

УДК 621.891

В. Ф. ЛАБУНЕЦЬ¹, М. І. ДЕНИСЕНКО², О. В. РАДЬКО¹, В. В. ЗАГРЕБЕЛЬНИЙ¹¹Національний авіаційний університет, Україна²Національний університет біоресурсів і природокористування України

ПІДВИЩЕННЯ АБРАЗИВНОЇ СТІЙКОСТІ СТАЛІ 45 КОМБІНОВАНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Досліджено вплив хімічного складу електродних матеріалів і режимів електроіскрового легування сталі 45 на її зносостійкість в умовах абразивного зношування. Встановлено, що максимальною зносостійкістю володіють покриття (Ti, Cr)B₂ + 25 %AlN

Ключові слова: абразив, зносостійкість, сталь, покриття, знос, структура

Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними завданнями. Підвищення терміну служби деталей машин, що зношуються, відноситься до числа найважливіших проблем сучасного машинобудування велика кількість функціональних порушень у роботі машин обумовлені зносом деталей пар тертя, що лімітує тривалість їх експлуатації. Витрати на ремонт і виготовлення нових машин замість передчасно списаних складає одну із значних статей витрат у народно-господарчому бюджеті. Особливо це стосується деталей машин і обладнання, які працюють в умовах абразивного зношування, що проявляється у результаті ріжучої чи дряпаючої дії твердих тіл або частинок найчастіше мінерального походження.

Необхідною умовою можливого прояву абразивного зношування є велика твердість тіла, що зношує, порівняно з тілом, яке зношується [1]. При цьому розміри деталей зменшуються в результаті руйнування поверхневих шарів у зв'язку з відділенням мікрооб'ємів твердого тіла під впливом абразивних зерен, що призводить до зносу, який вимірюється у міліметрах, а інколи і в сантиметрах [2].

У зв'язку з цим роботи, присвячені пошуку шляхів підвищення абразивної стійкості конструкційних матеріалів деталей вузлів тертя і обладнання є актуальними.

Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем. Абразивне зношування – це процес руйнування поверхонь деталей машин і обладнання, обумовлений наявністю твердих абразивних частинок в зоні тертя. Він широко розповсюджений на практиці [3]. Цьому виду зношування підлягають робочі органи сільськогосподарських, будівельних та дорожніх машин і механізмів. Він спостерігається у спряжених деталях широкого кола машин у зв'язку з проникненням твердих частинок з повітря, паливо-мастильних матеріалів, а також при обробленні абразивними матеріалами тощо. Абразивне зношування у багатьох випадках обумовлене утворенням у парах тертя продуктів зносу. Абразивній дії сприяють також тверді структурні складові спряжених поверхонь тертя.

Згідно з [1], всі абразивні зерна, що входять у зіткнення з металом, поділяються на дві групи: а) зерна, що визивають тільки деформування металу у вигляді створення пластично видавлених рисок – подряпин; б) зерна, що здійснюють також різання металу. Як перші так і другі зерна сприймають навантаження, але число перших значно більше. У процесі повторного деформування метал повинен наклепуватися.

Автор [4] поділяє процеси абразивного зношування на прості, змішані і складні. Прості процеси зношування характеризуються розвитком руйнування якого-небудь одного виду. Знеміцнення поверхневого шару при простих проце-

сах зношування не відбувається. Змішані процеси зношування характеризуються одночасною дією декількох (зазвичай двох) видів руйнування. Одночасно проходять частіше всього процеси прямого і полідеформаційного руйнування. Для складного процесу зношування характерним є суттєве зменшення матеріалу.

На основі отриманих експериментальних даних автори [5] стверджують, що руйнування металу при абразивному зношуванні відбувається протягом двох стадій, на кожній з яких опір руйнуючій дії абразивних частинок визначається принципово різними властивостями. Поведінка металу на першій стадії – проникнення абразиву в поверхню деталі характеризується явищами, подібними до тих, які відбуваються при випробуваннях на твердість. Друга стадія зношування відбувається у процесі взаємного переміщення деталі і занурення у її поверхню абразиву. Вона включає руйнування поверхневих ділянок металу та їх відрив.

Форма і механізм руйнування при абразивному зношуванні, згідно досліджень [6] визначаються взаємодією поверхонь тертя з абразивним середовищем, сутність якого заключається у ковзанні твердих частинок, пластичному деформуванні металу, зануренні у місцях контакту і руйнуванні поверхневих об'ємів без відділення металу, або з утворенням мікростружки.

В результаті фундаментальних досліджень проведених автором [7] встановлено, що між процесами деформування і руйнування існує взаємозв'язок, провідна роль в якому належить процесу деформування. Таким чином, акти деформування визначають не тільки кінетику зношування, а і кінетику руйнування нерухомої поверхні.

Розглянутий огляд літературних джерел свідчить про складність процесів абразивного зношування, їх багатогранність і невизначенність, що потребує проведення подальших досліджень, направлених на зниження інтенсивності розвитку процесів абразивного зношування деталей машин та обладнання.

Одним з основних шляхів підвищення зносостійкості деталей трибосистем з наявністю абразиву є використання технологічних методів поверхневого зміцнення робочих органів машин і механізмів. Так, наприклад, у роботах [8; 9] показано перспективність застосування іонного азотування для підвищення абразивної стійкості сталей та 38Х2МЮА та 46Х13, а у роботі [10] позитивний вплив електроіскрового покриття на сталі 65Г.

Мета роботи. Визначення зносостійкості сталі 45 з комбінованими покриттями в умовах абразивного зношування.

Матеріали і методи досліджень. Покриття наносили методом електроіскрового легування (ЕЛЛ) на установці «Alier-52» на зразки зі сталі 45 розміром 30×30×2 мм з використанням 2-х режимів: 1. Час імпульсу $t_{имп} = 20$ мкс, енергія імпульсу $E_{имп} = 0,045$ Дж; 2. $t_{имп} = 170$ мкс, $E_{имп} = 0,61$ Дж. Час нанесення покриттів становив 1 – 2 хв/см², а товщина отриманих покриттів становила 100 – 300 мкм.

В якості електродів використовували твердий сплав ВК8, диборид титану-хрому ((Ti,Cr)B₂), сплав NiAlCr, а також композиційні матеріали на основі системи ((Ti,Cr)B₂)–NiAlCr з різним співвідношенням тугоплавкої і металеві складових (75:25, 50:50, 25:75 % об.). Електродні матеріали системи (Ti,Cr)B₂– NiAlCr були розроблені в Інституті проблем матеріалознавства НАН України та отримані методом спікання у вакуумі [11]. Дані матеріали та покриття на їх основі показали високий рівень зносостійкості в широкому діапазоні режимів та умов тертя [12], тому були запропоновані для роботи в умовах абразивного зношування.

Випробування покриттів на зносостійкість проводили на експериментальній

установці [13] відповідно до ГОСТ 23.208-79. Процес тертя моделювався у присутності вільного нежорсткозакріпленого абразиву. Зразки зношувалися вільним абразивом, який подавався гумовим роликом на поверхню тертя. В якості абразиву використовувався кварцовий пісок (SiO_2) зернистістю 250 та 500 мкм. Знос заміряли ваговим методом на електронних вагах AXIS з точністю до 0,0001 г. До і після випробувань зразки промивали в етиловому спирті, просушували і зважували. Експеримент проводили при швидкості ковзання 1 м/с, навантаженні 20 кг (при плечі 272 мм) і шляху тертя 200 м. Металографічні дослідження проводили на мікроскопі МБС 9.

Результати дослідження та їх обговорення. Металографічні дослідження показали, що при випробуванні зразків з покриттям $\text{TiCrB}_2 + 25\% \text{AlN}$, нанесеного по другому режиму, зношування протікає рівномірно по всій площі контактування, глибокі вириви та подряпини майже відсутні (рис.1). У випадку зразків з покриттям $\text{TiCrB}_2 + 75\% \text{AlN}$, нанесеного по другому режиму та з покриттям $\text{TiCrB}_2 - \text{VKHA}$, нанесеного по другому режиму, шорсткість робочої поверхні значно більша, спостерігається більш інтенсивне пружно-пластичне деформування та осередки руйнування покриття (рис.2), що корелює з результатами триботехнічних випробувань (рис.3).

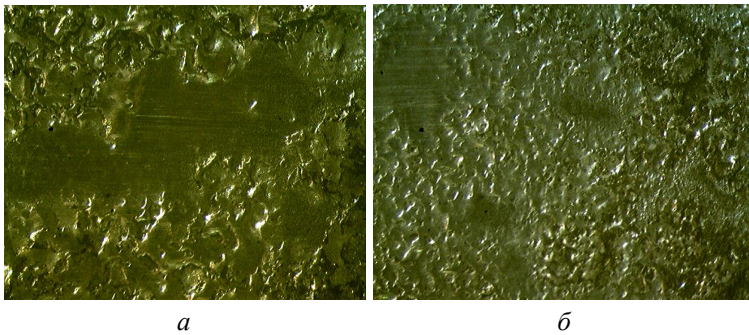


Рис. 1. Поверхня тертя зразка з покриттям $\text{TiCrB}_2 + 25\% \text{AlN}$, нанесеного по другому режиму при терті в середовищі кварцевого піску зернистістю 500 мкм (а) та зернистістю 250 мкм (б), $\times 60$

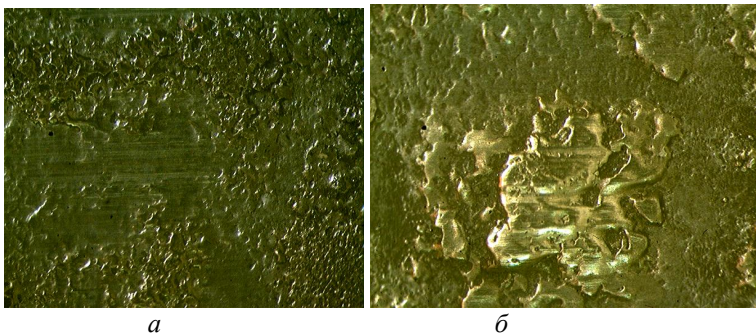


Рис. 2. Поверхня тертя зразка з покриттям $\text{TiCrB}_2 + 75\% \text{AlN}$, нанесене по другому режиму при терті в середовищі кварцевого піску зернистістю 500 мкм (а) та зразка з покриттям $\text{TiCrB}_2 - \text{VKHA}$ (ПН75Ю23В), нанесене по другому режиму при терті в середовищі кварцевого піску зернистістю 250 мкм (б), $\times 60$

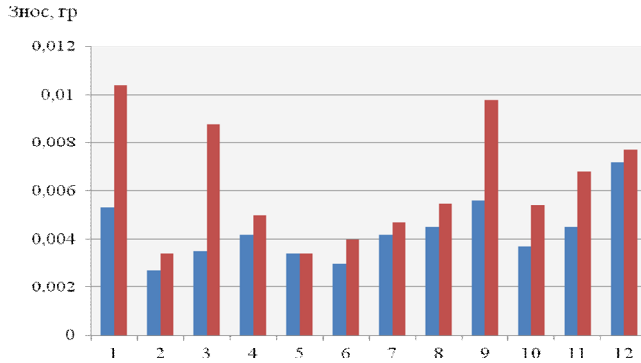


Рис. 3. Результати випробування на абразивну стійкість в середовищі кварцевого піску зернистістю 250 мкм (ряд 1) та 500 мкм (ряд 2)

Зразки, які досліджували: 1 – без покриття; 2 – покриття ВК8; 3 – покриття ВКС, нанесене по першому режиму; 4 – покриття ВКС, нанесене по другому режиму; 5 – покриття $TiCrB_2 + 25\% AlN$, нанесене по першому режиму; 6 – покриття $TiCrB_2 + 25\% AlN$, нанесене по другому режиму; 7 – покриття $TiCrB_2 + 50\% AlN$, нанесене по першому режиму; 8 – покриття $TiCrB_2 + 50\% AlN$, нанесене по другому режиму; 9 – покриття $TiCrB_2 + 75\% AlN$, нанесене по першому режиму; 10 – покриття $TiCrB_2 + 75\% AlN$, нанесене по другому режиму; 11 – покриття $TiCrB_2 - BKHA$ (ПН75Ю23В), нанесене по першому режиму; 12 – покриття $TiCrB_2 - BKHA$ (ПН75Ю23В), нанесене по другому режиму.

Аналіз отриманих результатів показав, що:

- зі зростанням зернистості від 250 до 500 мкм абразивна стійкість зміцнених зразків зменшується;
- найкращу абразивну стійкість мають покриття з твердого сплаву ВК8, що можна пояснити його високими міцністними властивостями;
- наближеною до них за значеннями показників зносостійкістю володіють покриття $TiCrB_2 + 25\% AlN$, нанесені по 1-му та 2-му режимах. Так, наприклад, зносостійкість сталі 45 з даним покриттям при терті в середовищі кварцевого піску зернистістю 250 та 500 мкм, порівняно з зразком без покриття збільшується у 1,6 та у 3 рази відповідно;
- зі збільшенням вмісту AlN у покриттях абразивна стійкість зміцнених зразків зменшується.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено вплив хімічного складу електродних матеріалів і режимів електроіскрового легування Ст45 на її зносостійкість в умовах абразивного зношування. Показано, що розроблені покриття системи $TiCrB_2$ за своїми триботехнічними характеристиками в умовах абразивного зношування майже не поступаються покриттям на основі твердого сплаву ВК8. Перспективою подальших досліджень у даному напрямку є визначення впливу режимів електроіскрового легування на абразивну стійкість для більш широкого кола конструкційних матеріалів.

Список літератури

1. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.;
2. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1966. – 331 с.;

3. Надежность и долговечность машин / [Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский, А.К. Караулов] – К.: Техника, 1975. – 408 с.;
4. Тененбаум М.М. Сопrotивление абразивному изнашиванию / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1976. – 270 с.;
5. Попов В.С. Износостойкость пресформ огнеупорного производства / В.С. Попов, И.Н. Бриков, Н.С. Дмитриченко. – М.: Металлургия, 1971. – 158 с.;
6. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – К.: Техника, 1970. – 396 с.;
7. Дворук В.И. Научные основы повышения абразивной износостойкости деталей машин / В.И. Дворук. – К.: КМУГА, 1997. – 101 с.;
8. Скуратовский А.К. Абразивна стійкість сталі 38Х2МЮА після іонноазотуючої обробки / А.К. Скуратовський, О.В. Радько // Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Машинобудування. – 2010. – №59. – С. 158-160;
9. Радько О.В. Абразивна стійкість сталі 40Х13 після зміцнення методом термоциклічного іонно-плазмового азотування / Радько О.В., Кумуржи О.Ю., Жигінас В.В. // 36-к наук. праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків: ХУПС, 2013. – Вип. 1 (34). – с. 156-160;
10. Денисенко М.І. Триботехнічні характеристики електроіскрових покриттів на сталі 65Г в умовах абразивного зношування / М.І. Денисенко, В.Ф. Лабунець, В.В. Загребельний // Проблеми тертя та зношування. – 2015. – №2 (67). – С. 61-65;
11. Коновал В.П. Вплив хімічного складу електродних матеріалів та режимів легування на властивості електроіскрових покриттів. І. Інтенсивність масопереносу та склад покриттів / В.П. Коновал, О.П. Уманський, А.Д. Панасюк, О.Ф. Лук'янчук // Порошкова металургия. – 2014. – №1/2. – С. 69-78.
12. Коновал В.П. Триботехнічні властивості електроіскрових покриттів із дибориду титану-хром та композиційних матеріалів на його основі / В.П. Коновал, О.П. Уманський, О.Д. Костенко, Л.М. Мелак, Т.В. Мосіна // Доповіді НАН України. – 2013. – №4. – С. 72-77.
13. Радько О.В. Абразивна стійкість сталі 46Х13 після зміцнення методом термоциклічного іонно-плазмового азотування / О.В. Радько, О.Ю. Кумуржи, В.В. Жигінас, О.І. Кремешний // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(34). – С. 156-160.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2016

V. F. LABUNETS, M. I. DENISENKO, O. V. RADKO, V. V. ZAGREBELNIY,

ABRASIVE INCREASE RESISTANCE STEEL 45 COMBINED COATINGS

The influence of the chemical composition of the electrode materials and modes of electric alloying of steel 45 on its durability to abrasion wear is investigated. Established that maximum durability have coverage (Ti, Cr) B₂ + 25% AlN. The wear resistance of 45 steel with this coating in its friction among quartz sand grain size of 250 and 500 microns, compared to a model without coverage increased by 1,6 and 3 times, respectively.

Keywords: abrasive, wearproofness, steel, wear, carboloy, coating.

Лабунець Василь Федорович – к.т.н., професор кафедри машинознавства Навчально-наукового Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, Київ.

Денисенко Микола Іванович – к.т.н., доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ.

Радько Олег Віталійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри машинознавства Навчально-наукового Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, Київ.

Загребельний Володимир Вікторович – аспірант кафедри машинознавства Навчально-наукового Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, Київ.