Дослідження впливу азотування титанового сплаву ВТ1-0 на фазовий склад та товщину оксидокерамічних покриттів.

Погрелюк Ірина Миколаївна, д.т.н., професор;

Посувайло Володимир Миколайович, к.т.н.;

Ковальчук Ігор Васильович, к.х.н;

Данильчук Максим Володимирович

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна  
vposuvailo@gmail.com

**Ключові слова:** плазмоелектролітне оксидування, оксидокерамічні покриття, титан, фазовий склад

1. Вступ

Одним з найактуальніших завдань сучасної науки і техніки є розробка нових технологій нанесення високоефективних і надійних покриттів для захисту і зміцнення металевих виробів. Зараз активно розвивається новий вид поверхневої обробки та зміцнення металевих матеріалів, який є різновидом традиційного анодування – плазмоелектролітне оксидування (ПЕО). Воно дає змогу отримувати багатофункціональні оксидокерамічні покриття з унікальним комплексом властивостей на вентильних металах (Al, Mg, Ti, Zr, Ta) [1]. Виділяють чотири основні етапи формування оксидокерамічних покриттів [2] на вентильних металах: утворення на доіскровій стадії первинної оксидної плівки за електрохімічним механізмом; пробій первинної оксидної плівки і поява плазмового згустку в розрядному каналі; плазмохімічні реакції утворення проміжних і кінцевого продуктів; конденсація та поліморфні перетворення оксидних фаз [2 – 3]. В останні роки даний метод активно застосовують для формування зносо- та корозивнотривких покриттів на титанових сплавах. Їх широко застосовують в різних галузях промисловості, а саме: в машинобудуванні, авіабудуванні (блоки циліндрів, поршні для охолодження, авіаційні вузли), аерокосмічній техніці (деталі з низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення і високим рівнем механічних властивостей), медицині (імплатати, штучні суглоби) тощо. Ця технологія є енергозатратною. В останнє десятиріччя активно йде розробка методів нанесення ПЕО покриттів на титанові сплави, що дозволяє суттєво підвищити їх зносостійкість та зменшити енергозатрати.

Метою статті є встановлення впливу попередньо азотуваня за методикою [4] на фазовий складу та товщину оксидокерамічних покриттів на титановому сплаві ВТ1-0.

1. Матеріали та методи досліджень.

Оксидокерамічні покриття були синтезовані на алюмінієвих сплаві ВТ1-0 (Ti- 99,3%;Fe до 0,25; Si до 0,1; O до 0,2 ). Розмір зразків 20\*15\*3 mm. Перед синтезом зразки полірували, промивали в дистильованій воді та етиловому спирті. Покриття формували методом почергового прикладання анодних та катодних імпульсів струму на зразок. Густини катодного та анодного струмів Jc/ Ja = 20/20 A/дм2, час синтезу 5 хв. Електролітами були водні розчини двох типів: ЕЛ-1: 1 – 3 г/л KOH + 2 г/л Na2SiO3; ЕЛ-2: 2 –5 г/л KOH + 5 г/л Na2SiO3 Для рентгенофазового аналізу покриттів застосували дифрактометр ДРОН-3.0 з CuKα-випромінюванням. Вміст кожної з фаз визначали за дифрактограмами, використовуючи пакет програм FullProf, багатопрофільним методом Рітвельда. Товщину покриттів вимірювали на поперечних шліфах оптичним мікроскопом ЛОМО МЕТАМ. Мікротвердість покриттів визначали мікротвердоміром ПМТ-3М за навантаження 50 гр.

**3 Результати.**

У ході рентгенофазового аналізу оксидокерамічних покриттів синтезованих на титановому сплаві ВТ1-0 в електроліті ЕЛ-1 встановлено дифракційні рефлекси фази α-Ti та оксидів титану на рівні шуму. Це вказує на те, що отримані покриття дуже тонкі. В подальшому дослідження проводили у покриттях що сформовані в ЕЛ-2. Встановлено, що в цьому електроліті протягом 5 хвилин синтезу на сплаві ВТ1-0 ПЕО покриття складаються з TiO2: брукіту – 18 мас%, рутилу – 17 мас%, анатазу – 2 мас% та основного металу α-Ti – 63 мас%. Великий вміст титану опосередковано вказує на малу товщину. Оксидокерамічні покриття на попередньо азотованому сплаві складаються з фаз TiO2: анатазу – 56 мас%, рутилу – 30 мас%, брукіту – 8 мас%, α′-Ti – 5 мас% та β-Ti до 1 мас%. Слід зауважити, що фази TiN2 в дифрактограмі немає.

Проведено аналіз поперечних шліфів та встановлено, що протягом 5 хвилин синтезу на титановому сплаві ВТ1-0 формується оксидокерамічне покриття товщиною 6 – 9 мкм, а на попередньо азотованому сплаві ВТ 1-0 товщиною 30 – 45 мкм. Оскільки вихідний сплав однаковий, це зумовлено впливом азоту, який сформував TiN2 та дифундував в матрицю основного металу [4]. Він сприяє формуванню оксидокерамічного покриття та підвищенню температури в розрядному каналі. На це вказує суттєво збільшений вміст високотемпературної фази TiO2 – рутилу, який починає утворюватись за температути фазового переходу анатаз – рутил 650 – 825 °С [5]. Найбільш імовірно, що підвищені температури в околі розрядних каналів та складові електроліту приводять до формування α′-Ti та β-Ti, які відсутні у вихідному матеріалі. Встановлено, що мікротвердість ПЕО покриттів на попередньо азотованому сплаві становить 400 – 600 HV, дозволяє сформувати захисну зносотривку плівку.

**4 Висновки.**

Досліджено фазовий склад, товщину та мікротвердість ПЕО покриттів на вихідному та в попередньо азотованому сплаві ВТ 1-0. Встановлено, що азотування сприяє збільшеному утворенню високотемпературних фаз, як в оксидокерамічному покритті, так і в основному металі та в 3 – 4 рази збільшує швидкості росту оксидокерамічного шару. Високий вміст рутилу й анатазу приводить до суттєвого росту мікротвердості 400 – 600 HV, що підвищує зносотривкість.

Список посилань.

1. Klapkiv M.D. Production of conversion oxide-ceramic coatings on zirconium and titanium alloys / Klapkiv, M.D., Povstyana, N.Yu., Nykyforchyn, H.M. // Materials Science. – 2006, 42(2). – P. 277–286.
2. Klapkiv M.D. Simulation of synthesis of oxide-ceramic coatings in discharge channels of a metal-electrolyte system / [Klapkiv, M.D.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603216364) / Materials Science. – 1999, 35. – P. 279–283.
3. [Imbirovich, N.Y.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57223183682) Properties of ceramic oxide coatings on magnesium and titanium alloys synthesized in electrolytic plasma / [Imbirovich, N.Y.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57223183682), Klapkiv, M.D., Posuvailo, V.M., Povstyanoi, O.Y. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2015, 54(1-2) . – P. 47–52.
4. Pretreatment Influence on Titanium Surface Properties After Gas Nitriding / [Pohrelyuk, I.M.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8985466000), Lavrys, S.M., Sakharuk, O.M., Stasyshyn, I.V., Penkovyi, O.V. // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2017, 26(10) . – P. 5072–5078.
5. І. Ф. Миронюк .Структурні перетворення в пірогенному ТіО2 при електрохемічній інтеркаляції літію / І. Ф. Миронюк, Б. К. Остафійчук, І.І. Григорчак, Р. В. Ільницький, В. Л. Челядин, В. О. Коцюбинський // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2007, т. 5, № 2, – C. 579—597.