

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.891

О.В. Диха, д.т.н.
Б.С. Волинський, к.т.н.
М.О. Диха

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОКРИТТІВ НА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ

Хмельницький національний університет, e-mail: tribosenator@gmail.com

Проаналізовані технологічні особливості нанесення анодно-іскрових покриттів на алюмінієвих сплавах та проведені порівняльні дослідження їх зносостійкості з метою оцінки працездатності.

Ключові слова: зносостійкі покриття, алюмінієві сплави, технологічні режими, випробування на знос.

Вступ

Тривалий час вважалось, що покриття сформоване у режимі іскріння володіють більш низькими захисними властивостями, ніж традиційне анодне покриття. Через те анодування, як правило, припиняли при напрузі більш низькій ніж напруга пробою. Порівняно недавно встановлено, що тривалий електроліз в умовах іскріння приводить до утворення досить товстих анодних покриттів, що перевищують за своїми властивостям плівки, отримані шляхом безіскрового оксидування. Аналіз анодно-іскрових покриттів показує, що в них поряд з оксидами металу підложки у великій кількості знаходяться атоми і групи атомів, які входять у склад електроліту. При цьому у товщі аморфного оксиду є ділянки розплаву, що застиг. Останнє засвідчує про сильний тепловий вплив електричного пробою на матеріал сформованого оксиду. Є всі підстави допускати, що ефективна анодно-іскрова формовка відбувається лише у тому випадку, якщо пробой є тепловим.

Аналіз досліджень і публікацій

У результаті багатьох досліджень [1-6], на даний момент, встановлено, що анодно-окисні плівки складаються з двох шарів: бар'єрного шару, який має щільну будову і безпосередньо прилягає до окисленого металу, і пористого шару.

Найбільш вагомий вклад у дослідженні структури анодно-окисних покриттів привнесло застосування електронної мікроскопії. Результати цих випробувань виконані Келлером, Кантером, Робінсоном та іншими дослідниками дозволили на основі фізико-геометричних зображень запропонувати так звану модель пористої анодної окисної плівки [4-5].

Згідно цієї моделі в перші ж секунди анодування на алюмінію утворюється безпористий бар'єрний шар, початок формування якого зв'язаний з відповідними активними центрами окислення на поверхні металу. З цих зародків виростають напівсферичні лінзоподібні мікроелементи. Спочатку ізольовані, потім зростаються і заповнюють поверхню металу з утворенням суцільного бар'єрного шару. Під дією локального впливу іонів електроліту в бар'єрному шарі починають зароджуватися пори, кількість яких пов'язана з величиною напруження формуючого оксиду. У результаті утворюється окисний елемент, по формі схожий на сферичний сегмент, центр якого лежить в області пористого шару. Ріст анодно-іскрового покриття відбувається двома шляхами, які протікають паралельно. Перший з них – формування анодного покриття по механізму росту окисних плівок в системі метал-оксид-електроліт (МОЕ), а другий – утворення на поверхні електроду хімічних з'єднань за участю компонентів електроліту. В процесі формовки анодно-іскрових покриттів [4-7]. поряд з утворенням плівки можливе протікання побічних хімічних та електрохімічних реакцій, які ведуть до непродуктивних витрат електроенергії і накопиченню у ванні речовин, впливаючи на якість осаду. Основними побічними процесами є утворення кисню і водню за рахунок електролізу в зоні іскрових розрядів.

Постановка завдання

На основі аналізу літературних джерел встановлено, що в теперешній час технологія анодно-іскрових покриттів в загальному достатньо добре пропрацьована. Однак відсутність

науково-обґрунтованих рекомендацій по виборі режимів технологічних процесів та характеристик властивостей в різних умовах експлуатації не дозволяють широко впроваджувати дану технологію.

Задачею даної роботи був аналіз процесів нанесення анодно-іскрових покриттів, вдосконалення технології та дослідження зносостійкості зразків, оброблених за вказаною і традиційною анодною технологією.

Вибір технологічних режимів формування анодно-іскрових покриттів

Розробка технології нанесення захисних покриттів на вентиляльні метали в умовах іскрового розряду включає в себе вибір електроліту і режиму роботи ванни: напруга, густина струму, гідродинамічні умови і т.д.

В теперішній час відомі різні види програмованого змінення напруги на ванні, імпульсні та змінно струмові напруги підбирають експериментально, без потрібного теоретичного обґрунтування. Між тим саме електричний режим визначає характер та інтенсивність розрядів і зв'язно ж температурні умови на поверхні анода. При відповідному виборі електроліту і електрохімічних параметрів анодно-іскрового осаду можна отримати покриття, яке володіють високою твердістю, зносостійкістю і міцним зчепленням з основою. Відповідним підбором електроліту і умов електролізу можна формувати покриття, яке дорівнюють за твердістю і зносостійкістю корунду і карбиду вольфрама. При цьому знос верхніх шарів відбувається не за рахунок стирання, а рахунок сколювання нерівностей покриття.

Для формування покриття на алюмінієвих сплавах АД31 і В95 приймаємо діапазон сили струму від 1800 А/м^2 до 2500 А/м^2 і відношенням катодного струму до анодного 1,15. Формовка проводиться при напруженнях від 120 В до 600 В в залежності від стану і концентрації електроліту.

Практична реалізація анодно-іскрового процесу завжди вимагає ретельного узгодження пар метал-електроліт. Одним із самих простих і відомих електролітів став розбавлений (2...8 г/л) розчин КОН, який дає можливість отримати якісне анодне покриття на алюмінію. З цією метою можуть використовуватися розчини деяких кислот. Перше системне дослідження впливу електроліту на можливість реалізації анодно-іскрового розряду на алюмінію проведено в роботі [7], де автори вивчили властивості розчинів 33-х різних речовин. Були розділені досліджувані електроліти на 6 груп. До першої відносяться розчини солей, в яких відбувається достатньо швидко розчинення алюмінію (NaCl , NaClO_3 , NaOH , HCl , NaNO_3 і Na). У другу групу об'єднуються електроліти, що відповідають досягненню без особливих зусиль пасивного стану металу. До неї відносяться H_3BO_3 , лимонна та вугільна кислоти, а також їх солі. Менш ефективним пасивним властивостям відповідає молочна, адипінова і щавелева кислоти (третья група). Слабким розчином металу при стаціонарному потенціалі характеризуються речовини четвертої групи: H_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_8$, Na_2SO_4 . В щавелевій кислоті та її натрієвій солі, ацетаті натрію, фосфорній кислоті (п'ята група) діапазон напруг, при яких відбувається іскровий розряд вузький. В шосту групу включені розчини KF , NaF , двоаміщеного фосфату і сульфату натрію.

Формування оксидних плівок з водних електролітів у режимі іскріння дозволяє отримати покриття зі значно кращими властивостями, ніж при формуванні в режимі нормального анодування. Аналіз хімічного складу показує, що в складі анодно-іскрових покриттів, порід з оксидами основного металу положки, у великих кількостях утримуються атоми, які входять у склад електроліту. Наявні у складі електроліту інші частинки оксидів (заліза, хрому) також входять у структуру покриття, формуючи композиційну структуру.

Дослідження зносостійкості покриттів на алюмінієвих сплавах

Для проведення досліджень використовували зразки розмірами $5 \times 5 \times 20$ мм з матеріалів В 95 і АД 31. Зразки повинні мати якісну поверхню. Завалювання країв на зразках не допускаються.

Після механічної обробки зразки шліфуються на шліфшкурках з зернистістю: 400 мкм, 200 мкм, 80 мкм. Потім наносились анодно-іскрові покриття на експериментальній установці. Після нанесення покриття згідно розробленому технологічному процесу зразки промивались і просушувались фільтрованим папером. Зразки із заводським покриттям додатково на робочих поверхнях притирались до контргіла алмазною пастою АП-3. Площа контакту складає $0,25 \text{ см}^2$.

Випробування на зносостійкість проводилися на спеціальній установці. Конструктивно установка виконана двухпозиційною, що дозволяє одночасно випробувати два зразки з різними умовами навантаження при постійній швидкості ковзання. Конструкція установки реалізує схему тертя вал-вкладиш.

Схема випробувальної установки представлена на рис. 1. Обертання контртіло 7 отримує від електродвигуна постійного струму з регульованою швидкістю обертання. Швидкість обертання контролюється за допомогою електронного вимірювача швидкості ППТ-1 (3). Досліджуваний зразок 8 закріплюється в держаку 9, який перед початком роботи врівноважується по відношенню до тензобалки 10. Держак зразка 9 шарнірно закріплюється на балці. Задане навантаження P створюється набором вантажів 12.

Перед проведенням експериментів система установки тарується. Живлення тензодатчиків відбувається від тензопідсилювача УТ-4. Запис сил тертя проводиться потенціометром типу КСП-4.

Контртіло виготовлене з загартованої сталі 45 (HRC 55) і має форму диску діаметром 95 мм і товщиною 10 мм. Шорсткість поверхні $Ra=0,32$ мкм

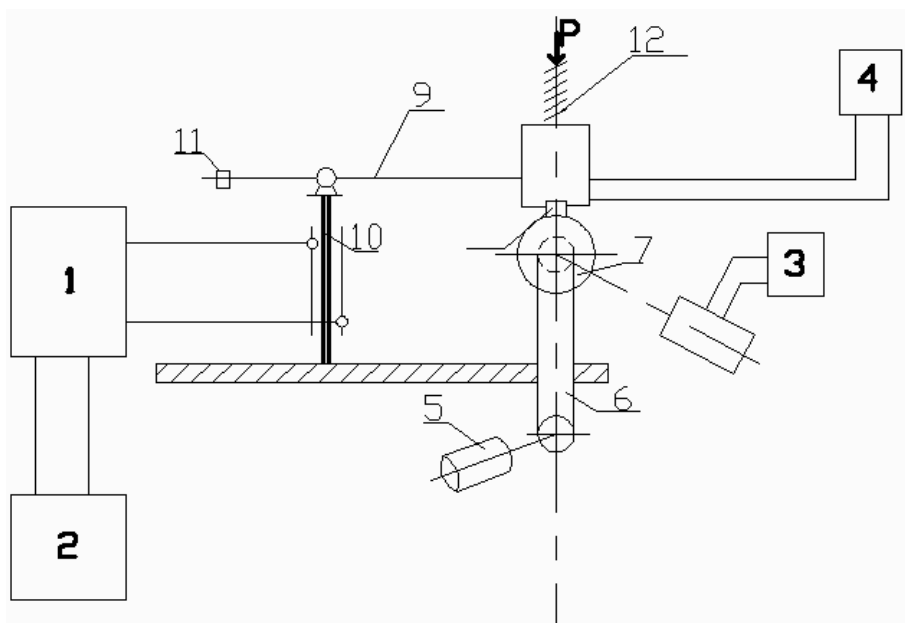


Рис. 1. Схема випробувальної установки.

- 1 – тензопідсилювач УТЧ-1; 2 – потенціометр КСП 4; 3 – датчик-вимірювач швидкості ковзання; 4 – термопарний датчик температури потенціометр ЕПД-12; 5 – електродвигун; 6 – клинопасова передача; 7 – робочий диск (контртіло); 8 – експериментальний зразок; 9 – утримувач зразка; 10 – тензобалка; 11 – вантаж - врівноважувач; 12 – вантажі для створення потрібного тиску P .

При дослідженні покриттів в умовах сухого тертя працездатність анодно-іскрових покриттів у парі з загартованою сталлю 45 є невисокою з переважно абразивним видом зношування. Знижена стійкість покриття викликана крихким руйнуванням (сколювання окремих мікрооб'ємів). Коефіцієнт тертя в процесі роботи нестабільний і вимірюється в широких межах $f = 0,3 \dots 0,8$.

Дослідження анодно-іскрових покриттів в режимі граничного змащування досліджувалось у середовищі масла И-20, яким були насичені зразки. Дослідження проводились до повного зношування покриття, сформованого при різній тривалості формовки. Дані впливу тривалості формовки на зносостійкість покриттів приведені в таблиці 1. Інтенсивність зношування розраховується за формулою:

$$U_w = \frac{\Delta G}{S},$$

де ΔG – ваговий знос, г; S – шлях тертя, мм.

Таблиця 1

Результати досліджень анодно-іскрових покриттів

№ п/п	Час обробки, $\tau_{обр}, \text{хв.}$	Вага зразка після обробки, $G_1, \text{г}$	Вага зразка після дослідження, $G_2, \text{г}$	Ваговий знос, $\Delta G \cdot 10^{-4}, \text{г}$	Шлях тертя $S \cdot 10^3, \text{м}$	Інтенсивність зношування, $I_w \cdot 10^{-9}, \text{г/м}$	Коефіцієнт тертя f
1	45	1,05795	1,057890	0,60	16,4	3,658	0,13
2	60	1,07660	1,076408	1,92	65,6	2,927	0,12
3	90	1,17212	1,172018	1,025	24,6	4,170	0,14

На рис.2 показана залежність інтенсивності зношування I_w від тривалості обробки (формовки) $\tau_{обр}$. Як видно оптимальною тривалістю формовки слід вважати час до 60 хв. Коефіцієнт тертя при цьому практично не залежить від тривалості обробки і вимірюється в межах 0,12-0,14.

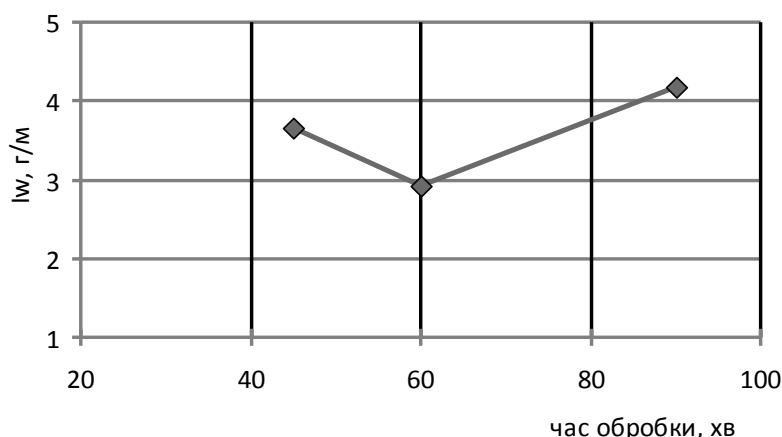


Рис. 2. Залежність інтенсивності зношування сплаву В-95 від часу формовки.

Результати порівняльних досліджень зносостійкості анодно-іскрових покриттів і покриттів, сформованих за традиційною технологією окисного анодування, приведені в таблиці 2 і графічно на рис. 3. За критерій зношування приймався ваговий знос зразків по результатам вимірювань ваги до і після зношування.

Таблиця 2

Результати випробувань на зношування

№ п/п	Показники лічильника, N	Шлях тертя, $S \cdot 10^3, \text{м}$	Вагове зношування, $\Delta G \cdot 10^{-4}, \text{г}$	Сила тертя, $F_{тр} \cdot 10^{-2}, \text{Н}$	Коефіцієнт тертя f
АП P=0,4 МПа					
1	50	16,4	0,90	40	0,12
2	100	32,8	1,52	44	0,13
3	150	49,2	1,75	43	0,14
АП P=0,4 МПа					
1	50	16,4	0,5	7	0,07
2	100	32,8	0,8	9	0,09
3	150	49,2	1,0	8	0,08
АП P=0,8 МПа					
1	50	16,4	0,75	20	0,1
2	100	32,8	1,35	24	0,12
3	150	49,2	1,50	26	0,13

При збільшенні шляху тертя коефіцієнт тертя збільшується незначно до відповідного значення, а потім стабілізується. Зі збільшенням навантаження сила тертя і коефіцієнт тертя зростають.

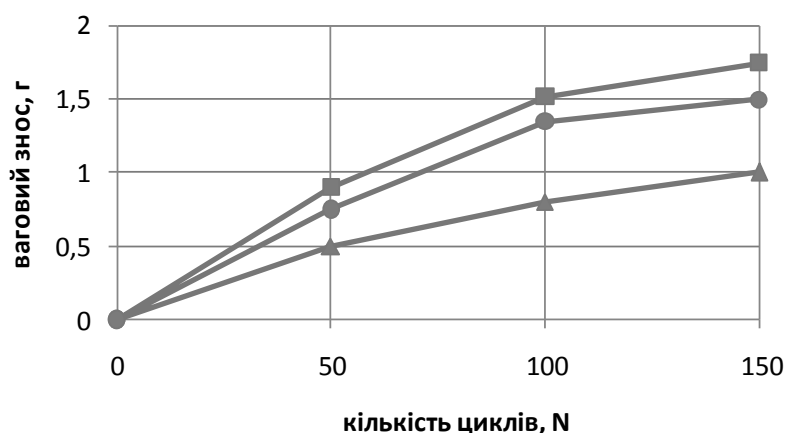


Рис. 3. Залежність зносу покриттів від тривалості випробувань:
▲ – АП P=0,4 МПа; ● – АП P=0,8 МПа; ■ – АП P= 0,4 МПа.

Аналіз отриманих результатів показує, що анодно-іскрове покриття за своїми властивостями перевершують покриття, отримані в умовах окисного анодування сформовані в оптимальних режимах, але в однаковому електроліті з однією і тією ж концентрацією.

Зносостійкість анодно-іскрових покриттів порівняно з гальванічними анодними покриттями при однаковому навантаженні виявилась майже в 2 рази вища. Коефіцієнт тертя покриттів змінювався в межах 0,1...0,14. Оптимальною тривалістю формування покриття прийнятий час 60 хвилин. Також встановлено, що на зносостійкість анодно-іскрових покриттів залежить не тільки від тривалості обробки, але й від інших параметрів процесу.

Висновки

Встановлено, що тривалий електроліз в умовах іскріння приводить до утворення анодних покриттів, що перевищують за своїми властивостями плівки, отримані шляхом безіскрового оксидування.

Порівняльні дослідження зносостійкості анодно-іскрових покриттів і гальванічних анодних покриттів за однакових умов випробувань показали, що знос анодно-іскрових покриттів майже вдвічі нижчий для всього навантажувального діапазону.

Список літературних джерел

1. Волинський Б.С. Аналіз технології отримання і дослідження працездатності анодно-іскрових зносостійких покриттів / Б.С. Волинський, М.О. Диха // Тези допов. наук. конф. "Трибологія та ресурсозбереження" (в рамках МНПК "Ольвійський форум -2010: Стратегія України в геополітичному просторі", т. 11. –Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. П. Могили, 2010. – С. 29.
2. Анодные окисные покрытия на легких сплавах / под. ред. И.Н. Францевича. – К.: Наукова думка, 1977.
3. Черненко В.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом / В.И. Черненко, Л.А. Снежко, Л.И. Папанова. – Л.: «Химия», 1991.
4. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник в 2-х томах / под. ред. А.М. Шлугера, Л.Д. Тока. – М.: Машиностроение, 1985.
5. Грилихес С.Я. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика / С.Я. Грилихес, К.И. Тиханов. – Л.: Химия, 1990.
6. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / под. ред. А.В. Белого. – М.: Машиностроение, 1991.
7. Аверьянов Е.Е. Справочник по анодированию / Е.Е. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1989.
8. Гальванотехника. Справочник / под. ред. А.М. Гинберга. – М.: Металлургия, 1987.