ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 4, № 1 (2003) С. 401-403

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 4, № 1 (2003) P. 401-403

УДК 621. 785:621. 793

В.Г. Хижняк, В.І. Король

Механічні властивості карбідних покриттів за участю титану та хрому на сталі У8А

НТУУ «КПІ» Україна, м. Київ 03056 пр. Перемоги, 37

Досліджено зносостійкість сталі У8А з захисними покриттями на основі карбідів титану та хрому при різних умовах зношування. Експериментальні результати показали, що карбідні покриття ефективно підвищують зносостійкість сталі в 25 – 30 раз в залежності від виду зношування. Визначені в роботі мікроміцність, показник мікрокрихкості, адгезія покриття до основи є ефективними характеристиками, що доповнюють та більш повно відображають вплив мікротвердості та напруженого стану, структури, дефектності матеріалу покриття на його стійкість до зносу.

Ключові слова: карбідне покриття, зносостійкість, мікротвердість, мікроміцність, мікрокрихкість, адгезія.

Стаття поступила до редакції 27.08.2002; прийнята до друку 23.09.2002

Досвід експлуатації деталей машин, інструментів і технологічної оснастки з захисними покриттями показав, що в процесі зношування композиції покриття – основа явища пошкоджуваності виявляються на початкових стадіях роботи [1,2,3]. Нормальне, тобто механо-окислювальне зношування відбувається при реалізації процесу структурного пристосування, що включає комплекс явищ, пов'язаних із деформацією, текстуруванням поверхневих шарів сплавів, взаємодією хімічних елементів сплаву з хімічно активними компонентами робочого середовища. Цілком зрозуміло, що при зношуванні виробів із покриттями спостерігається формування складної неоднорідно-деформованої і зруйнованої зони, що включає дифузійний шар і основний сплав. Данні про вплив структури і властивостей карбідних покриттів на зносостійкість стали У8А при терті ковзання мають дотепер неповний характер.

Карбідні покриття наносили при температурі 1323 К в замкнутому реакційному просторі при зниженому тиску, час витримки 4 години. У якості вихідних реагентів використовували порошки перехідних металів (титан, хром), чотирихлористий вуглець[3]. Фазовий склад покриттів визначали на рентгенівському дифрактометрі ДРОН 2.0 у мідному монохроматизованому випромінюванні. Металографічні дослідження здійснювали на оптичному мікроскопі «Neophot 21». Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ - 3, на якому встановлено пристрій, що дозволяє записувати криву навантаження в координатах “навантаження на інденторі – глибина впровадження піраміди”.

Мікроміцність, показник мікрокрихкості карбідних покриттів, адгезію покриття до основи визначали за методикою [4] при аналізі кривої впровадження індентора приладу ПМТ - 3. При утворенні радіальної тріщини довжиною С на кривій навантаження - деформація утвориться площадка при навантаженні $P_т$, що дозволяє визначити мікроміцність за таким співвідношенням

$$\sigma_п = P_т / C^2.$$

Використання $\sigma_{п,}$ як характеристики мікроміцності, цілком справедливо. Тріщина виникає і росте в тому випадку, якщо напруження у вершині тріщини перевищує межу міцності на відрив. Тріщина, розташована на межі покриття – сталь, відбиває рівень адгезії покриття до основи, а величина $P_т / C^2$ визначає напруження відшарування покриття $\sigma_{в.}$

У якості показника мікрокрихкості запропоновано використовувати безрозмірний показник γ, що пов’язує навантаження утворення тріщини $P_Т$, довжину радіальної тріщини С, максимальне навантаження на інденторі Р і розміри крихкого відбитка при такому навантаженні –d:

$$\gamma = C^2 P / d^2 P_т .$$

Можна вважати, що мікроміцність і показник мікрокрихкості є ефективними характеристиками. Крім того, показник мікрокрихкості дозволяє встановити зв’язок між мікрокрихкістю і

микроміцністю для визначеного структурного і напруженого стану дифузійного шару.

Триботехнічні випробування проводили на машині тертя МТ - 68 за схемою вкладиш-підшипник. Характеристики зносостійкості покриттів визначали при терті ковзанні без змащування за методикою [7] з вимірюванням приведеного зносу і коефіцієнту тертя. У якості матеріалу контртіла використовували сталь 65Г, загартовану і відпущену на твердість HRC 51. Випробування проводили при навантаженнях 0,25-1,5 МПа і швидкостях ковзання 2-10 м/с. Знос оцінювали за зміною лінійних розмірів зразка віднесених до шляху тертя.

Результати дослідження фазового складу, товщини і механічних властивостей карбідних покриттів на сталі У8А приведені в таблиці.

Аналіз отриманих даних показав, що більш високий рівень адгезійної взаємодії зі сталлю У8А мають карбідні покриття за участю хрому. Для них характерно наявність добре розвитої перехідної зони, збагаченої хромом, а також значний вміст заліза сплаву основи в карбідній зоні.

У роботі встановлено, що навантаження утворення тріщини Рт, що відбиває спроможність матеріалу покриття до пружньо-пластичної деформації в зоні контакту з індентором до моменту початку руху тріщини, залежить від багатьох чинників. Встановлено неоднозначну залежність Рт від мікротвердості.

Розміри радіальної тріщини С обумовлені структурою, складом, напруженим станом покриття. Ріст тріщини починається в той момент, коли релаксаційні процеси в зоні контакту індентор - покриття є вичерпаними. Покриття з високою мікротвердістю, такі як TiC, відрізняються максимальними значеннями показника мікрокрихкості і невисокими значеннями мікроміцності. Покриття $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 характеризуються високою мікроміцністю і низьким показником мікрокрихкості.

Результати дослідження зміни механічних характеристик покриттів титана і хрому по товщині приведені на рис. 1. Слід зазначити, що мікроміцність покриттів типу TiC на досліджуваних сталях практично не змінюється по товщині покриття (див. рис. 1). Характер зміни мікротвердості, навантаження утворення тріщини, розміру радіальної тріщини мають інший характер. Мікротвердість монотонно зменшується від межі розділу карбід-сталь до зовнішньої границі від 39,5 до 34 ГПа. Це пов'язано швидше за все зі зміною вмісту вуглецю по товщині покриття. Навантаження утворення мікротріщини монотонно зростають від зовнішньої межі покриття, що обумовлено зміною макронапружень. Показник мікрокрихкості γ та розмір радіальної тріщини С зростають від зовнішньої межі покриття і набувають максимального значення в її центральній зоні.

Характер зміни механічних характеристик по товщині покриття на основі хрому обумовлений зміною фазового і хімічного складу покриттів, а також його морфологією[3].

Результати дослідження зносостійкості сталі У8А з карбідними покриттями в умовах тертя ковзання без змащування приведені на рис. 2.

У роботі були виконані дослідження залежності коефіцієнта тертя і приведеного зносу від швидкості ковзання і навантаження. Вони показали, що коефіцієнт тертя більше залежить від зміни навантаження, ніж швидкості ковзанні при терті. Найбільше низькі значення коефіцієнта тертя були виявлені у покриттів на основі карбіду титану при

Таблиця.

Фазовий склад, товщина і властивості покриттів на основі стали У8А*.

Вид насичення	Фазовий склад покриття	Товщина, мкм	Мікротвердість, ГПа	Навантаження утворення тріщини Рт, Н	Розміри радіальної тріщини С, мкм	Мікроміцність $\sigma_{\text{п}}$, ГПа	Показник мікрокрихкості γ	Навантаження відшарування покриття $\sigma_{\text{в}}$, ГПа
Титанування	**TiC**	**18.5**	**35,7**	**0,50**	**39,0**	**3,2**	**63,0**	**6,1**
Хромування	**$Cr_{23}C_6$** **Cr_7C_3** **σ-фаза**	**10,0** **7,0** **3,0**	**17,0** **15,5** **-**	**0,75** **0,70** **-**	**34,0** **33,0** **-**	**6,5** **6,4** **-**	**16,0** **14,0** **-**	**22,0**

*Значення показників приведені для центральних зон покриттів

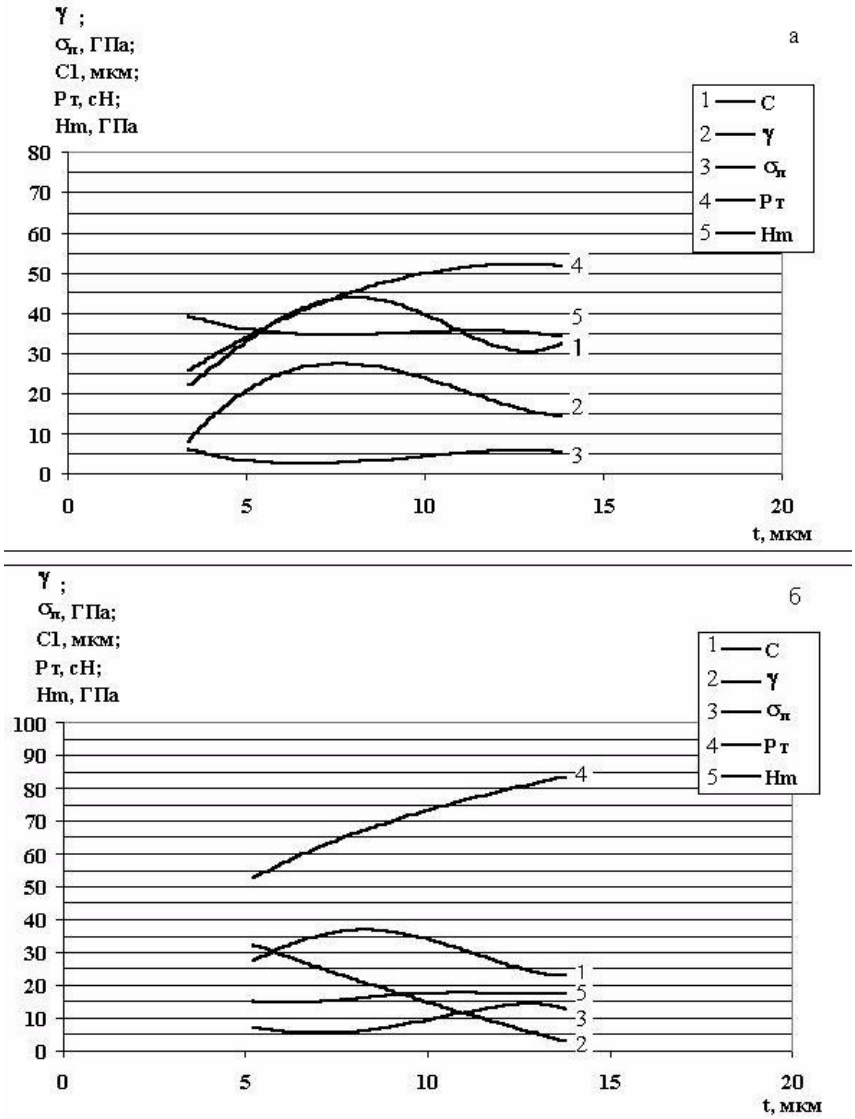

Рис. 1. Зміна механічних характеристик по товщині покриттів на основі титана (а) та хрому (б) на сталі У8А.

навантажені 1,5 МПа при швидкості ковзання V=10м/с (0,18); у покриттів на основі карбідів хрому при навантаженні Р=1 МПа та швидкості ковзання V=10м/с. Приведений знос росте з ростом швидкості ковзання, проте покриття типу TiC відрізняються більш низькими показниками приведеного зносу в досліджуваному діапазоні швидкостей ковзання та навантажень.

Очевидно, що високу зносостійкість в умовах тертя без змащування покриття на основі карбіду титану визначають низький коефіцієнт тертя в парі зі сталлю та висока мікротвердість. Крім того позитивний вплив на зносостійкість карбіду титана має тонкий прошарок оксид титану TiO_2 (рутила), що утворюється на поверхні тертя, добре зчепленого з основою[1,3] Плівка оксиду титана має захисні властивості і ізолює поверхню виробу від захоплення з контртілом. Як показали результати досліджень, на поверхні карбідів хрому оксидних плівок із захисними властивостями не утворюється. Проте карбіди хрому мають більш високі показники адгезійної взаємодії покриттів до основи. Слід зазначити, що карбід титану, який має виняткову твердістю при кімнатній температурі, із підвищенням температури втрачає свою першість. Вже при температурі 550-750 ^{O}C твердість карбідів хрому стає вище за твердість титану [3,6,8].

Триботехнічні дослідження в умовах тертя ковзання показали, що карбідні покриття товщиною 18,0 -20,0 мкм руйнуються в перші 20-40 секунд роботи. При цьому зносостійкість композиції покриття - основа підвищується в 25- 30 разів (у залежності від умов випробувань), в порівнянні зі сталлю без покриття.

Металографічними дослідженнями було показано, що в зоні тертя (рис. 3) на дні лунки зносу в досліджуваних покриттях, глибина якої в декілька разів перевищує товщину покриття, відзначена наявність часток карбідних фаз, що очевидно захоплюються контртілом і впроваджуються в найбільш пластичні ділянки поверхні лунки.

Таким чином, процес зношування композиції покриття-основа з добре вираженою лункою зносу контролюється структурою і властивостями

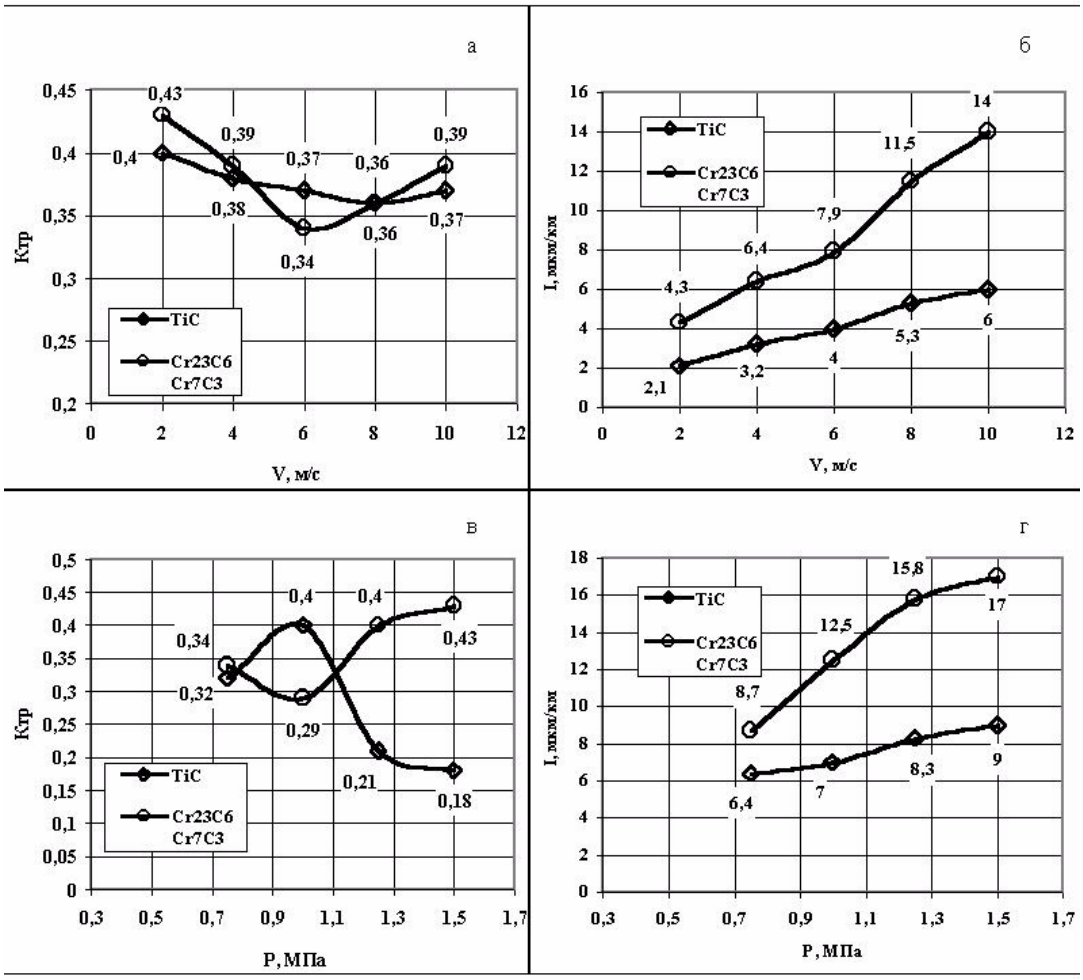

Рис. 2.

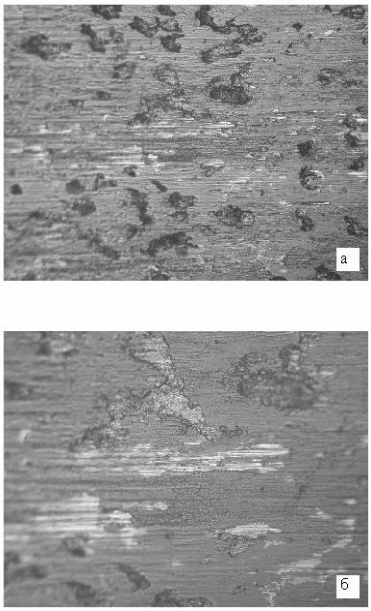

Рис. 3. Мікроструктури поверхонь тертя після випробувань на зношування при терті ковзанні без змащування, P = 0,25 МПа, v = 10 м/с, час 1 год.

а – покриття на основі карбіду титану, х200;

б – покриття на основі карбідів хрому, х200.

покриття, матеріал якого є присутнім не тільки на поверхні, але й у вигляді окремих включень в основі, структурою і властивостями матеріалу основи (сталь У8А), а також адгезійною взаємодією покриття до основи.

В роботі розглянуто особливості зміни механічних властивостей по товщині покриттів.

Отримані в роботі експериментальні результати показали, що карбідні покриття значно підвищують зносостійкість сталі У8А (в 25 - 30 разів), сприяють зниженню коефіцієнта тертя (в 2-2,5 рази).

Крім того визначено оптимальний діапазон швидкостей ковзання та навантажень, в яких рекомендується робота виробів із захисними покриттями типу TiC, $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3.

Хижняк В.Г. *– доктор технічних наук, професор;*
Король В.І. *– аспірант*.

[1] Б.И Костецкий. *Сопротивление изнашиванию деталей машин*. – М. – К.:Машгиз, (1959). – 478 с.
[2] *Химко-термическая обработка металлов и сплавов*: Справ. – М.: Металлургия, (1981). 424 с.
[3] В.Ф.Лоскутов, В.Г. Хижняк., Ю.А Куницкий., М.В Киндрачук. *Диффузионные карбидные покрытия.* К.: Тєхніка, (1991). – 168 с.
[4] В.Г.Хижняк, А.И.Дудка, О.В Хижняк. Определение микрохрупкости карбидных покрытий с использованием метода кинетической микротвердости. //*Изв. Вузов. Черная металлургия* .- (1996). -№9. – 83 с.
[5] М.А Штремель. *Почность сплавов. Часть II Деформация*. – М.: МИСИС. (1997).- 527 с.
[6] *Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе*: Справ. / Р.А. Андриевский, И.И. Спивак, Челябинск: Металлургия – Челябин. отд.. (1989). –368 с.
[7] Э.Т.Мамыкин, М.К Ковпак., А.И Юга. и др. Комплекс машин и методика определения антифрикционных свойств материалов при трении скольжения // *Порошковая металлургия*. – (1973). №1 – с. 67-72
[8] Л. Тот. *Карбиды и нитриды переходных металлов*. М.: Мир. (1974). – 296 с.

V.G. Khyzhnyak, V.I. Korolj

Mecanical Properties of Carbide Covering with Titanium and Chromium on Steel U8A

NTUU «KPI» Ukraine, Kyiv 03056 av. Peremogy, 37

Became researched endurance У8А at different aspects of trials, the experimental outcomes have shown, that carbides of a coating in 25 - 30 times effectively boost endurance of steel depending on a mode of trials. In operation is shown, that microdurability, index of microfragility are in effective performances complementary microhardness and mirroring influence of a tension, the structures, defects of a material of a coverage on its resistance to wear.