

УДК 621.357

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АНОДНОГО ОКИСЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ТИТАНУ ТА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ У ВИРОБАХ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Апалькова Валерія Євгенівна,**

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти;

**Пилипенко Олексій Іванович,**

кандидат технічних наук, доцент, доцент

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[oleksiy.pylypenko@kname.edu.ua](mailto:oleksiy.pylypenko@kname.edu.ua)

Титанові сплави широко використовуються медицині в різноманітних імплантатах, альтернативних функціональних матеріалах, стоматології, медичному обладнанні та інших суміжних областях. Титан і титанові сплави мають хорошу корозійну стійкість, високу питому міцність, низький модуль пружності, високу втомну стійкість і біосумісність. Більшість цих властивостей титану обумовлена існуванням оксидної природної плівки на його поверхні. Підвищити товщину та щільність природної оксидної плівки на титані можна шляхом анодування (анодного оксидування). Після анодування можна також досягти підвищення мікротвердості поверхні титану, зносостійкості, жаростійкості, жароміцності, втомної міцності та стійкості до захоплення. Також підвищуються антифрикційні властивості поверхні деталей. Оксидна плівка запобігає контактній корозії титану з алюмінієм, магнієм, кадмієвими та цинковими покриттями. Завдяки пористій структурі оксидні плівки добре зарекомендували себе як підшар для нанесення лакофарбових матеріалів, клеїв, герметиків, мастил. Висока корозійна стійкість у фізіологічному середовищі анодованого титану дозволяє використовувати даний матеріал для виготовлення імплантів і протезів.

Анодування титану досліджується досить давно. На першому етапі особлива увага приділялася вивченню процесу формування оксидних плівок бар'єрного типу у слабких водних розчинах  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ . Мала товщина (не більше 40–50 нм) та неоднорідна аморфно-кристалічна будова бар'єрних анодних оксидів титану помітно обмежували їх застосування, зокрема як діелектричних шарів. Дослідження пористих плівок, виконані методом електронної мікроскопії, виявили, що поверхня оксидного покриття має розвинену комірчасту структуру. Покриття пористе, але пори не досягають поверхні металу. Діаметр пор змінюється в межах 100–500 нм. На розмір пор впливає спосіб їх отримання, склад електроліту та технологічні режими процесу. Товщина покриття обмежена через високі електроізоляційні

властивості  $\text{TiO}_2$ , який має більший електричний опір, ніж електроліт, що перешкоджає проходженню струму. Тому у ході електролізу відбувається розігрів електроліту у порах оксидної плівки і за певних умов починає переважати хімічна реакція розчинення оксиду в електроліті.

Певну інформацію щодо можливих структур оксидних плівок, які можна отримати методом оксидування, можна одержати з даних скануючої мікроскопії (рис. 1). Як видно, на структуру плівки впливають різні фактори: природа електроліту, тривалість електролізу, наявність термообробки.

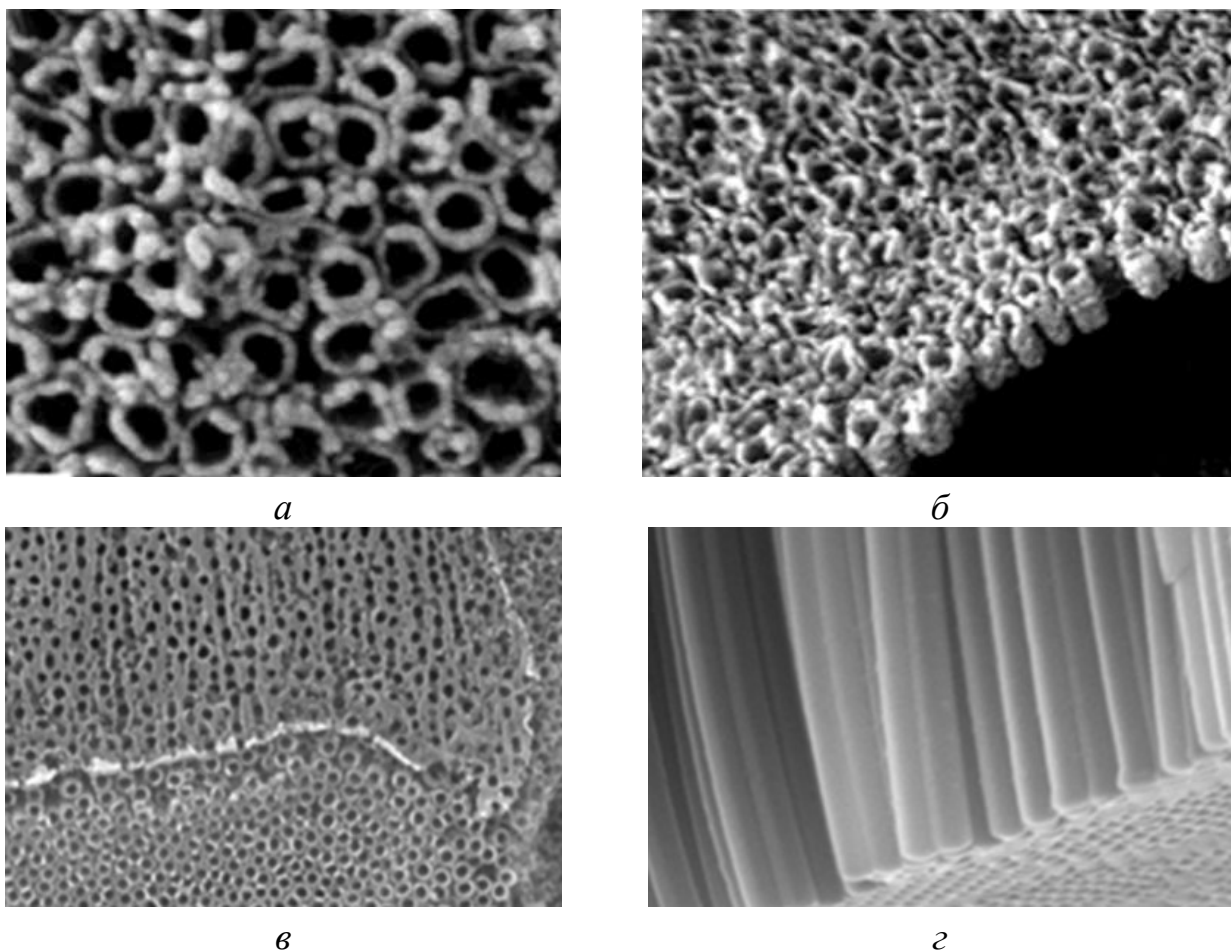


Рисунок 1. СЕМ-зображення поверхні трубчастого шару та поперечного перерізу, сформованих у водному розчині 0,5 % HF за 20 В протягом 20 хв (а, б) [1] та СЕМ-зображення поверхні трубчастого шару (б) і поперечного зламу (г) товщиною 40 мкм, сформованого довготривалим анодуванням протягом 23 годин у  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2 + 0,25\% \text{NH}_4\text{F}$  [3]

Процес анодування деталей з титанових сплавів полягає у зануренні деталі в електроліт та з'єднання її з позитивним полюсом джерела постійного струму. Під час проходження електричного струму через електроліт на аноді в активній формі виділяється кисень, який взаємодіє з титаном утворюючи анодно-оксидну плівку. Ріст анодного шару відбувається не на зовнішній поверхні деталі, а під шаром оксидної плівки, тобто на границі титану з анодною плівкою.

Зміна кольору пов'язана з відмінностями кристалічної структури анодного шару. Товщина анодного шару впливає на світло, що потрапляє в шар, який заломлюється під різними кутами, при цьому трохи змінюється колір плівки. Кольорове анодування титанових сплавів використовується для декоративного оздоблення та маркування. Декоративне анодування збільшує корозійну стійкість виробів та забезпечує високу світлостійкість пофарбованої поверхні із збереженням блиску вихідної поверхні. Візуально приклад градієнта кольору анодованого титану в залежності від напруги на ванні показаний на рисунку 2.

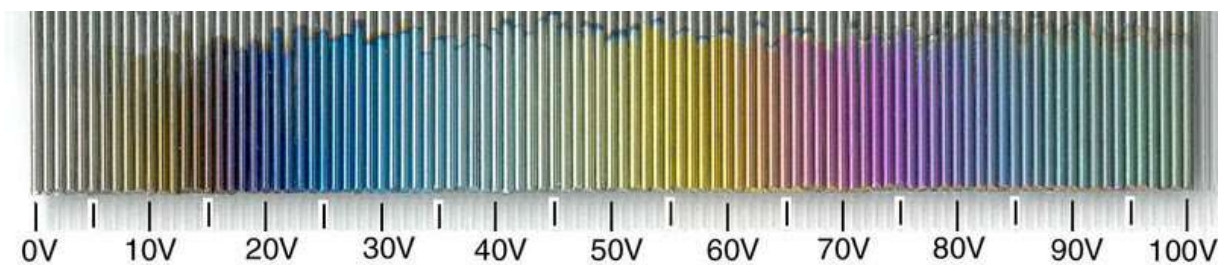


Рисунок 2 – Залежність кольору забарвлення оксидної плівки на титані від значення кінцевої напруги на комірці

Роль оксидної плівки у виробках медичного призначення полягає в наступному: по-перше, оксидну плівку можна нанести на титанові матеріали для запобігання корозії металу і підвищення біосумісності. За кольором оксидної плівки можна виявити область хірургічного втручання і гарантувати успішність операції. Нарешті, забарвлені оксидні плівки є мають привабливий зовнішній вигляд і використовуються для декоративної обробки поверхні.

### Список використаних джерел

1. Ma K., Zhang R., Sun J., Liu C. Oxidation mechanism of biomedical titanium alloy surface and experiment. *International Journal of Corrosion*. 2020. Vol. 2020. 1678615. <https://doi.org/10.1155/2020/1678615>
2. Pilipenko A., Maizelis A., Pancheva H., Zhelavska Yu. Electrochemical oxidation of VT6 titanium alloy in oxalic acid solutions. *Chemistry & Chemical technology*. 2020. Vol. 14, No. 2. P. 221–226. <https://doi.org/10.23939/chcht14.02>
3. Nowruzi F., Imani R., Faghihi S. Effect of electrochemical oxidation and drug loading on the antibacterial properties and cell biocompatibility of titanium substrates. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. 8595. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12332-z>