

УДК 621.35

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ІНКОРПОРАЦІЇ ДОПУВАЛЬНИХ  
КОМПОНЕНТІВ ПІД ЧАС ПЛАЗМО-ЕЛЕКТРОЛІТНОЇ ОБРОБКИ  
СПЛАВІВ ВЕНТИЛЬНИХ МЕТАЛІВ**

**Каракуркчі Г.В.<sup>1</sup>, Сахненко М.Д.<sup>2</sup>, Зюбанова С.І.<sup>2</sup>,  
Корогодська А.М.<sup>2</sup>, Єрмоленко І.Ю.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Національний університет оборони України ім. І. Черняховського  
Повітрофлотський проспект, 28, 03049, м. Київ*

*<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків  
anyutikukr@gmail.com*

Застосування сплавів алюмінію та титану достатньо поширене на сьогодні та має значні перспективи подальшого розвитку. Зазначені матеріали використовуються у багатьох галузях промисловості, зокрема як каталізатори для нейтралізації токсичних речовин. Одним із методів одержання таких каталітичних систем є плазмо-електролітне оксидування (ПЕО), яке дозволяє в одному технологічному процесі одержати високорозвинену оксидну матрицю оброблюваного металу та формувати оксидне покриття із комплексом функціональних властивостей [1]. Закордонними та вітчизняними вченими досить активно проводяться дослідження щодо синтезу оксидних покриттів на вентильних металах методом ПЕО та вивчення їх характеристик. Вагомий внесок в розробку даного наукового напрямку зроблено дослідниками США, Великобританії, Канади, Франції та інших країн. Особливо слід зазначити внесок українських вчених, зокрема В.І. Черненко, Л.О. Сніжко (Дніпро, УДХТУ), Б.І. Байрачний, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь (Харків, НТУ “ХП”), М.Д. Клапків, М.М. Студент (Львів, ФМІ НАНУ ім. Г.В. Карпенка).

Проте численні наукові розробки з цього напрямку носять переважно дослідно-прикладний характер та вирішують лише окремі технологічні задачі. ПЕО під час одержання функціональних матеріалів розглядається переважно як

етап створення розвиненої оксидної матриці металу-носія, в яку в подальшому інкорпорується допувальні компоненти.

Тому, метою роботи була поставлена оптимізація існуючих складних та багатостадійних технологій одержання металоксидних каталітичних матеріалів та дослідження особливостей інкорпорації допувальних компонентів під час плазмо-електролітної обробки сплавів вентильних металів.

Для експериментальних досліджень використано сплави алюмінію (титану), які відносяться до різних систем легування та відрізняються галузями застосування, зокрема: первинний алюміній А99, технічний алюміній АД0, деформівні сплави Д16 та АМц, ливарний сплав АК12М2МгН, а також технічний титан ВТ1-0 та титановий деформівний сплав ОТ4-1. Для ПЕО модельних зразків використовували лабораторну установку, що включає стабілізоване джерело струму Б5-50, електролітичну комірку із охолодженням та перемішуванням електроліту, датчик температури, робочі електроди та самописець МТех ADC-UI18.

Доведено, що факторами впливу на перебіг процесів плазмо-електролітної обробки модельних зразків сплавів вентильних металів у розчинах дифосфатів є сукупність технологічних параметрів, серед яких основними є густина струму обробки, час ПЕО та напруга процесу оксидування [2].

Встановлено, що формування міцноадгезованих гетерооксидних покриттів із широким спектром функціональних властивостей на сплавах алюмінію та титану реалізується в одному технологічному процесі плазмо-електролітною обробкою у лужних розчинах дифосфатів за присутності сполук металів-допантів.

Особливістю запропонованого технологічного підходу є поєднання парціальних процесів гомогенізації поверхневих шарів та формування розвиненої оксидної матриці металу носія, до складу якої інкорпоровані оксиди цільових компонентів. У підсумку це забезпечує одержання поліфункціонального матеріалу, в якому синергетично поєднані характеристичні властивості оксидної матриці та допувальних компонентів.

На підставі проведеного аналізу вимог до каталітичних матеріалів для допування монооксидних матриць алюмінію (титану) під час плазмо-електролітної обробки було обрано перехідні метали – манган та кобальт, які є поширеними компонентами каталітичних систем.

Дослідженнями кінетичних закономірностей ПЕО легованих сплавів Al та Ti (AK12M2MgH та OT4-1) у розчинах дифосфатів було підтверджено механізм формування монооксидних матриць оброблюваних матеріалів у чотири стадії (доіскрова, іскріння, мікродугових та дугових розрядів). Доведено, що на перших двох етапах перебігає гомогенізація поверхневих шарів сплавів по основним легувальним елементам [3], що забезпечує формування рівномірних монооксидних шарів на багатокомпонентних модельних зразках.

Встановлені закономірності дозволяють зробити припущення, що інкорпорація допувальних компонентів до складу утворюваного оксидного шару може бути забезпечена введенням додаткових компонентів у базовий електроліт та проведення ПЕО в мікродуговому режимі. Показано, що такий підхід забезпечує гомогенізацію поверхневого шару, введення металів-допантів до складу оксидної матриці основного металу, забезпечуючи формування суцільного оксидного шару на оброблюваній поверхні з рівномірним розподілом цільових компонентів по поверхні та товщині одержаного гетерооксидного покриття [4].

Розроблена концепція плазмо-електролітного формування гетерооксидних покриттів була екстрапольована на леговані сплави алюмінію (титану) іншого складу. На досліджуваних сплавах алюмінію (титану) сформовані гетерооксидні покриття, доповані до 36,0 ат.% манганом та 24,0 ат.% кобальтом, за густини струму 2–20 А/дм<sup>2</sup> для сплавів алюмінію та 1–5 А/дм<sup>2</sup> для сплавів титану. За умови послідовного оксидування в електролітах обох типів можливо одержати гетерооксидний шар, допований одночасно обома активними компонентами.

Варіювання параметрів ПЕО дозволяє керувати процесом формування та характеристиками синтезованого гетерооксидного покриття [5, 6].

Прогнозовано, що синтезовані металооксидні системи мають комплекс підвищених функціональних властивостей [1], з урахуванням синергізму властивостей їх складових.

#### Література:

1. Yar-Mukhamedova G.Sh., Sakhnenko N.D., Ved M.V. Nanocomposite electrolytic coatings with defined functional properties. Almaty: Kazakh University, 2020. 180 p.

2. Сахненко М. Д., Ведь М. В., Каракуркчі Г. В., Галак О. В. Особливості одержання металооксидних каталітичних систем плазмово-електролітичним оксидуванням алюмінію та титану в пірофосфатних електролітах. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічні технології та екологія. № 22(1194). 2016. С. 171–176.

3. Karakurkchi A. V., Sakhnenko M. D., Ved' M. V., Tulenko M. V., Dzheniuk A. V. Analysis of technological approaches to electrochemical surface treatment of aluminum alloys. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Materials Science. 2020. Vol. 3, No.12(105). P. 44–55. doi:10.15587/1729-4061.2020.206014.

4. Karakurkchi A., Sakhnenko M., Ved' M., Yermolenko I., Pavlenko S., Yevsieiev V., Pavlov Y., Yemanov V. Determining features of application of functional electrochemical coatings in technologies of surface treatment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Materials Science. 2019. Vol. 3, No. 12(99). P. 29–38. doi:10.15587/1729-4061.2019.171787.

5. Karakurkchi A. V., Sakhnenko N. D., Ved' M. V., Luhovskyi I. S., Drobakha H. A., Mayba M. V. Features of plasma electrolytic formation of manganese- and cobalt-containing composites on aluminum alloys. Advances in Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 2019. Article ID 6381291, 13 p. doi:10.1155/2019/6381291.

6. Sakhnenko N. D., Ved' M. V., Karakurkchi A. V.. Effect of Doping Metals on the Structure of PEO Coatings on Titanium. International Journal of Chemical Engineering. 2018. Vol. 2018. Article ID 4608485, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/4608485>.