

УДК 620.197.6

М.В. Кравчук<sup>1</sup>, Т.А. Сутюшев<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківська обласна філія АКБ «Укрсоцбанк»<sup>2</sup>Академія внутрішніх військ МВС України, Харків

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ ТИПУ В95 ШЛЯХОМ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ

Наводяться результати аналізу отриманих експериментальних даних варіювання параметрів процесу мікродугового оксидування (МДО) алюмінієвого сплаву В95 з метою одержання якісного захисного покриття. З урахуванням результатів аналізу отриманих даних визначається актуальність подальших експериментальних досліджень вирішення конкретних проблем експлуатації та ремонту озброєння та військової техніки.

**Ключові слова:** мікродугове оксидування, зносостійкість.

### Вступ

Постановка проблеми. Як відомо, більшість звичайних конструкційних матеріалів і в тому числі сплавів, а також полімерних органічних матеріалів у тім або іншому ступені руйнуються під впливом агресивного середовища. Ця проблема частково вирішується із застосуванням металів, які здатні утворювати на поверхні захисну оксидну плівку.

У першу чергу це відноситься до сплавів на основі алюмінію. Крім того, сплави на основі алюмінію мають додатковий ряд достоїнств: мала питома вага, гарною пластичність, корозійна стійкість, хоча по характеристикам міцності вони поступаються сплавам на основі деяких інших металів.

Одним з підходів підвищення міцності алюмінієвих сплавів є створення захисних покриттів на їхніх поверхнях методом МДО. Оброблені таким методом сплави получують достатню конструкційну міцність основи з високою корозійною стійкістю, а також зносостійкістю оксидованого шару.

Науково-технічна проблема реалізації цього методу складається у відсутності суворих рекомендацій з вибору технологічного режиму створення захисних покриттів методом МДО.

Аналітичний метод вирішення цієї проблеми малоприматний по причині наявності великої кількості факторів, що визначають якість формованого покриття, які значно й принципово ускладнюють побудову функціонала як основи математичної мо-

делі процесу, що обговорюється. Тому авторами на сьогодні бачиться більше раціональним використання експериментального методу для рішення цієї проблеми.

**Аналіз літератури.** У теперішній час найменше накопичено відомостей стосовно сплаву на основі алюмінію В95, до якого все більший інтерес проявляє авіаційна промисловість (використання у вузлах тертя). Вважається, що цей сплав є найбільш міцним серед алюмінієвих сплавів ( $\sigma_b = 56 \text{ кг/мм}^2$ ). Але слід зазначити, що головною перешкодою обробки сплаву В95 методом МДО є наявність у його сполуці досить великої кількості цинку (Zn - до 5÷7%), і що механізм негативного впливу Zn на реалізацію процесу МДО до кінця не вивчений.

Огляд джерел науково-технічної інформації показав, що є результати досить різнобічних експериментальних досліджень ефективності процесу МДО стосовно широкого переліку сплавів на основі алюмінію, наприклад [1 – 5]. Досить повні представлення про механізм МДО й керування цим процесом наведені у відносно свіжій науковій статті [6]. І в цей же час наведений огляд не виявив матеріалів досліджень стосовно до сплаву В95 у формі поставленого науково-технічного завдання.

**Мета статті** – приведення результатів аналізу отриманих експериментальних даних про вплив режимів МДО сплаву В95 на якість створюваного покриття.

## Виклад основного матеріалу

Попередні проведені експериментальні дослідження припускали варіювання параметрів процесу МДО, а саме: формуючої напруги, температури нагрівання електроліту, тривалості процесу, концентрації розчину електроліту. Покладалося, що наведений перелік параметрів варіювання був достатнім для досягнення поставленої мети. Накопичений емпіричний досвід дозволив зробити висновки щодо раціональних меж варіювання згаданих параметрів. Для багатьох дослідників вони стали традиційними. Так, наприклад, вважається, що варіації для основних параметрів МДО повинні укладатися в наступні межі: для  $U_{\max}$  до 600В,  $J_{\max}$  до 40 А/дм<sup>2</sup>. Слід зазначити, що в ході досліджень межі варіювання згаданих вище параметрів визначалися також і технічними можливостями експериментальної установки.

Окремих питань на шляху досліджень є визначення принципової схеми експериментальної установки для проведення досліджень і визначення до неї ряду технічних вимог. Поставлене на дослідження завдання вирішувалося на базі експериментальної установки, у свій час розробленої фахівцями кафедри металознавства й термічної обробки металів НТУ "ХП", що працювала на змінному струмі промислової частоти в режимі анодно-катодного мікродугового анодування.

Експериментальна установка включала: витяжну шафу з технологічним устаткуванням, систему вентиляції, блок живлення. У середині шафи розташовувався технологічний бак, пристрій для підвищення оброблюваної деталі, комунікації для приводу й відводу води, витяжний зонд. Був також технологічний бак, виготовлений з нержавіючої сталі, з охолодженням проточною водою.

Вивчення якості покриттів одержуваних методом МДО передбачалося проводити з використанням методів рентгеноструктурного й металографічного аналізу, растрово-електронної мікроскопії. Одним з основних питань дослідження було вивчення захисних властивостей покриттів. Як в якості матеріалів досліджень використовувалися зразки сплаву В95 у вигляді шайб із діаметром і товщиною відповідно 20 і 10 мм, які, перед процесом МДО попередньо шліфувалися абразивним колом, абразивним папером та після закінчення обробки на полірувальному верстаті. Після чого вимірялася товщина зразків і проводилася обробка методом МДО.

Слід зазначити, що при окисуванні сплаву В95 часто спостерігається швидкий перехід мікродугових розрядів у дугові, що приводить до неоднорідності покриттів з достатньою кількістю дефектів і погіршенню в остаточному підсумку їхніх захисних властивостей. Тому одним з основних завдань дослідження було визначення експериментальним шля-

хом параметрів електролізу, що забезпечують одержання якісних покриттів.

Результати експериментальних досліджень наведені в табл. 1.

Проведені експериментальні дослідження дозволили виявити варіанти режимних параметрів процесу МДО, які забезпечують формування якісного зносостійкого покриття на сплаві В95. До таких можна віднести наступні варіанти режимів МДО:

### 1) Варіант II

$C = 1:6$  (1 г/л КОН на 6 г/л  $Na_2SiO_3$ );  
 $\rho = 20$  А/дм<sup>2</sup>;  $\tau = 3$  г;  $t = 20^\circ C$ ;

### 2) Варіант IX

$C = 2:12$  (2 г/л КОН на 12 г/л  $Na_2SiO_3$ );  
 $\rho = 20$  А/дм<sup>2</sup>;  $\tau = 3$  г;  $t = 20^\circ C$ ;

### 3) Варіант X

$C = 0,7:8$  (0,7 г/л КОН на 8 г/л  $Na_2SiO_3$ );  
 $\rho = 60$  А/дм<sup>2</sup>;  $\tau = 3$  г;  $t = 60^\circ C$ .

Зупинимося докладніше на варіантах II, IX. Тому, що в варіанті X одержання якісного покриття було пов'язане зі значними енергетичними витратами, у першу чергу, викликаними необхідністю підгріву електроліту до температури 60°C, а також з додатковими технологічними витратами для підтримки такої температури в ході процесу МДО. На рис. 1 представлені зображення поверхонь (шарів) отриманих у результаті МДО. Зображення отримані за допомогою растрового електронного мікроскопа.

Найбільш наглядно якість покриття проявляється після зняття технологічного шару. Зображення технологічного й основного шарів варіантів "а" і "б" на рис. 1 свідчать про якісно однорідну структуру отриманих шарів з гарними захисними властивостями. Протилежний результат спостерігається у варіантах "в" і "г".

Різниця результатів, незважаючи на однакову тривалість часу МДО і концентрацію електроліту обумовлена характером самого процесу одержання покриттів – одержання якісного покриття обумовлено було в ході процесу дійсно мікродуговими розрядами, неякісного – переважно дуговими.

У ході досліджень була відзначена особливість процесів МДО, що дають якісні покриття – при досягненні конкретної товщини покриття і його щільності, процес практично припиняється.

Крім вивчення поверхні шарів отриманих у результаті МДО також вивчалася структура отриманих покриттів і на поперечних шліфах (рис. 2).

Зображені зрізи демонструють одну з мікроструктурних особливостей отриманих оксидних покриттів – їх двошарову будову. Двошарова будова оксидного покриття добре виявляється як за допомогою растрового мікроскопа (рис. 2) так і за допомогою металографічного мікроаналізу (рис. 3).

Верхній шар, як правило, рихлий, легко видаляється шліфуванням. Чітка границя між шарами свідчить про якісну структуру основного шару. Дос-

лідження показали, що товщина отриманих покриттів крім часу процесу МДО визначається ще в значній мірі і складом електроліту. Що стосується динамічності процесу МДО, яка характеризується швидкістю наростання плівки, то вона у ході досліджень коливалась у межах 50 мкм/г – 80 мкм/г.

Твердість і зносостійкість головного шару залежить від фазового складу, що визначається методом рентгеноструктурного аналізу. Враховуючи той факт, що головною фазою МДО-покриття на сплаві

B95 є  $\gamma$ -  $Al_2O_3$ , потрібно очікувати, що твердість покриттів має бути приблизно 14000 МПа, що і підтверджено результатами вимірювань: електроліт (1:6),  $\tau = 3$  години HV = 14000 МПа; електроліт (2:12),  $\tau = 3$  години HV = 13180 МПа.

Відмітимо, що в будь-якому випадку формування покриттів при оптимізованих параметрах процесу МДО дозволяє значно підвищити твердість поверхні сплаву B95 – практично в 10 разів тим самим гарантувати високу зносостійкість.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Варіанти режимів МДО	Параметри режимів МДО				Товщина покриття – h, мкм		Якість отриманих покриттів
	Концентрація електроліту – С.	Щільність струму – $\rho$ , А/дм <sup>2</sup>	Час процесу МДО – t, год.	Температура електроліту – t, °С	h, заг.	h, осн.	
1	2	3	4	5	6	7	8
I	1:6	15	1	17	25	10	Неоднорідне із проглядуванням основи
			2		34	25	Неоднорідне
			0,5	26	25	15	Неоднорідне, легко стирається
			1		45	29	Неоднорідне, легко стирається по краях
			2		80	45	Неоднорідне, що стирається в центрі
			3		100	50	Неоднорідне, із плямистими утвореннями в центрі
II	1:6	20	0,5	20	30	7	Неоднорідне, легко зніме, з оголенням основи
			1		80	30	Однорідне в центрі, неоднорідне по краях
			2	20	180	80	Практично однорідне, зносостійке
			3		260	140	Однорідне, зносостійке
III	1:6	20	1	60	100	60	Неоднорідне в центрі
			2		200	115	Неоднорідне, із плямистими утвореннями в центрі
			3		270	150	Неоднорідне, з рівномірним розміщенням по поверхні
IV	1:6	20	1	76	120	75	Неоднорідне у вигляді світло-сірих плям
			2		190	90	Неоднорідне, з наявною значною плямистістю
V	2:6	15	0,5	20	25	10	Неоднорідне, видаляється легко
			1		45	25	Неоднорідне, видаляється легко
			2		80	55	Неоднорідне, з пляменістістю, що не видаляється
			3		100	70	Неоднорідне, плямисте
VI	1:12	20	1	20	89	32	Неоднорідне, з розміщенням неоднорідності по краях зразка
			2		126	96	Неоднорідне, у вигляді коричневих плям
			3		230	150	Практично суцільне, неоднорідне, котре не віддаляється
VII	1:12	10	1	20	30	15	Неоднорідне
			3		85	55	Неоднорідне в центрі
VIII	2:12	15	0,5	68	15	7	Видаляється легко
			1		40	20	Неоднорідне, видаляється легко
			2		83	43	Неоднорідне, з розміщенням плямистості за всім зразком
			3		103	72	Неоднорідне в центрі, однорідне по краях
IX	2:12	20	1	20	80	30	Неоднорідне в центрі, однорідне по краях
			2		130	50	Практично однорідне
			3	20	190	70	Однорідне, зносостійке
X	0,7:8	20	1	60	99	49	Неоднорідне по краях
			2		158	61	Однорідне по краях, неоднорідне в центрі
			3		180	95	однорідне

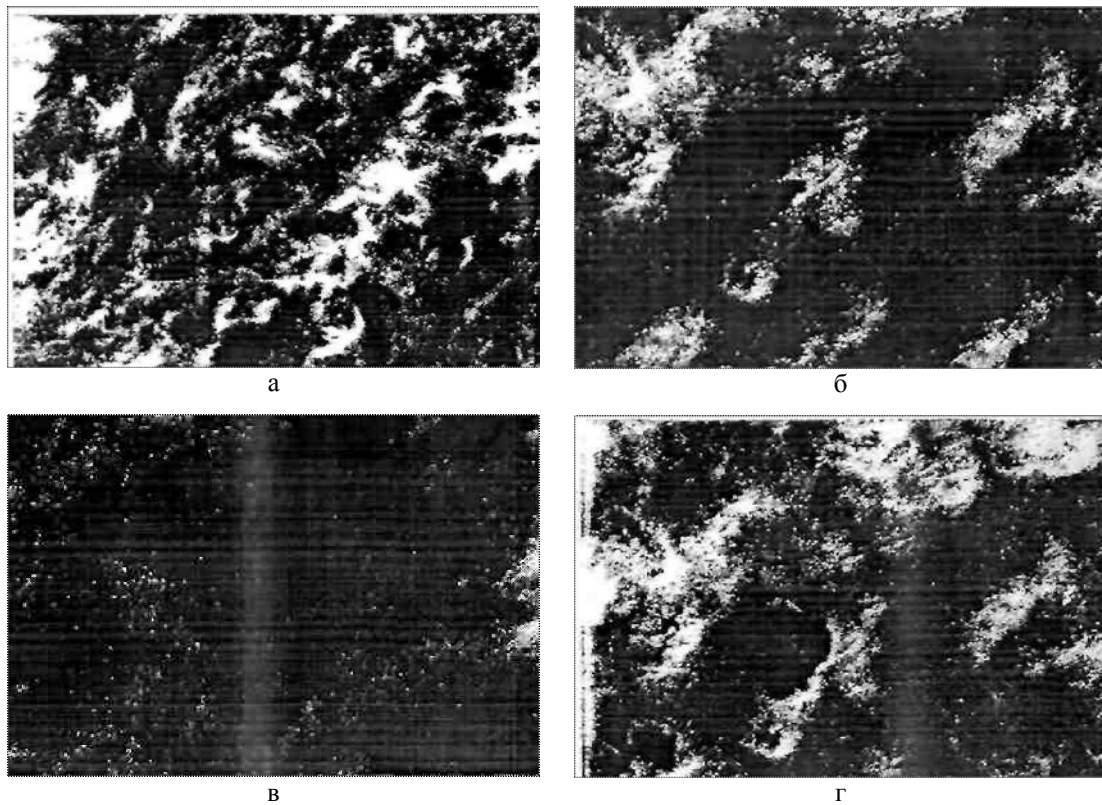


Рис. 1. Рельєф поверхонь зразків після МДО:  
 а – технологічний шар (електроліт 1:6,  $\tau = 3$  години); б – основний шар (електроліт 1:6,  $\tau = 3$  години);  
 в – основний шар (електроліт 2:6,  $\tau = 3$  години); г – основний шар (електроліт 1:12,  $\tau = 3$  години)

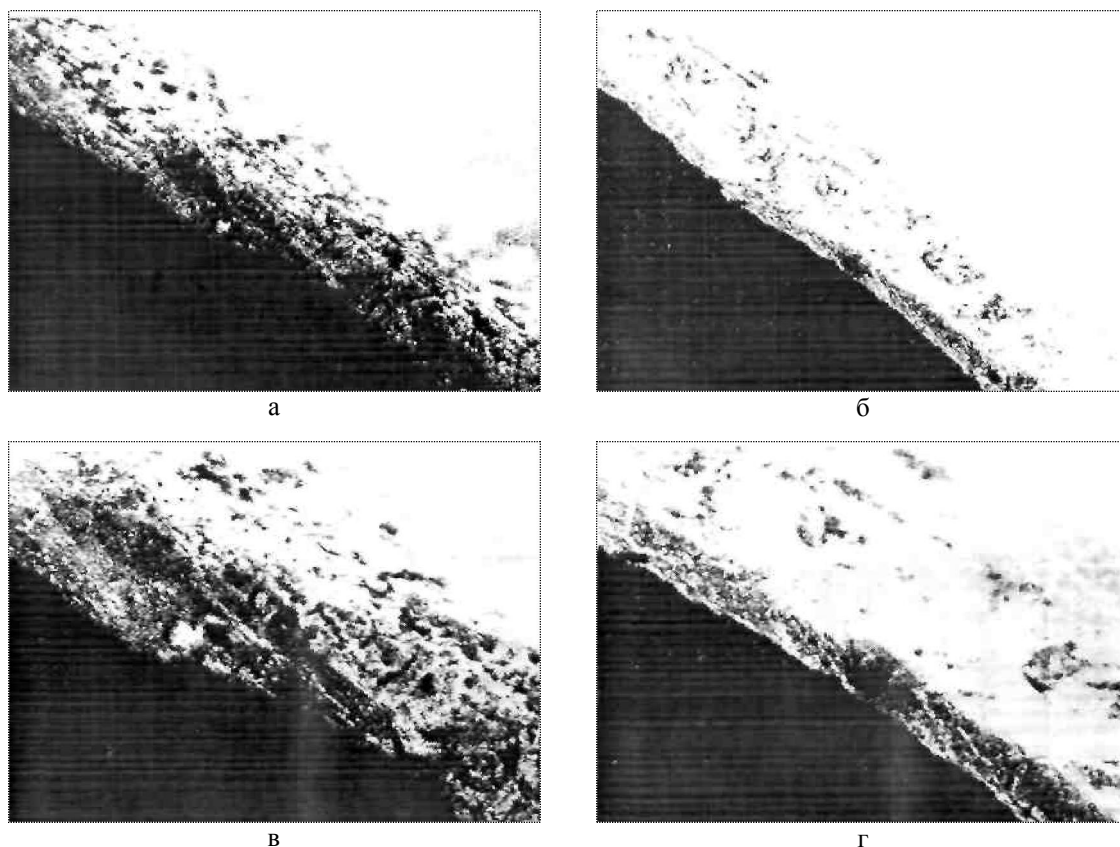


Рис. 2. Поперечні шліфи покриттів (шарів) отриманих у результаті МДО:  
 а – електроліт 1:6,  $\tau = 1$  година; б – електроліт 2:12,  $\tau = 1$  година;  
 в – електроліт 2:12,  $\tau = 3$  години; г – електроліт 2:12,  $\tau = 3$  години

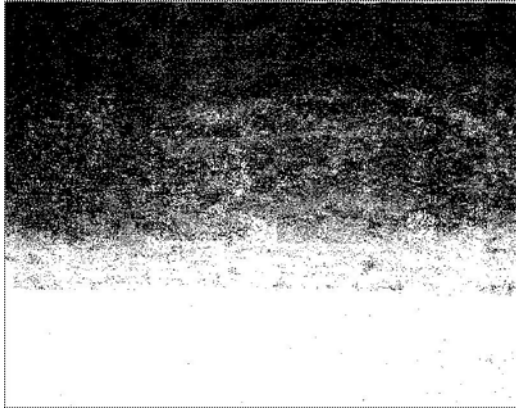


Рис. 3. Металографічне зображення покриття після МДО

### Висновки

Визначенні в ході експериментальних досліджень три варіанти сполучень режимних параметрів процесу МДО сплаву В95 дійсно можна враховувати як раціональні для отримання якісних покриттів. В той же час важко стверджувати, що виявленні сполучення є раціональними з точки зору як матеріальних витрат (в тому числі енерговитрат) так і витрат часу на процес МДО. Для відповіді на ці питання необхідне системне накопичення емпіричних даних у подальших дослідженнях.

Достатня в'язкість даного матеріалу при достатній твердості зовнішнього шару, отриманого в результаті МДО, на наш погляд здатна витримувати і ударні навантаження. Ці здатності виглядають особливо привабливими при розгляді даного матеріалу в якості основного, в елементах конструкції, наприклад бойових машин, що мають витримувати зазначені вище впливи. Слід зазначити, що на цю думку навели результати нещодавніх спільних навчань за участю силових відомств України, де використовувались

транспорті малогабаритні розвідувальні засоби типу «Багті» з використанням звичайних конструкційних матеріалів, що мали достатню вагу, яка негативно впливала на маневреність та прохідність цих засобів, а також на їх експлуатаційну надійність.

### Список літератури

1. Федоров В.А. Физико-механические характеристики упроченного поверхностного слоя на сплавах алюминия, получаемого при оксидировании / В.А. Федоров, М.Д. Великосельская // Физика и химия обработки материалов. – М., 1990. – № 4. – С. 57-62.
2. Алехин В.П. Особенности микроструктуры упроченных поверхностных слоев, получаемых микродуговым оксидированием / В.П. Алехин, В.А. Федоров, С.И. Бульчев, О.А. Тюрпенко // Физика и химия обработки материалов. – М., 1991. – № 5. – С. 121-126.
3. Малышев В.Н. Особенности формирования покрытий методом анодно-катодного микродугового оксидирования / В.Н. Малышев // Защита металлов. – М., 1996. – Т. 32, № 6. – С. 662-667.
4. Патель Дж.Л. Микроплазменная технология нанесения алюминиевых покрытий / Дж.Л. Патель, Н. Сака // Металловедение и термическая обработка металлов. – М., 2001. – № 7. – С. 27-29.
5. Зносотривкість анодно-іскрового покриття на сплавах алюмінію / І.П. Мерцало, В.Т. Яворський, М.Д. Клапків, Р.С. Мардаревич // Фізико-технічна механіка матеріалів. – К., 2003. – № 1. – С. 116-118.
6. Модельные представления о механизме микродугового оксидирования металлических материалов и управление этим процессом / А.Г. Ракоч, В.В. Хохлов, В.А. Баутин, Н.А. Лебедева, Ю.В. Магурова, И.В. Бардин // Защита металлов. – М., 2006. – Т. 42, № 2. – С. 173-183.

Надійшла до редколегії 4.03.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. наук. співробітн. О.Б. Леонтьєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ТИПА В95 ПУТЕМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

М.В. Кравчук, Т.А. Сутюшев

Приводятся результаты анализа полученных экспериментальных данных варьирования параметров процесса микродугового оксидирования (МДО) алюминиевого сплава В95 с целью получения качественного защитного покрытия. С учетом результатов анализа полученных данных определяется актуальность дальнейших экспериментальных исследований решения конкретных проблем эксплуатации и ремонта вооружения и военной техники

**Ключевые слова:** микродуговое оксидирование, износостойкость.

### ANALYSIS OF RESULTS OF INVESTIGATION EXPERIENTAL POTENTIAL TO IMPROVE I PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS V95 TYPE BY MICROARC OXIDATION

M.V. Kravchuk, T.A. Sutyushev

The results of analysis of experimental data varirovaniya parameters microarc oxidation (MAO) aluminum alloy V95 in order to obtain high-quality protective coating. Based on the analysis of the data is determined by the relevance of further experimental studies address the specific problems of operation and repair of military equipment.

**Keywords:** microarc oxidation, wear resistance.