УДК 621.785

О. В. ХИЖНЯК[1], Г. Ю. КАЛАШНІКОВ[1], В. Г. ХИЖНЯК[1], В. Ю. ШТОЙКА[1], Д. А. ПОБЕРЕЖНИЙ[1], А. П. ДАНІЛОВ[2]

[1]*Національний технічний університет України «КПІ», Україна*
[2]*Національний авіаційний університет, Україна*

ДИФУЗІЙНІ БАГАТОШАРОВІ ПОКРИТТЯ КАРБІДІВ, НІТРИДІВ ПЕРЕХІДНИХ МЕТАЛІВ НА ТВЕРДОМУ СПЛАВІ ВК6

Визначено вплив дифузійних методів титанування, титанованадіювання, титанованадійхромування, азототитанування, азототитаноалітування на механічні та різальні властивості пластин із твердого сплаву ВК6. Покриття наносили в порошкових сумішах за умов зниженого тиску з використанням активаторів. В деяких випадках зразки перед металізацією азотували в середовищі дисоційованого аміаку. Встановлено, що межа міцності на згин твердого сплаву ВК6 з покриттями зменшується при стабілізації значень в порівнянні з вихідним сплавом. Показано, що стійкість твердосплавних пластин з покриттями при різанні сталі 12Х18Н10Т виявилася вище стійкості вихідних в 5,6-11,0 разів. Встановлено зменшення мінімуму відносного зносу пластин з покриттями та зсув мінімума в сторону більших швидкостей різання. Самі високі результати показали азототитаноалітовані покриття. Для твердого сплаву ВК6 з цими покриттями, мінімальний знос при точінні сталі У10А зменшився в 6,8 разів, а швидкість різання мінімального зносу зросла з 80 м/хв до 280 м/хв в порівнянні з вихідними.

***Ключові слова**: твердий сплав, ВК6, захисні покриття, карбіди, нітриди, межа міцності, коефіцієнт варіації, різання, стійкість*

Вступ. Ріжучі властивості інструментів з твердих сплавів залежать від багатьох факторів: фазового та хімічного складів, структури інструментальних матеріалів [1–3]. Використання традиційних методів підвищення різальних властивостей інструментів в теперішній час обмежено внаслідок дефіциту елементів, що входять до складу твердих сплавів. Таким чином, важливою задачею є створення нових інструментів з поверхневими шарами, що мають високу твердість, зносостійкість, міцність.

Сучасні різальні інструменти працюють в умовах дії високих контактних навантажень та температур, при яких в матеріалі протікають складні фізико-хімічні процеси. Контактні навантаження, які діють на передню та задані поверхні інструментів, при обробці низьколегованих сталей, досягають 700–1000 МПа, а для гострозаточеного інструмента при обробці легованих сталей – 4000 МПа і вище. Одночасно в контактній зоні і біля неї температура зростає до 200–1100 ^{o}C [3].

В теперішній час існує кілька методів нанесення покриттів на робочі поверхні інструментів. Це методи хімічного та фізичного осадження з газової фази [1; 4–6], які дозволяють отримувати на швидкорізальних сталях та твердих сплавах багатошарові покриття за участю карбіду TiC, нітриду TiN, оксиду Al_2O_3. Нанесена на інструментальні сплави тришарова композиція підвищує у кілька разів працездатність виробів за рахунок високої мікротвердості окремих шарів, низького коефіцієнта тертя у парі зі сталлю , стабільного існування сполук покриття при високих температурах. Крім того утворене покриття виконує бар'єрні функції, гальмує в реальних умовах різання небажану дифузію елементів покриття в оброблюваний матеріал і навпаки, попереджаючи таким чином дифузійний знос інструменту.

Можливість отримання на інструментальних сталях та твердих сплавах дифузійних покриттів з одного шару карбідів TiC, (Ti,V)C, (Ti,V,Cr)C; двох шарів – TiC, TiN; трьох і більше шарів – Al_2O_3, $AlCoTi_2$, TiC, TiN показана в роботах [7–9]. Відомі способи титанування, титанованадіювання, титанованадійхромування, які відбуваються в одному технологічному циклі з використанням порошку або суміші порошків перехідних металів, чотирихлористого вуглецю за умов зниженого тиску [7]. Багатошарові покриття можна також отримувати шляхом азотування з наступним титануванням або азотування з наступним титаноалітуванням (зразок 6). Слід зазначити, що процес титаноалітування не знайшов застосування для збільшення стійкості інструментів внаслідок формування на вуглецевих сталях під шаром TiC шару $Fe_\alpha(Al)$ і зони зі значним вмістом алюмінію та кисню на твердих сплавах [7; 9].

Постановка завдання. Слід зазначити, що характеристики міцності твердих сплавів з покриттями нового покоління: одношаровими – (Ti,V)C, (Ti,V,Cr)C; двошаровими – TiC, VC; багатошаровими - Al_2O_3, $AlCoTi_2$, TiC, TiN практично не досліджені. Таким чином, встановлення властивостей твердих сплавів з покриттями, визначення ресурсу їх працездатності в реальних умовах експлуатації є актуальним.

Методика та техніка досліджень. Дифузійні карбідні покриття на твердий сплав ВК6 (зразки 2–5, табл.) наносили в закритому реакційному просторі за умов зниженого тиску. В якості вихідних реагентів використовували порошки або суміш порошків перехідних металів, чотирихлористий вуглець, який вводили в реакційний простір при температурі ізотермічної витримки 1050 °С. Час нанесення становить 3 години [7].

Азотування зразків 5, 6 відбувалось відомим способом при температурі 540 °С впродовж години в середовищі дисоційованого аміаку [8]. Титаноалітування азотованих зразків проводили в контейнерах з плавким затвором в суміші порошків титана та алюмінія [9]. Методом рентгенофазового аналізу визначали фазовий склад покриттів. Мікротвердість та товщину окремих шарів вимірювали на приладі ПМТ-3. Межу міцності на згин твердого сплаву визначали за методикою [10].

Результати дослідження та їх обговорення. Фазовий склад покриттів на твердому сплаві ВК6, мікротвердість, результати вимірювання межі міцності на згин наведенні в таблиці. При оцінці межі міцності поряд із середнім значенням визначали показник її стабільності, яка характеризується середньо квадратичним відхиленням або коефіцієнтом варіації [11]. Коефіцієнт варіації стійкості, як показник стабільності, має певні переваги в порівнянні з середнім квадратичним відхиленням. Останній показник придатний для оцінки розсіювання стійкості для визначених незмінних умов випробувань, що не дозволяє порівнювати між собою різні серії експериментів, які відрізняються типом покриття, матеріалом для обробки, умовами роботи тощо. Коефіцієнт варіації значень міцності є безрозмірним показником, дозволяє порівнювати між собою різні серії випробувань з різними типами покриттів.

Результати випробувань свідчать, що межа міцності при згині для твердого сплаву ВК6 з покриттями зменшується при стабілізації значень. Останнє підтверджується зменшенням коефіцієнта варіації межі міцності. В усіх випадках межа міцності твердих сплавів з багатошаровими покриттями (зразки 5, 6) вища, ніж зразків 2–4. Це зумовлено, вірогідніше за все, меншою кількістю дефектів в багатошарових покриттях в порівнянні з одношаровими [7].

Таблиця

Фазовий склад та властивості, твердого сплаву ВК6 з покриттями

№ зразка	Вид обробки *	Фазовий склад	Товщина, мкм	Мікротвердість, ГПа	Межа міцності на згин, ГПа **	$б_и^п/б_и^{вих.}$	Коефіцієнт варіації, %
1	Без покриття	–	–	–	1,530	–	24,0
2	Титанування	CoTi, TiC, Co_6W_6C	6,5	31,0	1,09	0,71	9,6
3	Титанована-діювання	(T,V)C, Co_6W_6C	5,0	32,5	1,15	0,75	9,0
4	Титанована-дійхромування	(T,V,Cr)C	6,0	36,5	1,27	0,83	9,2
5	Азотування та титанування	TiC TiN	2,5 5,0	32,5 26,0	1,30	0,85	8,3
6	Азотування та титаноалітування	Al_2O_3 $AlCoTi_2$ TiC TiN	1,0 10,5 3,5 3,0	– 9,0 36,5 22,1	1,380	0,91	7,0

* Температура ХТО 1050°С; τ=3 години; насичуюча суміш: зразок №3 – Ti(50% мас.); V(50% мас.); суміш: зразок №4 – Ti(25% мас.); V(50% мас.); Cr(25% мас.); суміш: зразок №6 – Ti(40% мас.); Al(15% мас.); NH_4Cl(5% мас.); Al_2O_3(40% мас.); суміш: зразок №5, 6 – азотування 440°С; час – 20 годин.

*Межа міцності на згин вихідного сплаву $б_и^{вих.}$; межа міцності на згин сплаву з покриттям – $б_и^п$;

З усіх видів випробувань твердого сплаву ВК6 основним є визначення стійкості при різанні різних сплавів. В запропонованій роботі проведені стійкісні випробування інструментів із сплаву ВК6 з запропонованими покриттями. Випробування проводили в жорстких умовах різання відповідно з рекомендаціями [12]. Ріжучі властивості багатогранних непереточуваних твердосплавних пластин (БНТП) із сплаву ВК6 визначали по ширині фаски на задній поверхні. Коефіцієнт збільшення стійкості розрахували, як відношення періода стійкості пластини з покриттям до періоду стійкості пластини без покриття. Час випробувань обмежували формуванням фаски зносу по задній поверхні 0,5 мм.

Результати порівняльних стійкісних випробувань твердосплавних пластин з покриттями наведено на рис. 1. Показано, що стійкість БНТП з покриттями виявилась вище стійкості вихідних в 5,6–11,0 разів. Показано, що при точінні сталі

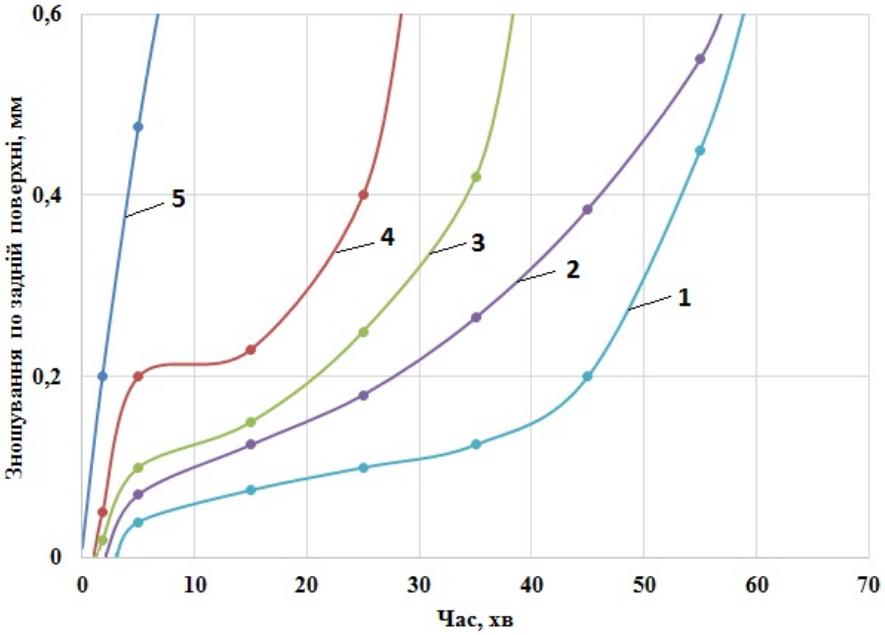

Рис. 1. Кінетика зношування багатогранної непереточуваної твердосплавної пластини із сплаву ВК6 з покриттям TiC, TiN, Al_2O_3 (*1*); TiC, TiN (*2*); (Ti,V,Cr)C (*3*); TiC (*4*); без покриття (*5*); точіння сталі 12Х18Н10Т; V = 2,5 м/с; S = 0,434 мм/об; t = 1,0 мм.

12Х18Н10Т за прийнятих в роботі умовах максимальну стійкість показали багатошарові покриття отримані після азототитанування, та після азототитаноалітування.

З метою визначення особливостей і закономірностей зношування БНТП з багатошаровими покриттями були проведені дослідження зносостійкості при різних швидкостях різання. Стійкість твердого сплаву оцінювали за величиною відносного зносу, який розраховували як відношення розмірів фаски зносу задньої поверхні до шляху різання. Результати досліджень наведені на рис. 2. Аналіз отриманих даних та їх порівняння з відомими [3] показав, що загальним для отриманих залежностей є зменшення мінімуму відносного зносу та його зсув в сторону збільшення швидкостей різання. Найкращі результати показали азототитановані та азототитаноалітовані покриття, для яких мінімальний відносний знос зменшився відповідно в 3,5 та 6,8 разів, а швидкість різання зросла з 80 м/хв відповідно до 250 та 280 м/хв.

Цілком зрозуміло, що причиною позитивного впливу на різальні властивості БНТП є покриття, які сприяють послабленню жорсткості різання. Ефективність азототитаноалітованих покриттів зумовлено поєднанням позитивних властивостей:

– висока мікротвердість шарів TiC – 36,5 ГПа; TiN – 22,1 ГПа;

– хороша адгезійна взаємодія окремих шарів покриття між собою та з основою, що характерно для дифузійних покриттів;

– наявність шару сполуки Al_2O_3 та шару $AlCoTi_2$ зі значним вмістом алюмінія сприяє при значних температурах високій жаростійкості;

– відсутність в покритті макро- та мікродефектів типу пор, тріщин, що сприяє стабілізації межі міцності на згин та експлуатаційних властивостей БНТП.

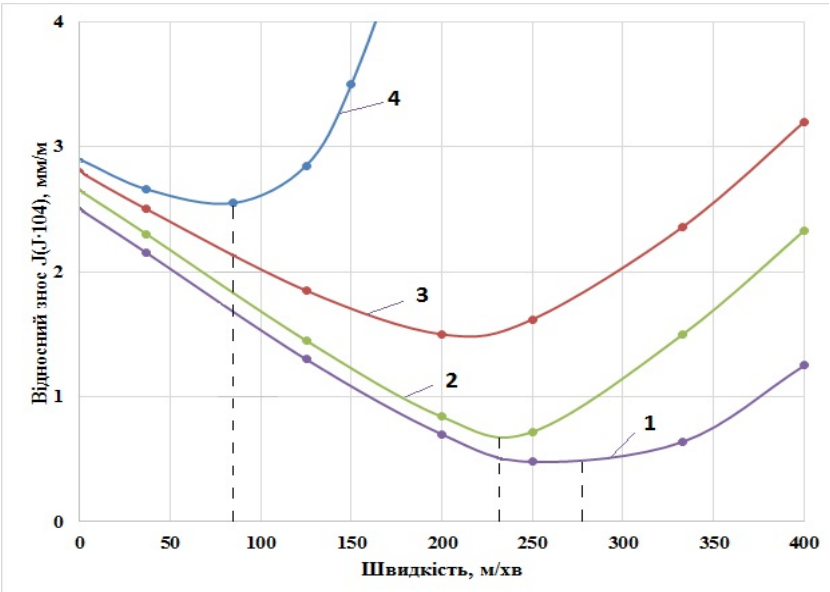

Рис. 2. Знос твердого сплаву ВК6 при точінні з різними швидкостями різання сталі У10А (НВ200); *S*=0,43 мм/об; *t*=1,0 мм; *1* – азототитаноалітування; *2* – азототитанування; *3* –титанованадійхромування, *4* –без покриття.

– шари TiC, TiN в покритті виконують бар'єрні функції при титаноалітуванні повністю гальмуючи дифузійне проникнення алюмінію та кисню в основу. При експлуатації інструментів температура в зоні контакту досягає значної величини. Бар'єрні шари Al_2O_3, TiC, TiN перешкоджають проникненню складових оброблюваного матеріалу, кисню та азоту повітря в інструмент та навпаки, вольфраму, кобальту, вуглецю твердого сплаву в оброблюваний сплав. Слід зазначити, що значна концентрація алюмінію в сполуці $AlCoTi_2$ сприяє утворенню на поверхні шару оксиду Al_2O_3 впродовж всього часу експлуатації інструменту. Таким чином, завдяки останньому зростає не тільки жаростійкість покриття, але і його бар'єрні функції.

Унікальний набір властивостей отриманих в роботі покриттів (високі мікротвердість, жаростійкість, адгезія з основою, низький коефіцієнт тертя зі сталлю, присутність бар'єрних шарів) підказує перспективність їх використання з метою підвищення стійкості твердосплавного інструменту.

Висновок. Встановлено вплив дифузійних методів титанування, титанованадіювання, титанованадійхромування, азототитанування, азототитаноалітування на межу міцності при згині твердого сплаву ВК6 при згині; коефіцієнт варіації значень межі міцності сплаву ВК6 з покриттями збільшився в порівнянні з вихідними.

Показано, що стійкість твердосплавних пластин з покриттями при точінні сталі 12Х18Н10Т виявилось вище стійкості вихідних в 5,6-10 разів.

Встановлено залежність мінімуму відносного зносу пластин ВК6 з покриттями, від швидкості різання та його зсув в сторону більших швидкостей різання. Самі високі результати показали азототитаноалітовані покриття, для яких мінімальний знос зменшився в 6,8 разів, при зростанні швидкості різання сталі У10А з 80 м/хв до 280 м/хв.

Список літератури

1. Bergman E., Vogel J., Brink R., Ballier R., PVD titanium nitride cating systems to improve tool performance and reduce wear. – Carbide and Tool Journal. – 1989. – V.20, N5. – P.12-17

2. Новиков Н.В., Карюк Г.Г., Клименко С.А., Девин Л.Н. Применение режущего инструмета из быстрорежущих сталей, твердых сплавов, минералокерамики и поликристаллических сверхтвердых материалов в промишленности. Сучасне машинобудування 1999. N1. – с.50-59.

3. Верещака А.С, Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986. – 96с.

4. Витязь П.А., Дубровская Г.Н., Кирилюк Л.М. Газофазное осаждение покрытий из нитрида титана. – Минск: Наука и техника, 1983. – 96с.

5. Криворучко В.И. Получение тугоплавких соединений из газовой фазы. – М.: Атомиздат, 1976. – 120с.

6. Bull S.J., Rickerby D.S, Knighl J.C., Page T.F. Mechanical Properties of Physical Vapour Deposited Titanium Nitride. Surf. Eng. – 1992, N8(3). – P.193-198.

7. Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г., Погребова І.С., Горбатюк Р.М., Бочар І.Й. Карбідні покриття на сталях і твердих сплавах. Тернопіль: Лілея, 1998. – 144с.

8. Ворошнин Л.Г., Менделеева О.Л., Сметкин В.А., Теория и технология химико-термической обработки: М.: Новое знание; Минск: Новое знание, 2010. – 304с.

9. Кайдаш Н.Г., Частоколенко П.П., Частоколенко А.Н., Луценко Л.И., Семененко И.А. Повишение окалиностойкости сталей путем химико-термической обработки. В КН.: Жаростойкие покрытия для защиты конструкционных материалов. Издательство “Наука”, Ленингр. ОТД. П., 1977, с.268-270.

10. Андриевский Д.А., Спивак И.И. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе: Справ. изд. Металлургия. 1989. – 368с.

11. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1974. – 240с.

12. Методика испытаний металлорежущего инструмента. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технологического нормирования работ на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение. – 1974. – 406с.

Стаття надійшла до редакції 26.05.2015

O. V. KHYZHNYAK, G. Y. KALASHNIKOV, V. G. KHIZHNYAK, V. Y. SHTOYKA, D. A. POBEREZHNYI, A. P. DANILOV

DIFFUSION MULTILAYER COATING OF CARBIDES, NITRIDES OF TRANSITION METAL ON SOLID ALLOY VK6

In this work, was defined the influence of diffusion methods titanizing, titan-vanadium, titanium-vanadium chromizing, nitrogen-titanium-vanading, nitrogen-titanium-aluminizing on mechanical and cutting properties of plates of hard alloy VK6. Coatings were applied in powder mixtures under conditions of reduced pressure using activators. In some cases, samples before metallization were nitride in medium of dissociated ammonia. Established, that the flexural strength of coated alloy VK6 with coatings decreases in stabilization of values from baseline alloy. It is shown that the stability of hard alloy plates with coatings in cutting steel 12X18H10T initial resistance was higher in 5,6-11,0 times. Established the reduction of the minimum of relative wear plates with coatings and minimum shift towards higher cutting speeds. The most results showed nitrogen-titanium-aluminized coatings. For hard alloy VK6 with these coatings, minimal wear at sharpening of steel U10A decreased in 6.8 times and speed of the cutting speed increased from 80 m/min to 280 m/min compared with baseline.

Keywords: hard alloy, VK6, protective coatings, carbides, nitrides, tensile strength, coefficient of variation, cutting, resistance

Хижняк Олег Вікторович – інженер, Національний технічний університет України «КПІ», вул. Політехнічна, 35, корп. №9, м. Київ, Україна, 03056.

Калашніков Гліб Юрійович - – інженер, Національний технічний університет України «КПІ», вул. Політехнічна, 35, корп. №9, м. Київ, Україна, 03056.

Хижняк Віктор Гаврилович – д-р. техн. наук, проф., професор кафедри металознавства та термічної обробки інженерно-факультету, Національний технічний університет України «КПІ», вул. Політехнічна, 35, корп. №9, м. Київ, Україна, 03056, тел.: +38 044 454 95 45.

Штойка Вікторія Юріївна – студент, Національний технічний університет України «КПІ», вул. Політехнічна, 35, корп. №9, м. Київ, Україна.

Побережний Дмитро Андрійович – студент, Національний технічний університет України «КПІ», вул. Політехнічна, 35, корп. №9, м. Київ, Україна.

Данілов Андрій Павлович – інженер, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна.