

## АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗМІН У СТРУКТУРІ СПЛАВУ АЛ25 ПІСЛЯ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ ПЕРЕХІДНИМИ МЕТАЛАМИ

Лабунець В. Ф., Городиський О. А.

Національний авіаційний університет

int2080@ukr.net

*У статті проаналізовано сучасний стан застосування методів нанесення покриттів на алюмінієві сплави. Визначено зміни в структурі локальних зон і мікротвердості після процесу легування сплаву АЛ25 перехідними металами. Показано, що легування перехідними металами дає змогу в більш, ніж у три рази підвищити твердість вихідного матеріалу.*

*In this article is given the analysis of the modern state of using of methods of plotting coverages on aluminium alloys. After the process of alloying of Al25 by transitional metals were determined changes in the structure of local zones and microhardness. It was shown that alloying by transitional metals helps to increase in more than 3 times the hardness of the outgoing material.*

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

Сучасний етап розвитку техніки характеризується посиленням експлуатаційних параметрів, інтенсифікацією виробничих процесів, різким збільшенням потужностей машин і агрегатів. Усе це потребує створення нових матеріалів та захисних покриттів із заданими властивостями і, в першу чергу, для вузлів тертя, тому що переважна більшість машин і механізмів виходять з ладу внаслідок втрати працездатності вузлів тертя. У зв'язку з тим, що алюмінієві сплави знаходять все більше застосування в конструкціях вузлів тертя, оскільки вони володіють високою питомою міцністю, але недостатньою зносостійкістю, то розробка методів нанесення триботехнічних покриттів на їх робочі поверхні, є актуальною.

### Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем

Алюмінієві сплави застосовуються для виготовлення поршнів двигунів внутрішнього згорання, корпусів насосів, підшипників ковзання, направляючих та інших відповідальних деталей машин і механізмів, що працюють в умовах контактної взаємодії [1; 2]. Ефективність їх роботи визначається трибологічними властивостями нанесених на їх робочі поверхні покриттів.

Наразі для поверхневого зміцнення алюмінієвих сплавів застосовують анодування, оксидування і хромування [3], полум'яне напилювання [4], хіміко-термічну обробку [5], електроіскрове легування [6], іонно-вакуумне напилювання [7], наплавлення [8], обробку променем лазера й ударних хвиль [9], алмазне вигладжування [10] та ін. Застосовуються комбіновані способи поверхневого зміцнення алюмінієвих сплавів, які дають позитивні результати. До них належать хіміко-термічна обробка гальванічних покриттів, попередньо нанесених на алюмінієві сплави [11].

Перераховані способи поверхневого зміцнення і нанесення захисних покриттів дають змогу істотно підвищити триботехнічні характеристики

алюмінієвих покриттів. Одним з них є процес анодування — створення на поверхні оксидної плівки електрохімічним способом товщиною 0,1...0,15 мм, що має значно менший коефіцієнт тертя в парі зі сталлю і чавуном, ніж алюміній [13].

Фірма *Ruston Hertsly* анодує канавки поршнів чотиритактного дизеля повітряного охолодження. Слід зазначити, що анодовані алюмінієві сплави зберігають працездатність до руйнування оксидної плівки, а при порушенні її суцільності знос канавок різко зростає.

Поряд з анодуванням застосовують нікелювання, фосфатування, нікельфосфатування і хромування. Нанесення цих покриттів на деталі поршневої групи дає змогу підвищити їх зносостійкість у кілька разів. Однак, поряд з високою поверхневою твердістю і низьким коефіцієнтом тертя, хорошою опірністю адгезійному і абразивному зношуванню, вони не досить стійкі в умовах значних контактних навантажень, знакозмінних циклічних навантажень і деформацій основи, особливо в умовах підвищених температур.

Більш перспективною технологією нанесення зносостійких покриттів на алюмінієві сплави є наплавлення зносостійких матеріалів. Різновидом цього методу є наплавлення зносостійких вставок у зразках підвищеного зносу.

При наплавленні аргонодуговим методом відбувається перегрівання деталей, їх викривлення і утворення захисного шару низької якості. Застосування плазмового та електронно-променевого наплавлення дає змогу знизити температуру нагрівання зміцнювальної деталі. Проте, за твердженням авторів [15], принцип подавання зносостійких порошків у зварювальну ванну не забезпечував достатньої стабільності властивостей зміцнювальної поверхні через нерівномірність розподілу порошків і високої їх дисперсності. Нині цей недолік усувається шляхом подавання замість порошку легованого дроту в зону розплаву.

Важливе місце серед основних способів підвищення зносостійкості деталей з алюмінієвих сплавів належить технологіям, заснованим на використанні концентрованих потоків енергії — електроіскрового легування, внаслідок його високої економічної та екологічної доцільності [6]. Традиційно як матеріал зносостійких покриттів на алюмінієві сплави використовували вольфрамові тверді сплави [16]. До нового покоління матеріалів для нанесення зносо- та корозіоностійких покриттів належить композиційна кераміка Zr–B–Si–Y і Al–Zr–Si–O [17], що відрізняється утворенням високотемпературних поліоксидних структур у складі як окалини, так і вторинних плівок у зоні трибоконтакту, що забезпечують високий рівень службових характеристик при температурах менше 1500 °C.

Дослідження електроіскрових і лазерно-електроіскрових покриттів на сплаві АЛ25 з використанням як електродів із композиційної кераміки показали високу зносостійкість покриттів [18].

### Матеріали і методи дослідження

Метою проведених досліджень було визначення змін у структурі локальних зон і мікротвердості після процесу легування сплаву АЛ25 перехідними металами (Ti, Zr, Nb, Ta, Ni, V, Mo, Cr, Cu), а також аналіз їх особливостей.

Металографічні дослідження проводилися на мікроскопі МИМ-8М при різноманітних збільшеннях, мікротвердість вимірювалася на мікротвердометрі ПМТ-3 за ГОСТ 9450-76 при навантаженні 50 г. Дослідження виконувалися на зразках-шліфах розміром 30×10×5, які вирізані зі сплаву АЛ25. Легування проводилося електродами вище наведених перехідних металів і міді на режимі:  $I$  — робоча сила струму (35...40 А);  $U$  — напруга (36 В),  $\gamma = 0,5$  мм,  $f$  — частота (50 Гц).

Виготовлення зразків (вирізання, шліфування і полірування) проводилося зі збереженням мінімального шару деформованого матеріалу. Шліфи для металографічного аналізу з алюмінієвих сплавів готувалися в два прийоми — попереднє і остаточне шліфування, також полірування для отримання гладкої, дзеркальної поверхні з мінімальною нерівністю  $R_a = 0,032$ .

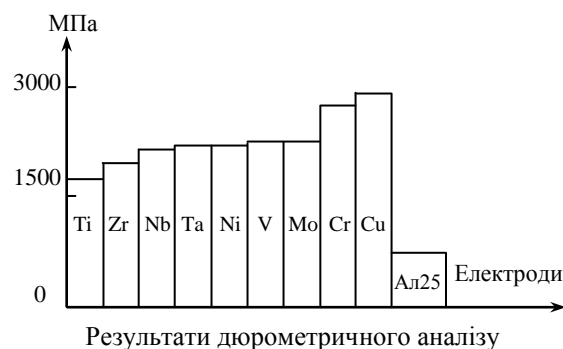
### Результати досліджень і їх обговорення

Зміни, які відбувалися в першій зоні легування, в основному зумовлені впливом на поверхню високих температур, механічних та імпульсних впливів. У таких умовах леговані елементи мало впливають на якісну зміну цієї зони поверхні.

У точці контакту електричного розряду з поверхнею спостерігається утворення хімічних з'єднань, які розташовані по краях зерен і які утворюють своєрідний каркас.

Друга зона — результат дії дифузійно впроваджених легованих елементів за умови різкого охолодження зони легування за рахунок тепловідведення в основну поверхню. У цій зоні спостерігається найбільша концентрація легованого елемента, в результаті чого можуть утворюватися пересичені тверді розчини і структурні сполуки типу: TiAl, NiAl, ZrAl<sub>3</sub>, Nb<sub>3</sub>Al і т.д., які мають високі температури плавлення і мікротвердості  $H_m$ . При цьому їх структура стає крупнішою і сітка хімічних включень роз'єднується. Під зоною легування спостерігається деяке зниження відсоткового вмісту легованих елементів і більш рівномірне заповнення ними об'єму металу, де на ряду з відносно суцільним каркасом тонких хімічних включень спостерігаються крупні включення твердих розчинів і хімічних з'єднань, які мають більш низькі температури плавлення мікротвердості.

На рисунку подано результати вимірювання мікротвердості і товщини зміцнених зон вихідного сплаву і поверхні після електроіскрового легування перехідними металами (температура 20 °C).



### Висновки

З наведених даних слідує, що після електроіскрового легування сплаву всіма електродами мікротвердість поверхні підвищується. Мікротвердість зон залежить від застосованого електрода; легування міддю дає змогу створити зміцнений шар товщиною до 0,6 мм з мікротвердістю поверхні 2700...3200 МПа, що більш, ніж у три рази підвищує твердість вихідного матеріалу. Підвищення температури не змінює співвідношення твердості між зміцненою зоною і матрицею.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Фридляндер *И. Н.* Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы / И. Н. Фридляндер. — М. : Металлургия, 1979. — 208 с.
2. Лабунец *В. Ф.* Авиационные конструкционные материалы с высокой удельной прочностью: учебн. пособие / В. Ф. Лабунец. — К. : КМУГА, 1993. — 116 с.
3. Сайфуллин *Р. С.* Композиционные покрытия и материалы / Р. С. Сайфуллин. — М. : Химия, 1977. — 242 с.
4. *Газотермические* покрытия из порошковых материалов : справочник / Ю. С. Борисов, Ю. А. Хар-

ламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская. — К. : Наук. думка, 1987. — 544 с.

5. *Химико-термическая* обработка металлов и сплавов : справочник : под. ред. Л. С. Ляховича. — М. : Металлургия, 1981. — 424 с.

6. *Износостойкость* алюминиевого сплава с дискретными электроискровыми покрытиями / Е. К. Соловых, Б. А. Ляшенко, Э. К. Посвяненко, А. Н. Безрукавый // Проблемы тертя та зношування. Наук. техн. збірник. — К. : НАУ, 2006. — № 46. — С. 160—168.

7. *Григорьев А. И.* Ионно-вакуумные износостойкие покрытия / А. И. Григорьев, О. А. Елизаров. — М. : НИИмаш, 1978. — 48 с.

8. *Хасуй А.* Наплавка и напыление / А. Хасуй, О. Маригаки : пер. с яп. В. Н. Попова. — М. : Машиностроение, 1985. — 240 с.

9. *Патент США №3405610*, 1973 г.

10. *Глобенко А. В.* Эффективность упрочнения поверхностного слоя алюминиевых сплавов технологиями, обеспечивающими повышение качества и долговечности деталей машин и инструментов. — Тула. 1980, 83 с.

11. *Дубинин Г.М.* Физико-химические свойства и сплавы Д-16Т после диффузионного цинкования.

Защитные покрытия на металлах / Г. М. Дубинин, А. П. Кушнеренко. — 1982. — № 16. — С. 39—43.

12. *Андреев С. Т.* Повышение износостойкости алюминиевых деталей путем глубокого анодирования / С. Т. Андреев. — М. : Механизация и электрификация с/х, 1962. — № 7. — С. 15—17.

13. *Ларин Т. В.* Повышение срока службы тепловозных алюминиевых поршней. — Вестник НИИ железнодорожного транспорта, 1960. — № 12. — С. 18—20.

14. *Підвищення* надійності шасі літальних апаратів за рахунок застосування дискретних структур на поверхні зношених деталей / А. П. Кудрін,

В. Е. Марчук, В. Ф. Лабунець, В. В. Жигинас // Проблеми тертя та зношування : наук. техн. зб. — К. : НАУ, 2006. — Вип. 46. — С. 149—159.

15. *Трибологические* свойства детонационного покрытия на основе  $\text{SiCo-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$  / И. А. Подчерняева, А. Д. Панасюк, В. В. Щепетов и др. // Проблемы трибологии. — 2003. — № 1. — С. 81—86.

16. *Абразивная* стойкость электроискровых и комбинированных лазерно-электроискровых покрытий на легких сплавах / А. И. Духота, В. Ф. Лабунец, В. Жигинас и др. // Проблемы тертя та зношування : наук. техн. зб. — К. : НАУ, 2007. — Вип. 48. — С. 185—195.

Стаття надійшла до редакції 18.01.10.