основі TiC і не менше 25–26 ГПа з покриттям на основі карбідів NbC та Cr_7C_3 .

Аналіз отриманих результатів показав, що процес MAO, застосований в якості підготовчої операції і в якості поліруючо-зміцнюючої, MAO, забезпечує формування поверхні з покриттями на твердосплавному різальному інструменті з $Ra < 0,4$ мкм, вигладженим профілем, без явно виражених мікроступів та суцільним, щільним, нерозгладженим мікропрофілем покриття.

При цьому в поверхневому шарі інструмента з покриттями формується досить глибокий зміцнений шар з відносно рівномірною та плавною зміною твердості і мікротвердості. Порівняння отриманих результатів після поліруючо-зміцнюючої MAO з даними, наведеними в табл. 1 після операції нанесення покриття, показали, що величина p_0 після поліруючо-зміцнюючої обробки може в окремих випадках бути вище, ніж після нанесення покриттів

(наприклад, покриття TiC методом ХТО), але при цьому варто вказати на високу стабільність у значеннях p_0 і розташування в області значень менших (0,4–0,48 мкм), ніж для умов традиційної обробки твердосплавного інструмента – віброабразивна обробка, алмазне шліфування (більше 0,6 мкм).

Таблиця 2

Значення S_v , S_n , p_0 для твердосплавного інструмента з покриттями після комплексної обробки

Тип твердосплавного інструмента	Вид комплексної обробки	Умови поліруючо-зміцнюючої MAO		p_0	S_v / S_n
		Швидкість м/с	Час, с		
KENNAMETAL	титанування	-	-	0,65	0,087/0,294
	титанування + MAO	2,51	60	0,46	0,055/0,465
			120	0,41	0,054/0,514
			240	0,42	0,054/0,499
TiAlK8	MAO+титанування+MAO	1,67	120	0,48	0,061/0,455
			240	0,45	0,059/0,456
			360	0,42	0,07/0,435
		2,51	120	0,4	0,056/0,489
			240	0,43	0,054/0,494
			360	0,44	0,058/0,476
	ніобійхромування+ MAO	2,51	120	0,44	0,054/0,498
	MAO+ніобійхромування+ MAO	2,51	120	0,45	0,057/0,494

Висновки. Виконано комплекс досліджень впливу попередньої поліруючої магнітно-абразивної обробки перед нанесенням тонких зносостійких покриттів, поліруючо-зміцнюючої магнітно-абразивної обробки твердосплавного інструмента з покриттями на шорсткість і стан мікропрофілю поверхні, а також характеристики поверхневої твердості та мікротвердості поверхневого шару. Показано, що використання комбінації магнітно-абразивної обробки та нанесення покриттів забезпечує формування шорсткості поверхні з $Ra < 0,4$ мкм, вигладженням, щільним мікропрофілем. Запропоновано методику оцінки якості мікропрофілю за інтегральними показниками зміни величини відносної опорної поверхні профілю.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. – Киев: Наукова думка, 1984. – 328 с.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
3. Буше П.А. Трение, износ и усталость в машинах (Транспортная техника). – М.: Транспорт, 1987. – 223 с.
4. Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальмов В.А. Шероховатость поверхности (теоретико-вероятностный подход). – М.: Наука, 1975. – 344 с.
5. Сакулевич Ф.Ю., Мишин Л.К., Скворчевский П.Я. Формирование поверхности при магнитно-абразивном полировании // Совершенствование процессов финишной обработки в машиностроении: Материалы I-й Всесоюзн. конф. – Минск, 1975. – С.111-113.
6. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
7. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструмента для фінішної обробки фасонних поверхонь: Дис. докт. техн. наук. – Київ, 2001. – 404 с.

8. *Майборода В.С., Дюбнер Л.Г.* Магнітно-абразивна обробка осьового і кінцевого різального інструмента. Частина 2. Використання магнітно-абразивної обробки як підготовчої операції перед нанесенням покриттів типу TiN // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2001. – № 4. – С. 60–66.
9. *Майборода В.С., Дюбнер Л.Г., Ульяненко Н.В.* Магнітно-абразивна обробка осьового і кінцевого різального інструмента. Частина 3. Використання магнітно-абразивної обробки як фінішної операції після нанесення іонно-плазмових покриттів // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2001. – № 4. – С. 94–99.
10. *Майборода В.С., Бобіна М.М., Ульяненко Н.В.* Магнітно-абразивна обробка осьового і кінцевого різального інструмента. Частина 4. Використання магнітно-абразивної обробки як попередньої операції перед дифузійним насиченням поверхневого шару під час хіміко-термічної обробки // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2001. – № 6. – С. 94–99.
11. *Верещака А.С.* Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
12. *Грязнов Б.А., Майборода В.С., Налимов Ю.С.* Исследование влияния видов обработки поверхности и многослойного покрытия пика лопаток на их характеристики сопротивления усталости // Проблемы прочности. – Киев, 1999. – № 5. – С. 109–116.
13. Спосіб хіміко-термічної обробки інструмента з швидкорізальної сталі. Патент України 42541А С23С8/00 В24В31/112/ В.С. Майборода, Н.В. Ульяненко, М.М. Бобіна, заявл. 30.03.2001 р, опубл. 15.10.2001 р, Бюл. № 9, заявка № 2001032104 від 27.07.2001 р.
14. *Гейчук В.Н., Майборода В.С., Ульяненко Н.В.* Магнитно-абразивная обработка перерегатируемых твердосплавных пластин // Вестник НТУУ "КПИ" / Машиностроение. – 2002. – № 43 – С. 115–118.
15. *Майборода В.С., Ульяненко Н.В.* Кинетика формирования микропрофиля поверхности твердосплавного режущего инструмента при магнитно-абразивной обработке // Вісник Сумського державного університету (серія Технічні науки). – Суми: СумДУ, 2002. – С. 104–111.
16. *Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г., Куницкий Ю.А., Киндрачук М.В.* Диффузионные карбидные покрытия. – К.: Техника, 1991. – 168 с.
17. *Suh N.P.* The Delamination Theory of Wear. Wear, vol. 25.– 1973. – № 1. – P. 111–124.
18. *Буше Н.А.* К вопросу о процессах, происходящих на поверхности трения металлических материалов // В кн.: О природе трения твердых тел. – Минск: Наука и техника, 1971. – С. 75–77.
19. *Проволоцкий А.Е.* Струйно-абразивная обработка деталей машин. – Киев: Техніка, 1989. – 177 с.
20. *Хижняк В.Г.* Розробка фізико-хімічних та технологічних основ нанесення на поверхню сталей та твердих сплавів двокомпонентних покриттів на основі перехідних металів для підвищення службових характеристик виробів. Дис. докт. техн. наук. – Київ, 1998. – 275 с.

МАЙБОРОДА Віктор Станіславович – доктор технічних наук, професор кафедри ІВ ММІ Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- реологія дискретного та дискретно-безперервного середовища в постійних магнітних полях;
- різання;
- технологія машинобудування.

УЛЬЯНЕНКО Наталія Валентинівна – аспірант кафедри ІВ ММІ Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- матеріалознавство;
- різання;
- методи зміцнення інструменту.

Тел. 8(044) 441-17-90, 441-10-68

Email: kafedratp@zeos.net