

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОІСКРОВИХ ПОКРИТТІВ НА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ В УМОВАХ ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

*В. Ф. Лабунець, О. А. Городиський*

Національний авіаційний університет

int2080@ukr.net

*У статті проаналізовано сучасний стан застосування електроіскрових покриттів на алюмінієвих сплавах в умовах тертя ковзання. Виконано випробування зносостійкості електроіскрових покриттів на алюмінієвому сплаві АЛ9 в умовах тертя ковзання. Показано, що інтенсивність зношування електроіскрових покриттів на алюмінієвому сплаві АЛ9 залежить більшою мірою від швидкості ковзання.*

*The analysis of electro-spark coverages on aluminium alloys use under conditions of friction sliding is presented in this article. Tests of wear resistance of electro-spark coverages on the aluminium alloy AL9 in the conditions of friction sliding have been executed. It is denoted that intensity of wear of electro-spark coverages on the aluminium alloy AL9 the most depends on speed of sliding.*

### **Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами**

Однією з актуальних задач сучасного машинобудування є збільшення зносостійкості перспективних конструкційних матеріалів.

До таких матеріалів належать сплави на основі титана та алюмінію, завдяки їх високій питомій міцності, жорсткості, хорошим демпферним характеристикам та корозійній стійкості. Основною перевагою алюмінієвих сплавів як конструкційних є висока питома міцність.

Алюмінієві сплави є найважливішими авіаційними матеріалами і наразі становлять до 80 % маси конструкції повітряних суден (ПС).

Завдяки високим питомим параметрам, технологічності і широкій доступності алюмінію і його сплавів знаходять застосування не тільки в авіабудуванні, але й у всіх галузях промисловості.

Із алюмінієвих сплавів виготовляють елементи силового набору літаків, обшивки крила і фюзеляжу, корпусні деталі компресора деяких типів авіаційних ГТД, корпуси паливних та мастильних насосів, поршні двигунів внутрішнього згоряння та ін. Проведений аналіз дефектів деталей авіаційної техніки показав, що причиною втрати працездатності деталей із алюмінієвих сплавів поряд із руйнуванням унаслідок втоми є корозія і зношування. Традиційним і ефективним захисним покриттям для алюмінієвих сплавів є електро-хімічне анодування.

Але захисна оксидна плівка, що утворюється при електрохімічному анодуванні, є ефективною лише для захисту від корозії.

У вузлах тертя вона швидко руйнується і ненадійно захищає від зношування. Тому використання електроіскрового легування алюмінієвих сплавів значною мірою вирішує цю проблему.

### **Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем**

Аналіз літературних джерел з технології нанесення електроіскрових покриттів (ЕІП), а також результати особистих досліджень дають можливість розробити конкретний методологічний підхід до вибору матеріалів покриттів, оптимізації технологічних режимів їх отримання та параметрів кінцевої обробки під час створення зносостійких покриттів для підвищення триботехнічних характеристик вузлів тертя ковзання.

Сутність цього підходу полягає в тому, що замість дорогих антифрикційних матеріалів (бронз, латуней) слід використовувати більш дешеві сплави на основі алюмінію з композиційними дискретними покриттями [1].

Підвищення триботехнічних характеристик вузлів тертя ковзання реалізується через науково обґрунтований вибір матеріалу електрода з урахуванням експлуатаційних, міцнісних і екологічних вимог до покриттів, а також режимів нанесення і завершальної обробки композиційних покриттів з дискретною структурою. Комплексний підхід до вибору конструктивних параметрів композиційних покриттів і режимів їх нанесення, використання експериментально-статистичних методів і критеріальних залежностей, дає змогу керувати технологією нанесення з кількома параметрами для отримання покриттів із заданими фізико-механічними і трибологічними властивостями.

### **Матеріали і методи дослідження**

Мета роботи — дослідження зносостійкості електроіскрових покриттів на алюмінієвих сплавах в умовах тертя ковзання.

На основі цього методологічного підходу розроблено методику нанесення композиційних покриттів електроіскровим легуванням на деталі вузлів тертя ковзання із алюмінієвих сплавів.

Особливість цієї технології полягає в тому, що вона дає змогу оператору, використовуючи науково розроблені рекомендації, керувати технологічними процесами, активно змінювати технологічні і конструктивні фактори на всіх етапах процесу зміцнення алюмінієвих сплавів для створення композиційних дискретних покриттів із заданими властивостями.

Випробування на тертя та зношування композиційних покриттів на алюмінієвих сплавах в умовах тертя ковзання без мастильного матеріалу проводили на машині тертя ковзання, що описана в праці [2].

Установка спроектована таким чином, що дає змогу випробувати дві пари тертя одночасно. Така схема дозволяє, фактично, проводити два експерименти в різних умовах — геометричні розміри та фізичні властивості зразків.

Схему установки показано на рис. 1.

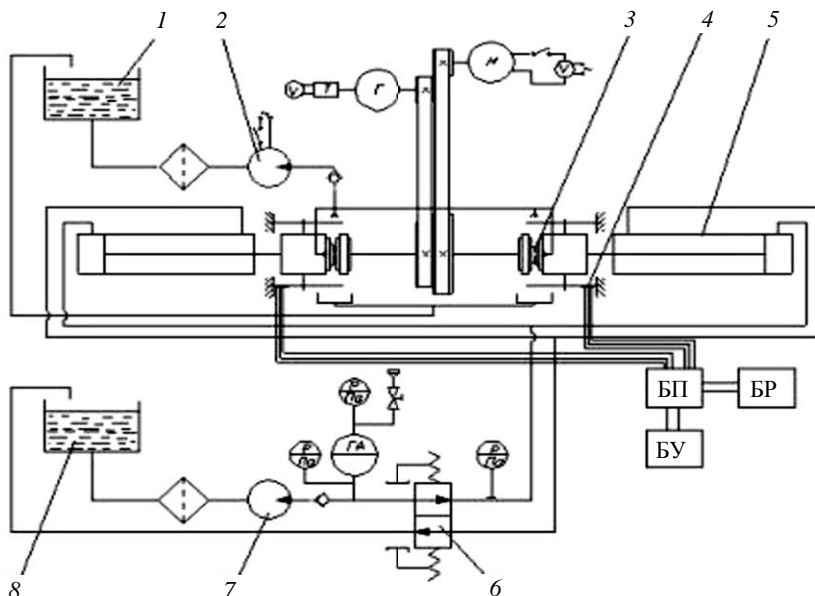


Рис. 1. Схема установки для дослідження триботехнічних характеристик матеріалів в умовах тертя ковзання

Машина тертя дає змогу встановлювати і контролювати навантаження до 300 кг, яке прикладається до зразків. Навантаження зразків виконується за допомогою двох гідролінійних циліндрів (балок) 4, а контроль процесу навантаження виконується за допомогою ручного гідролінійного насоса 7 та манометра. Незмінність навантаження забезпечується за рахунок гідролінійного акумулятора 6. Частота обертання зразків, що випробовувалися, від 100 до 1000 об/хв. Досліджувалися умови, коли зразки омивалися мастильним матеріалом або знаходилися у ванні з мастилом. Під час омивання мастило з баку 1 за допомогою підкачувального насоса 2 потрапляє в зону тертя 3. З ємності, де знаходяться зразки, мастило самовільно стікає в бак 8.

Машина тертя дає змогу:

- досліджувати зношування, мастильну дію та ін.;
- вимірювати температуру тіла поблизу зони тертя;
- вимірювати температуру масла, яке потрапляє в зону тертя або знаходиться поблизу неї.

У процесі виготовлення установки використано два двигуни. Один з таких двигунів слу-

жить як привід для обертання 5, а інший як генератор для контролю частоти обертання (проти-лежний). Керування потужністю двигуна виконувалося за допомогою автотрансформатора 6. Контроль за швидкістю обертання виконувався за допомогою потенціометра.

Для вимірювання моменту тертя було використано метод тензометрування. З цією метою балки 4 з тензодатчиками жорстко кріпилися на корпусі установки. Зусилля від моменту тертя передавалися на балку за допомогою стакана з важелями, на якому встановлювався зразок. Для запису на осцилограму зміну моменту тертя, було використано систему, яка складається з блоку перетворення сигналу, блоку підсилення та шлейфового осцилографа. Як тензодатчики використовувалися дрові тензорезистори загального призначення з одноелементною петлевою решіткою на плівковій основі ПКП-20-200 з номінальним опором 200 Ом і робочим струмом 30 мА. Коефіцієнт тензочутливості становить  $2,0 \pm 0,2$ , границя вимірювання відносних деформацій  $3 \cdot 10^{-3}$ , поперечна чутливість — 2 % від граничної.

Вимірювання температур виконувалося хромель-копелевими термомпарами, як показчик було

використано електронні потенціометри. Визначення зношування зразків і контрзразків виконувалося

за допомогою аналітичних ваг. Досліди проводилися на зразках, які зображено на рис. 2.

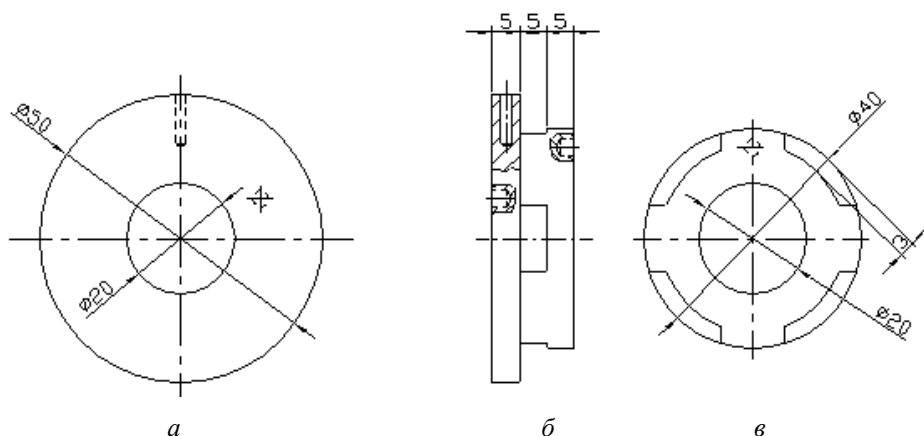


Рис. 2. Зразки для проведення дослідів:  
а — зразок; б — розташування зразків у процесі дослідження; в — контрзразок

При торцевому терті коефіцієнт перекриття становить 1, а контртілом слугувала термооброблена сталь ШХ15.

Покриття на алюмінієвих сплавах АЛ9 нанесли методом електро-іскрового легування [3; 4].

Як легуючі електроди використовували TiB<sub>2</sub> (ТБСАН) та AlN-ZrB<sub>2</sub> (ЦБСАН) з додаванням 5—10 % масової частки дисиліциду відповідного металу Ti(Zr)Si<sub>2</sub>, а також на основі систем LaB<sub>6</sub>-ZrB<sub>2</sub> (ЦЛАБ-1) та ZrB<sub>2</sub>-LaB<sub>6</sub> (ЦЛАБ-2) [5—7].

Електроди (див. таблицю) отримували методом гарячого пресування під тиском 35 МПа при 1800 °С у вигляді шматків розміром 3×4×35 мм. Пористість зразків становить близько 3 %.

**Фазовий склад електродних матеріалів, кут змочування  $Q$  системи «електродний матеріал — Al сплав», коефіцієнт масоперенесення  $K$  і товщина шару покриття при ЕІЛ**

Електрод	Фазовий склад	$Q$ , град.	$K$ , %	Товщина шару, мкм
ЦБСАН	AlN, ZrB <sub>6</sub> , ZrSi <sub>2</sub> твердий розчин ZrSi та ZrB <sub>2</sub>	55	60	20—30
ТБСАН	AlN, TiB <sub>2</sub> твердий розчин TiSi <sub>2</sub> у TiB <sub>2</sub>	50	20	10—15
ЦЛАБ-2	ZrB <sub>2</sub> , ZrSi <sub>2</sub> , LaB <sub>6</sub> твердий розчин	35	< 0	—
ЦЛАБ-1	ZrSi <sub>2</sub> у TiB <sub>2</sub> LaB <sub>6</sub> , ZrB <sub>2</sub> , Ni	—	30	—

	Cr, Al		
--	--------	--	--

**Результати досліджень і їх обговорення**

Результати випробувань покриттів на зносостійкість показано на рис. 3.

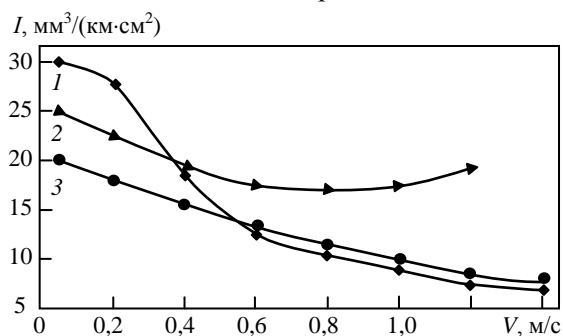


Рис. 3. Залежність інтенсивності зносу покриттів від швидкості ковзання:  
1 — ЦБСАН; 2 — ТБСАН; 3 — ЦЛАБ-1

Як видно з рис. 3 швидкість ковзання істотно впливає на зносостійкість покриттів, а також електродних матеріалів за цих умов випробувань. Зі збільшенням швидкості ковзання інтенсивність зношування зменшується. Мінімальний знос спостерігається в разі швидкості ковзання 1,5 м/с, а максимальний — при 0,05 м/с. Зношення покриття ЦБСАН при швидкості ковзання 0,05 м/с становить 30 мм<sup>3</sup>/кг·см<sup>2</sup> і є максимальним. Мінімальне зношування при даній швидкості ковзання становить 20 мм<sup>3</sup>/кг·см<sup>2</sup> для електродного матеріалу ЦЛАБ-1.

Характер залежності зношування покриттів від швидкості ковзання ідентичний залежності зносу компактних електродних матеріалів, що свідчить про однакові фізико-механічні властивості вторинних структур, виникаючих на їх робочих поверхнях під час тертя. Відомо, що вторинні структури є визначальними у розвитку процесів на поверхнях тертя та їх інтенсивності [8].

При невеликих швидкостях ковзання, коли температура в поверхневих шарах випробовуваних покриттів та електродних матеріалів досягає незначних величин (60—180 °С), процеси окиснення інтенсивного розвитку не отримують, а відповідно, вторинні структури не встигають сформуватися і розділити контактуючі поверхні, що сприяє утворенню вузлів схоплювання, збільшенню шорсткості поверхні, зростанню коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування. Зі збільшенням швидкості ковзання температура в поверхневих шарах покриттів і електродних матеріалів зростає, процеси окиснення інтенсифікуються, а утворені вторинні структури більш стійкі, ніж при невеликих швидкостях ковзання, що й забезпечує зниження інтенсивності зношування. На поверхні тертя в цих умовах випробувань відсутні вириви, вузли схоплювання, що свідчить про розвиток механо-хімічного зношування. Структура покриття не зазнає значних пластичних деформацій (рис. 4).

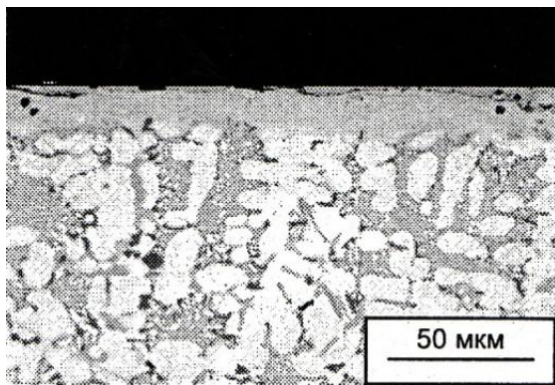


Рис. 4. Мікроструктура покриття ЦЛАБ-1 на сплаві АЛ9 в зоні доріжки тертя

### Висновки

Дослідження зносостійкості електроіскрових покриттів на алюмінієвих сплавах в умовах тертя ковзання показали, що інтенсивність зношування залежить найбільшою мірою від швидкості ковзання. При низьких швидкостях ковзання в зоні контактної взаємодії спостерігається низький рівень температури, що не сприяє окисненню і вторинні структури не встигають сформуватись.

У разі збільшення швидкості ковзання температура зростає, інтенсифікуються процеси окиснення і утворюються стійкі вторинні структури, що знижують інтенсивність зношування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Самсонов Г. В. Перспективы применения волокон из SiC для армирования алюминиевых сплавов / Г. В. Самсонов, А. Д. Панасюк, В. А. Беспятей // Порошковая металлургия — 1975. — № 5 — С. 93—96.
2. Мнацаканов Р. Г. Первісне порівняння ресурсів роботи зубчастої передачі на маслі та пластичному мастилi / Р. Г. Мнацаканов, В. О. Довбуш, О. Є. Якобчук // Матеріали 3-ї Міжнар. наук.-техн. конф. АВІА-2001. — К., 2001. — Т. 1. — С. 03.9—03.12 — С.03.12.
3. Игнатенко Э. П. Формирование поверхностного слоя при ЭИЛ легкоплавкими металлами / Э. П. Игнатенко, А. Д. Верхотуров, М. З. Маркман // Трение и износ, 1979. — № 3. — С. 26—29.
4. Юречко Д. В. Физико-химическая модель формирования износостойких покрытий на алюминиевых сплавах при электроискровом масопереносе композиционной керамики/ Д. В. Юречко, И. А. Подчерняева, А. Д. Панасюк, О. Н. Григорьев // Порошковая металлургия. — 2000. — № 1/2. — С. 51—58.
5. Подчерняева И. А. Износостойкие слоистые электроискровые покрытия на основе  $ZrB_2$  / И. А. Подчерняева, О. Н. Григорьев, В. Н. Субботин // Порошковая металлургия. — 2004. — № 7/8. — С. 77—81.
6. Подчерняева И. А. Электродные материалы для электроискрового легирования / И. А. Подчерняева. — М. : Наука, 1988. — 223 с.
7. Савуляк В. І. Дослідження зносостійкості деталей з алюмінієвих сплавів з композиційними покриттями системи ТБСАН та ЦБСАН / В. І. Савуляк, А. В. Губанів // Проблеми трибології. — 2008. — № 1. — С. 6—10.
8. Кудрин А. П. Износостойкость покрытий в условиях гидроабразивного изнашивания / А. П. Кудрин, В. Ф. Лабунец, О. А. Вишнеvский, Али Ризк // Промислова гiдравліка і пневматика. — 2004. — № 4. — С. 67 — 72.

Стаття надійшла до редакції 11.01.09.