

*В. Г. Хижняк, д-р техн. наук, проф.,
Т. В. Лоскутова, канд. техн. наук, доц.,
М. В. Аршук, асп.,
П. М. Волошановський, студ.*

БУДОВА, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА АБРАЗИВНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ДИФУЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ ЗА УЧАСТЮ ТИТАНУ, ВАНАДІЮ, ХРОМУ ТА АЛЮМІНІЮ НА СТАЛІ У8А

Національний технічний університет «КПІ», marina351@rambler.ru

Наведено результати досліджень впливу захисних покриттів за участю титану, алюмінію, ванадію на фазовий склад, структуру та абразивну зносостійкість сталі У8А, Абразивну зносостійкість визначали двома методами: закріпленням та вільним абразивами за які використовували карбід бору. Показано вплив мікротвердості, показників тріщиностійкості, які визначали методом кінетичної мікротвердості, на абразивну зносостійкість. Установлено, що досліджені в роботі покриття підвищують абразивну зносостійкість сталі У8А в 2,1–4,3 рази.

Вступ. Працездатність деталей машин, інструментів, оснастки зв абразивного зношування визначається умовами експлуатації, а також механічними та фізико-хімічними властивостями матеріалів [1–4]. У промисловості для збільшення ресурсу служби, ефективності інструментів та деталей машин, використовують різні методи хіміко-термічного оброблення [1; 5–7], які дозволяють отримувати на поверхні необхідні види покриттів.

Для прогнозування абразивної зносостійкості різних матеріалів дотепер використовували такі характеристики, як модулі пружності та твердість [4; 8]. Водночас за результатами робіт [4; 9–11] факт лінійної залежності абразивної зносостійкості від твердості не підтверджується. Матеріали з однаковою твердістю можуть відрізнятися структурою, фазовим складом та тріщиностійкістю.

Постановка завдання. Неоднозначність інтерпретації залежностей «абразивна зносостійкість–властивість» навели дослідни-

ків на пошуки нових адекватних залежностей. Автори [12; 13] дійшли висновку, що абразивна зносостійкість непогано відповідає межі плинності та межі міцності матеріалу. У працях [7; 11] показано, що для коректного пояснення процесів деформації та руйнування в зоні контактної взаємодії абразиву та поверхні зразка необхідно залучати крім згаданих інші механічні властивості. Так, характеристики тріщиностійкості були використані для пояснення результатів абразивного зношування, руйнування під час кочення твердих тіл [7; 10; 12; 14].

До виробів із захисними покриттями ставлять додаткові вимоги. Це стосується передусім механічної стабільності композиції «покриття–основа». При цьому покриття, крім необхідних структури і механічних властивостей, повинні мати певний рівень напружень першого роду та адгезійної взаємодії з основою.

Процеси деформації та руйнування досліджених в роботі покриттів залежать від багатьох факторів, у тому числі і від тріщиностійкості, методи визначення якої ще не розроблені.

Таким чином, в роботі поставлено завдання з визначення взаємозв'язку між типом покриття його структурою і механічними властивостями, адгезією з основою. Отримані результати дозволяють коректно підійти до вибору фазового складу покриття, його параметрів для конкретних умов експлуатації.

Методика досліджень. Як об'єкт досліджень вибрано сталь У8А, зразки якої піддавали різним видам хіміко-термічного оброблення. Титанування, ванадіювання, хромування проводили в закритому реакційному просторі за умов зниженого тиску. Як вихідні реагенти використовували порошки перехідних металів та чотирихлористий вуглець [7; 10]. Азототитаноалітування відбувалося в два етапи. На першому зразки зі сталі У8А азотували в середовищі дисоційованого аміаку за температури 540 °С протягом 16 год. На другому етапі азотовані зразки титаноалітували в суміші порошоків титану та алюмінію, хлористого амонію та оксиду алюмінію в контейнері з плавким затвором в умовах зниженого тиску [15].

В роботі абразивну зносостійкість визначали двома методами випробувань, у яких як абразив використовували карбід бору [1; 7; 8]. В першому випадку контактна взаємодія покриття з абразивним порошком відбувається в фіксованому місці. У процесі випробу-

вань формується лунка з інтенсивним зношуванням сталі У8А в центрі зони контакту. Зношування відбувається на перших етапах випробувань покриття, а на наступних – композиції «покриття–основа».

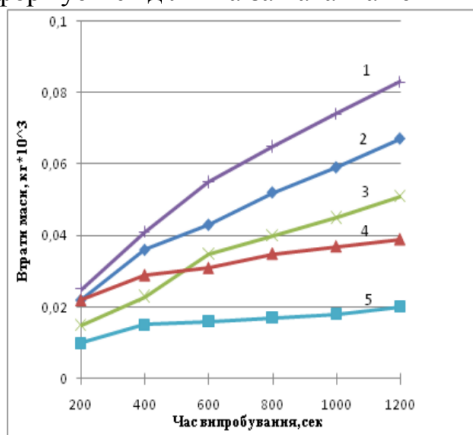
У разі другого використаного в роботі методу випробувань відбувається рівномірне руйнування покриття абразивом по всій контактній поверхні [7]. Можна вважати, що в реальних умовах експлуатації виробів із сталі У8А з покриттями можливої обидва зазначені варіанти зношування.

Результати досліджень. Фазовий склад, механічні властивості, результати досліджень абразивної зносостійкості захисних покриттів на сталі У8А наведено в таблиці та на рисунку. Аналіз даних про процеси зношування вільним абразивом показав, що ряд, у якому розміщуються покриття за збільшенням зносостійкості, добре збігаються з рядом розміщення покриттів за збільшенням показників мікрокрихкості.

Фазовий склад та властивості дифузійних покриттів на сталі У8А

Вид оброблення	Фазовий склад покриття	Товщина, мкм	Мікротвердість, ГПа	Навантаження утворення тріщини, Р _т , Н	Розміри тріщини С, мкм	Мікроміцність, σ _{мп} , МПа	Показник мікрокрихкості, γ	Напруження віднапруження покриття σ _{вп} , МПа	Коефіцієнт збільшення зносостійкості при випробуванні вільним абразивом
Титанування	TiC	16,5	39,5	0,50	39,0	328,7	120,4	61,0	6,5
Титанованадхромування	(Ti, V, Cr)C	18,0	34,5	0,55	35,0	449,0	76,9	120,0	3,9
Ванадіювання	V ₂ C	4,0	21,0	-	-	-	-	115,0	3,8
	VC	12,0	28,2	0,40	32,0	390,6	65,6		
Ванадіохромування	(V, Cr)C	13,5	23,7	0,50	30,0	555,6	42,7	180,0	3,0
	(Cr, Fe, V) ₂ C ₃	3,0	17,5	-	-	-	-		
Хромування	Cr ₂ C ₃	7,0	16,0	0,75	33,0	687,7	23,2	220,0	1,9
	Cr ₇ C ₃	11,5	17,1	0,70	34,0	605,5	28,5		
Титаноалітування	Fe(Ti, Al) ₂ O ₃	10,0	10,0-12,0	0,40	50,0	160,0	62,5	-	3,2
	TiC	14,5	34,5	-					
	Fe ₂ (Al)	35,0	1,5-3,0	-					
Азоттитаноалітування	Fe ₂ (TiAl) ₂ O ₃	16,5	13,5-17,0	0,50	52,0	184,9	91,9	-	4,3
	TiC	4,5	32,0	-					
	TiN	6,0	28,6	-					

Мікроміцність та мікрокрихкість покриттів визначали за методикою [16; 17], аналізуючи криву вдавлювання алмазної піраміди Вікерса на приладі ПМТ-3. У разі руйнування покриття і утворення тріщини довжиною C на кривій залежності «навантаження–деформація» формується ділянка за навантаження P_T .



Абразивне зношування закріпленою абразивом сталлю У8А у вихідному стані та з покриттями; навантаження 9,8Н; швидкість 0,159 м/с;
 1 – загартована та відпущена сталь без покриття; 2 – титаноалітування;
 3 – титанування; 4 – азотування з наступним титаноалітуванням;
 5 – хромування

Схильність покриттів, які досліджували в роботі, до тріщиноутворення з інденуванням пірамідою Вікерса зумовлено їх високою твердістю, а також особливостями будови — пористістю, величиною зерен, морфологічною та аксіальною кристалографічною текстурами, напруженим станом покриття.

Таким чином, отримані експериментально розміри тріщини C та навантаження утворення тріщини P_T . Дозволили визначити мікроміцність ($\sigma_{\text{мп}}$) за виразом $\sigma_{\text{мп}} = P_T / C^2$.

Використання $\sigma_{\text{мп}}$ як характеристики мікроміцності цілком справедливе. Тріщина як продовження діагоналі відбитку піраміди Вікерса виникає в тому випадку, коли розклинювальне напруження стає більшим за межу міцності і зростає доти доки напруження в кінці тріщини не стане дорівнювати межі міцності. З формальних ознак тріщина, яка утворилася на межі «покриття–основа» відпові-

дає напруженню відшарування покриття і характеризує адгезію дифузійного покриття до основи.

Тріщиностійкість покриттів оцінювали за безрозмірним показником мікрокрихкості (γ), $\gamma = HC^2/P_T$, де H – мікротвердість покриття; C – розміри мікротріщини; P_T – навантаження утворення тріщини.

Таким чином, мікроміцність та показник мікрокрихкості є ефективними характеристиками покриттів, які відповідають його фазовому складу, структурі, дефектності, напруженому стану.

Установлено, що серед досліджених в роботі покриттів максимальну зносостійкість показали покриття на основі карбіду титану TiC . Для останнього характерні висока мікротвердість – 39,5 ГПа, а також значний розмір мікротріщини – 39,0 мкм. Мікротвердість хромованого шару на основі карбідів Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$ та хромотитаноалітованого на основі сполуки $Fe_2(Ti,Al)_4O$ майже однакова і становить 16,0...17,0 ГПа

При цьому показник мікрокрихкості карбідохромових шарів набагато менший, ніж шару $Fe_2(Ti,Al)_4ON_3$, а напруження відшарування, навпаки, майже в три рази більше.

Аналіз результатів випробувань абразивної зносостійкості сталі У8А з покриттями показав значну кореляцію отриманих результатів з показниками мікрокрихкості. Так, мікротвердість покриттів на основі карбіду титану TiC перевищує мікротвердість шарів на основі карбідів хрому Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$ майже в 2,5 разу, показник мікрокрихкості – у 5,2 разу, абразивну зносостійкість – в 6,8 разу. Цілком зрозуміло, що показник мікрокрихкості набагато точніше характеризує абразивну зносостійкість покриттів вільним абразивом, ніж інші — мікротвердість, мікроміцність.

Результати досліджень зносостійкості у процесі випробування закріпленням абразивом сталі У8А у вихідному стані (гартування та низькотемпературний відпуск, твердість 60HRC) та з покриттями наведено на рисунку.

Аналіз отриманих даних показав, що абразивна зносостійкість сталі У8А з покриттями зростає в 1,3–4,1 разу в порівняно з вихідною. Ефект підвищення зносостійкості зумовлений як високою мікротвердістю окремих шарів покриттів, параметрами тріщиностійкості, так і особливостями структури. Зі збільшення стійкості в умовах абразивного зношування закріпленням абразивом до

сліджені покриття за способом нанесення можна розмістити в ряду: титаноалітування, титанування, азоттитаноалітування, хромування.

Відмінність зносостійкості досліджених покриттів зумовлена їх структурою та властивостями. Високі результати за прийнятих в роботі умов випробувань хромованої сталі можна пояснити в першу чергу добре розвиненою перехідною зоною і як наслідок високою адгезією покриття з основою. Порівняно низькі показники титаноалітованої сталі У8А зумовлені наявністю в покритті під зоною сполук (TiC, Fe₂Ti₄O) шару на основі твердого розчину α-заліза. Незначна твердість та порівняно висока товщина останнього призводять до руйнування верхніх шарів на основі більш твердих сполук.

Висновки.

Показано, що залежно від виду хіміко-термічного оброблення на поверхні сталі У8А формуються одно- та багат шарові покриття за участю карбідів, нітридів, перехідних металів IV–VI груп Періодичної системи Д.І. Менделєєва.

Під час випробувань вільним абразивом найвищу стійкість показали покриття зі значним показником мікротвердості – одношарове покриття TiC та багат шарове Fe₂(Ti,Al)₄(O,N), TiC, TiN.

Зносостійкість покриттів під час випробувань закріпленим абразивом буде визначатися значною мірою адгезією покриття з основою. Порівняно з вихідною зносостійкість хромованої сталі У8А збільшилась в 4,3 разу, азоттитаноалітованої – у 2,2 разу.

Список літератури

1. *Трибологія*: підруч. / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. —К.: Вид-во «НАУ-друк»;–2009.–392 с.
2. *Костецкий Б.И.* Сопротивление изнашиванию деталей машин./ Б.И. Костецкий. –М.–К.: МАШГИЗ; 1959.–478с.
3. *Беспалов С.А.* Металловедческие аспекты в процессах разрушения металлических материалов при трении. //Успехи физики металлов. / С.А. Беспалов. – Т.10. –№4.– 2009.–С.98–118.
4. *Torrance A.A.* Modelling abrasive wear. *Wear*, 258; 2005.–P.281–283.
5. *Лахтин Ю.М.* Химико-термическая обработка металлов./ Ю.М.Лахтин, Б.Н.Арзамасов. – М.: Металлургия, 1985.–256 с.
6. *Химико-термическая обработка металлов и сплавов*: Справ. Г.В.Борисенко, Л.А.Васильев, Л.Г. Ворошин и др.–М.:Металлургия, 1981.–424 с.

7. Лоскутов В.Ф. Диффузионные карбидные покрытия./ В.Ф.Лоскутов, В.Г.Хижняк, Ю.А. Куницкий и др. –К.:Техніка,1991.–168 с.

8. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М.Хрущов, М.А. Бабигов.– М.:1970.

9. Брыков Н.Н. Проблема сопротивляемости сталей и сплавов абразивному изнашиванию// Проблемы трибології./ Н.Н.Брыков, М.Н. Брыков. –Хмельницький. ТУП.–№1, 2006. –С. 93–97.

10. Хижняк В.Г. Состав и некоторые свойства карбидных покрытий на стали ХВГ// Изв. вузов. Черная металлургия. / В.Г. Хижняк, В.И. Король. – 2002. –№9. –С.67–68

11. Хижняк В.Г., Лоскутова Т.В., Москаленко Ю.Н., Король В.І. Структура та зносостійкість карбідних покриттів з ніобієм та хромом на сталі У8А / В.Г.Хижняк, Т.В.Лоскутова, Ю.Н.Москаленко, В.І. Король. // Наук. вісті НТУУ «КПІ».– 2002.–№6.–С.94–97.

12. Виноградов В.Н., Сорокин Т.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. —М.: Машиностроение, 1990.—224с.

13. Дворук В.І. Вплив структурного стану на абразивне руйнування сталі/ В.І.Дворук, О.В. Герасимова // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб.—К.: НАУ, 2007.—Вип. 47.— С. 82–94.

14. Hornbogen E. The role of fracture toughness in the wear of metals// Wear. –1975. –V33, №2.–P.251–259.

15. Хижняк В.Г. Титаноалітування технічного заліза в закритому реакційному просторі в середовищі хлору/ В.Г.Хижняк, М.В.Аршук, Д.В.Лесечко, Т.В. Лоскутова // Наук. вісті НТУУ «КПІ»,2009.–4.–С.92–96.

16. Хижняк В.Г. Определение микрохрупкости карбидных покрытий с использованием метода кинетической микротвердости/ В.Г.Хижняк, А.И.Дудка, О.В.Хижняк // Известия вузов. Черная металлургия. –1996. – №9. –С.83.

17. Хижняк В.Г. Диффузионные покрытия на основе карбидов титана, ванадия и хрома на стали У8А. / В.Г.Хижняк, Ю.М.Помарин, Н.А.Курило, И.Ю. Медова //Современная электрометаллургия. –2007, – №4– (89). –С.30–33.

Хижняк В.Г., Лоскутова Т.В., Аршук М.В., Волошановский П.М. Структурные, механические свойства и абразивная износостойкость диффузионных покрытий, за участием титана, ванадия, хрома и алюминия, на стали У8А // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 54. – С.230–237.

Приведены результаты исследований влияния защитных покрытий при участии титана, алюминия, ванадия, на фазовый состав, структуру и абразивную износостойкость стали У8А. Абразивную износостойкость опре-

деляли двумя методами: закрепленным и свободным абразивом, в качестве которого использовали карбид бора. Показано влияние микротвердости, показателей трещиностойкости, которые определяли методом кинетической микротвердости, на абразивную износостойкость. Установлено, что исследованные в работе покрытия повышают абразивную износостойкость стали У8А в 2,1–4,3 раза.

Khyzhniak V.G., Loskutova T.V., Arshuk M.V., Voloshanovskyi P.M.
Structure, mechanical properties and abrasive wearproofness of diffusive coverages, after participation of titan, vanadium, chrome and aluminium, on steel of U8A.

The results of researches of influence of sheeting are resulted with participation of titan, aluminium, vanadium, U8A became on phase composition, structure and abrasive wearproofness, the Abrasive wearproofness was determined two methods: by the fastened and free abrasive as which used the carbide of the coniferous forest. It is rotined, influence of microhardness, indexes of treschinostoykosti, which determined the method of kinetic microhardness, on abrasive wearproofness. It is set that investigational in-process coverages promote abrasive wearproofness U8A became in 2,1-4,3 time.

Стаття надійшла до редакції 13.10.2010