

Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет Митної справи, матеріалів та технологій

(повне найменування факультету)  
Кафедра Матеріалознавства

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

МОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БІОПОКРИТТІВ,  
СИНТЕЗОВАНИХ МЕТОДОМ ПЕО НА ОСНОВІ ТИТАНОВИХ  
СПЛАВІВ / MORPHOLOGICAL PECULIARITY OF BIO-COATINGS  
SYNTHESIZED BY THE PEO METHOD ON THE BASIS OF TITANIUM  
ALLOYS

спеціальність 132 «Матеріалознавство»  
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Матеріалознавство»  
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ПММ-21

Мазурок Андрій Вікторович

(підпис)

Керівник:

д.т.н., доцент

Імбірович Наталія Оріївна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«04» листопада 2024 р.  
к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:  
Мельничук Микола Дмитрович

Луцьк – 2024 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій  
Кафедра матеріалознавства  
Ступінь вищої освіти: магістр  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність: 132 Матеріалознавство  
Освітня програма: Матеріалознавство

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

Мельничук М.Д.

"02" вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

1. Тема роботи Магурок Андрій Вікторович  
(прізвище, ім'я, по батькові)  
Морфологічні особливості біоокристітів,  
синтезованих методом ПЕО на основі титанових  
сплавів
- керівник роботи д.т.н., доц. Тибірков А.Ю.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від "03" 10 2024 року № 407/01-02
2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи  
"03" 12 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи смак та властивості сплаву ВТ6,  
розміри зразка з титанового сплаву
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ. Огляд технічної літератури. Методика  
експериментального дослідження, експериментальна  
частинка. Технологічна частинка. висновки список  
використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Тема роботи (ф. А4)
  2. Мета і завдання роботи (ф. А4)
  3. Рішення схеми біоокристітів (ф. А4)
  - 4, 5, 6 Фото на покриттях, синтезованих на сплаві ВТ6 (ф. А4)
  - 7, 8. Профілограми покриттів (2 ф. А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Н. контроль	доцента кафедри матеріалознавства Мисюк С. В.	02.09.2024	02.09.2024

7. Дата видачі завдання «02» 09 2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Огляд технічної літератури	15.10.2024	виконав
2.	Флюкувальне експериментування та методика розробки	05.11.2024	виконав
3.	Результати експериментів та їх обґрунтування	26.11.2024	виконав

Здобувач вищої освіти

Керівник кваліфікаційної роботи

Мазурок А.В.  
(прізвище та ініціали)

Людський Г.Г.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Мазурок А.В. Морфологічні особливості біопокриттів, синтезованих методом ПЕО на основі титанових сплавів. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

У роботі досліджено пористість титанових покриттів, синтезованих методом плазмоелектролітного оксидування (ПЕО) та їх шорсткість, встановлено вплив робочих режимів ПЕО на зміну морфології сформованих покриттів.

Магістерська робота складається з пояснювальної записки та додатків. Пояснювальна записка містить 42 сторінки, 9 рисунків, 1 таблицю та включає список з 45 літературних джерел. Графічна частина складається з 8 листів формату А4, представлених у додатку А.

Ключові слова: окиснення, шорсткість, пористість, титан, біосумісність, захист, покриття.

MP 0824.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Морфологічні особливості біопокриттів, синтезованих методом ПЕО на основі титанових сплавів	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Мазурок	[Redacted]	04.12				3
Перевірив		Імбірович	[Redacted]	04.12				
Н. Контр		Мисковець	[Redacted]	04.12				
Затв.		Мельничук	[Redacted]	04.12				
						ЛНТУ, каф. матеріалознавства гр. ПМм-21		

## АНОТАЦІЯ

Мазурок А.В. Морфологічні особливості біопокриттів, синтезованих методом ПЕО на основі титанових сплавів. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

У роботі досліджено пористість титанових покриттів, синтезованих методом плазмоелектролітного оксидування (ПЕО) та їх шорсткість, встановлено вплив робочих режимів ПЕО на зміну морфології сформованих покриттів .

Магістерська робота складається з пояснювальної записки та додатків. Пояснювальна записка містить 42 сторінки, 9 рисунків, 1 таблицю та включає список з 45 літературних джерел. Графічна частина складається з 8 листів формату А4, представлених у додатку А.

Ключові слова: окиснення, шорсткість, пористість, титан, біосумісність, захист, покриття.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

## ANNOTATION

Mazurok A.V. Morphological features of biocoatings synthesized by the PEO method based on titanium alloys. Manuscript.

Master's qualification work OP "Materials Science" specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of used sources, and appendices.

The work investigates the porosity of titanium coatings synthesized by the plasma electrolytic oxidation (PEO) method and their roughness, and establishes the influence of PEO operating modes on the change in the morphology of the formed coatings.

The master's thesis consists of an explanatory note and appendices. The explanatory note contains 42 pages, 9 figures, 1 table and includes a list of 45 literary sources. The graphic part consists of 8 sheets of A4 format, presented in Appendix A.

Keywords: oxidation, roughness, porosity, titanium, biocompatibility, protection, coating.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	7
1.1 Особливості вентильних металів	7
1.2 Умови біосумісності. Остеоінтеграція. Основні вимоги.	8
1.3 Особливі властивості біоматеріалів	10
1.4 Високотемпературне окиснення титанових сплавів	11
1.5 Плазмоелектролітне оксидування – перспективний метод поверхневої обробки	13
1.6 Основна мета і завдання роботи	15
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	16
2.1 Підбір робочих режимів синтезу оксидних покриттів на титановому сплаві	16
2.2 Дослідження шорсткості поверхні ПЕО-покриттів	17
2.3 Методика визначення пористості покриттів, синтезованих на титановій основі	18
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	19
3.1 Морфологічна характеристика покриттів, синтезованих на титановому сплаві, яка стосується пористості матеріалу покриття	19
3.2 Шорсткість покриттів, синтезованих за різних режимів	26
РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	32
4.1 Безпека роботи з високовольтним обладнанням	32
4.2 Робота з хімічними реактивами	35
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39
ДОДАТКИ	42

## ВСТУП

Привабливі властивості титанових сплавів роблять їх широко вживаними в багатьох галузях сучасної промисловості. Проте, важкі умови експлуатації, підвищені вимоги до рівня високої якості вимагають пошуку нових методів обробки таких сплавів.

Перспективними методами є нанесення покриттів з високими корозійними та механічними властивостями. Важливою умовою для таких покриттів можуть бути можливості додаткового створення широко розвиненої поверхні (високопористої поверхні з задовільною шорсткістю). Таке рішення робить можливим бути титановим імплантам незамінними в ортопедичній хірургії.

Метод плазмоелектролітного оксидування відноситься до електрохімічних способів нанесення покриттів. Перевагами методу є керування складу, структури та властивостей покриттів. Синтезовані покриття характеризуються високими адгезійними міжмолекулярними зв'язками між основою і покриттям, що робить цей метод особливо привабливим. Екологічність методу ПЕО дає можливість йому конкурувати з відомими методами нанесення покриттів, такими як вакуумно-дугове напилення, бомбардування поверхні іонами, СВС-процес та ін.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Особливості вентильних металів

Вчені виділили окрему групу металів, які пропускають струм тільки в одному напрямку. Зазвичай в електрохімічній комірці такий метал може функціонувати як катод, але не як анод, оскільки в анодних умовах утворюється (високоомний) оксид металу [1]. До такої групи металів зазвичай відносять алюміній, титан, тантал і ніобій. Інші метали також можуть розглядатися як вентильні метали, такі як вольфрам, хром, цирконій, гафній, цинк, ванадій, вісмут або сурма.

Термін «вентильні метали» включає групу легких перехідних металів з елементів IV і V груп періодичної таблиці. Цирконій (Zr), ніобій (Nb), алюміній (Al), магній (Mg), тантал (Ta) і гафній (Hf) – метали, які 50 років тому були віднесені до цієї групи металів.

Походження назви є суперечливим, але загальноприйнятим так як такі метали мають однакові властивості проводити струм лише в одному напрямку. Це призводить до здатності металів утворювати на поверхні за нормальних умов оксиду плівку, яка забезпечує термо- та корозійну стійкість. Той самий оксидний шар дозволяє електричному струму протікати в один бік і обмежує потік в іншому напрямку, звідси і термін «вентиль». Це називається випрямляючим ефектом.

Завдяки такій особливості такі метали широко використовуються в промисловості. Поєднання «вентильної» властивості з індивідуальними властивостями кожного з цих металів робить їх незамінними в конкретних галузях промисловості. Так, здатність цирконію захоплювати малу кількість теплових нейтронів дозволяє використовувати його в атомній енергетиці

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

для труб та твелів атомних електростанцій, а його висока термостійкість робить їх прийнятними для космічної техніки.

Ніобій також використовують в космічних апаратах для виготовлення платформ та в реактивних двигунах. Завдяки високим надпровідним властивостям його широко використовують в електротехніці та магнітах, в медичному обладнанні .

Титан та його сплави характеризуються високими інертними властивостями, тому є незамінним для виготовлення імплантів, а вигідне поєднання питомої міцності та густини робить його особливо привабливим для літальних апаратів.

Проте, втильні метали окрім значних переваг мають і недоліки, до яких відносять не стійкість властивостей цирконію вище температури 900 °С. В такому випадку цирконій наводнюється, що робить його крихким. Ніобій вище температури 400 °С починає швидко окислюватись і стає дуже крихким. Тантал, який високоінертний і стійкий до більшості лугів і кислот починає реагувати з ними в нарячому стані. Титан завдяки вигідним міцнісним, термо- та корозійним властивостям характеризується високим ступенем пластичності і тому не рекомендується використовувати в трибовузлах, так як в локальній контактній області починає швидко зношуватись.

Переаховані недоліки можливо усунути шляхом нанесення на поверхню вентильних металів покриттів з метою їх захисту.

## 1.2. Умови біосумісності. Остеоінтеграція. Основні вимоги

Багато пристроїв для заміни та відновлення твердих тканин зосереджені на ортопедичних імплантатах, тоді як інші призначені для стоматології. Відомо, що кістка — це жива тканина, яка має здатність моделювати та реконструювати у відповідь на механічні сили, яким він

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

протистоїть. Коли травма або хвороба впливає на здоров'я кісток і призводить до травми, перелому скелета, то виникають системні збої. Те саме стосується зубів і травм, пов'язаних із зубами захворювання. Тому ефективна конструкція ортопедичних і стоматологічних реставраційних пристроїв відновлення такої травми є важливою сферою досліджень і розробок у біомедичній промисловості. Ортопедичні імплантати спрямовані на відновлення функції скелета і загалом включають пристрої для фіксації та відновлення переломів.

Біосумісність – це термін, який використовується для опису стану справ, коли біоматеріал існує у фізіологічному середовищі, не завдаючи негативного та значного впливу на будь-яке інше середовище та матеріал [2]. Усі матеріали, що використовуються в інвазивних медичних пристосуваннях, мають бути біосумісними, як і біокомпозити. Загалом, біосумісність можна класифікувати на два види, а саме поверхневу та структурну біосумісність.

Властивості матеріалу, які мають відношення до біосумісності поверхні, включають хімічну інертність, токсичність, тромбогенність і стійкість до спайок. Біосумісність в першу чергу стосується взаємодії між сторонніми матеріалами та тканинами господаря. Саме ті ситуації, в яких біоматеріали знаходяться в прямому контакті з тканинами, зазвичай досліджуються для пошуку механізмів взаємодії. Сторонні речовини також отримують доступ до тканин кількома іншими способами, і, хоча ці матеріали можуть мати різні фізичні форми, їхня доля в тканинах може мати значення для біосумісності в контексті біоматеріалів.

Найбільш очевидним показником ступеня взаємодії між імплантованим матеріалом і тканинами тіла є реакція клітин у безпосередній близькості. Існує два важливі аспекти запальної реакції. Одним з них є роль макрофагів і гігантських клітин у відповіді господаря живого організму на імплантовані чужорідні тіла, що охоплює походження макрофагів, фагоцитарне розпізнавання, хемотаксис, активацію та епітеліоїдні та гігантські клітини.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншим є клітинна біохімія стосовно індукованої біоматеріалами запальної реакції, включаючи біохімічні особливості поліморфноядерних лейкоцитів, макрофагів, лімфоцитів, плазматичних клітин, тучних клітин, фібробластів і гігантських клітин чужорідних тіл.

Хімічний склад поверхні біоматеріалів відіграє важливу роль у визначенні відповіді організму та біосумісності [3, 4].

Щоб краще зрозуміти взаємозв'язки між структурою та активністю, які існують між поверхнями біоматеріалів (та їхньою можливою модифікацією) і спостережуваними біовзаємодіями, для визначення міжфазних властивостей використовується низка вдосконалених методів аналізу поверхні. Тепер експериментально доведено, що хімічний склад поверхні біомедичного пристосування не обов'язково схожий на хімічний склад основної фази [5]. Поділ фаз переважної орієнтації поверхні одного чи кількох компонентів або наявність забруднювачів, отриманих у процесі виробництва, є лише деякими факторами, які впливатимуть на хімічний склад поверхні біоматеріалів. Міжфазна область також є динамічною структурою, де вплив гідратації та адсорбції біомолекул на вплив рідин організму може викликати значну поверхневу структурну реорганізацію.

### 1.3. Особливі властивості біоматеріалів

Одне з перших визначень «біоматеріалу» було дано доктором Джонатаном Коеном у 1967 році [6]. Будучи лікарем-ортопедом, доктор Коен зосереджував свою увагу на вузькому колі потенційних застосувань. Тим не менш, список категорій, запропонований ним досить широкий. Це і метали, кістка і похідні кістки, що використовуються як трансплантати, пластмаси, кераміка [4].

Єдина категорія біоматеріалів широкого застосування, яка повністю виключена Коеном – це «м'які біологічні матеріали», такі як колаген, шкіра

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

або жир тканини. За логікою Коена, матеріал можна визначити як «біоматеріал» лише на основі попереднього досвіду шляхом проб і помилок. Крім того, він все ще не розглядає питання активної взаємодії матеріалу з біологічним середовищем. Отже, Джонатан Коен називає будь-який матеріал, який був використаний для виробництва імплантату та має позитивний результат біоматеріалом.

Перше загальноприйняте визначення слова «біоматеріал» було введено в 1974 році на щорічному міжнародному симпозіумі з біоматеріалу в Клемсоні, (Південна Кароліна, США), де було висловлено думку, що біоматеріал – це систематично, фармакологічно інертна речовина, призначена для імплантації в живу систему або включення до неї. Таке твердження було висловлене через 5 років, після того, як професор Ларрі Хенч запатентував перше біоактивне скло (Bioglass 45S5) [8], яке включає всі біоактивні сполуки. Відсутність негативних реакцій на наявність біоматеріалів *in vivo* надають значний пріоритет до їх потенційних корисних біоактивних ефектів. Щоб повністю оцінити значення цього твердження, в 1974 р. у Сполучених Штатах все ще тривала війна у В'єтнамі. Відторгнення кістки при її трансплантації в живий організм стало відкритим медичним викликом [9]. Знадобилося ще шість років для професора Пер-Інгвара Бранемарка, щоб нарешті представити імплантати з титанових сплавів [9] Такий метал значно понизив рівень відторгнення ортопедичного імпланта без погіршення механічних характеристик. Відсутність побічної реакції все ще вважалася найкращим можливим результатом операції [10].

#### 1.4. Високотемпературне окиснення титанових сплавів

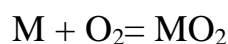
Як правило, більшість металів, які використовуються у звичайних технологічних вузлах підлягають важким умовам експлуатації та зазнають різних ушкоджень. Отже, велика частина металів піддається корозії при

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

кімнатній температурі або при високих температурах [10]. Високотемпературній корозії піддуються турбіни з ядерною енергією, твердооксидними паливними елементами і високотемпературна термоелектрична система [11]. Високотемпературне окислення металів завжди привертає увагу. Ця область охоплює обидва теоретичних передбачення та задовільний предмет дослідження на основі різних галузей, таких як металургійна, хімічна та фізична промисловості з термодинамічним прогнозуванням [12]. Нещодавно було отримано набір механічних даних про масовий транспорт через оксидні ваги під час окислення, випаровування форм оксидів, роль механічних навантажень на окалини та важливі взаємозв'язки між металевими елементами, мікроструктурою та окисленням. Відповідно, таку інформацію отримують фактично до окислення для отримання фізично-хімічних реакцій металевих форм при високій температурі [13].

Розуміння явищ окиснення та механізму реакції видів для утворення оксидної плівки та її роль для утворення різних шарів оксиду характеризує окалина на металі. На її життєздатність впливає кристалічна структура металів [14]. На границі зерен впливає формування окалини та швидкості окислення під час високотемпературного окислення [15].

Швидкість корозії титанових сплавів при високотемпературному окисленні залежить від природи продуктів реакції. В свою чергу швидкість реакції контролюється реагентами через тверді шари. Швидкість утворення оксидних шарів металів відповідно [16]:



Ступінь реакції визначає кількість витраченого металу, кількість використаного кисню і кількість продукту, що утворюється в процесі окислення. Існує кілька законів про для визначення лінійних, параболічних і логарифмічних швидкостей окислення.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лінійний закон заснований на поверхневій реакції поверхні металу з реакційно здатними газами в навколишньому середовищі. Він не залежить від часу реакції. Параболічний закон залежить зворотньо, тобто дифузія кисню в метал пропорційна квадратному кореню з часу [17]. Логарифмічний закон притаманний дуже тонким оксидним плівкам в діапазоні 2...4 нм [18].

Механізм транспортування іонів і електронів при окисленні чистого титану добре розроблений і пояснюється теорією окислення Вагнера [19]. Відповідно до теорії Вагнера швидкість окиснення контролюється частковою іонною та електронною провідностями оксидів та їх залежністю від хімічного потенціалу металу або кисню в оксиді. На думку Кофстада [20], дефект в структурі оксидів відіграє важливу роль у швидкості окислення металу. Автор вказує на реакцію високотемпературного окиснення чистого титану, яка має вигляд:



Щоб продовжити подальшу реакцію, один із реагентів повинен бути металом або газом ( $\text{O}_2$ ), який проникає через межу розділу накипу оксиду, щоб досягти будь-якої ділянки реагентів. Важливу роль відіграє механізм проникнення реагентів через оксидний шар та утворення підшарів у процесі високотемпературного окислення. Оскільки всі оксиди металів є іонними, у природі можливість транспортування нейтрального металу через межу розділу неможлива. Транспортування іонів через іонну тверду речовину добре пояснюється кількома механізмами, які належать до стехіометричної кристалічної ґратки або нестехіометрична кристалічна ґратки.

1.5. Плазмоелектролітне окисдування – перспективний метод поверхневої обробки

Оксидні системи різного складу і товщини можна формувати на металах за допомогою плазмоелектролітного окислення (ПЕО) [21]. Особливістю

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

методу є термічне перетворення компонентів електроліту та на аноді внаслідок електричних пробіів і включення отриманих сполук в структуру оксиду металу підкладки [21]. Загалом, така сформована плівка містить оксид металу субстрату, а також компоненти електроліту. Найактивнішими є ПЕО-покриття з перехідними оксидами металів в лужних електролітах на основі натрію [22].

Плазмове електролітне окислення також називається мікродуговим оксидуванням (МАО) або анодне іскрове осадження (ASD) є економічним, ефективним і екологічно чистою технологією, яка здатна виробляти оксид на місці покриття на алюмінії, магнії, титані, цирконії та ін. легких металах а також на їх сплавах [23, 24].

Оксидні покриття, які формуються таким методом, мають контрольовану морфологію та склад, чудову міцність зв'язування з підкладкою, хороші електричні та теплові властивості, високу мікротвердість, зносостійкість і корозійну стійкість [25 – 28].

Під час процесу ПЕО на поверхні виникають дискретні іскрові розряди коли напруга, що подається, перевищує критичне значення (відоме як напруга пробією). Розряд відбувається внаслідок втрати в діелектричній зоні (зоні низької електропровідності) стійкості оксидної плівки. Цей процес супроводжується випромінюванням видимого світла і виділенням газу. Мікророзряд призводить до локалізованої високої температури та високого тиску, що дозволяє утворювати оксидні покриття, які складаються з не лише переважних оксидів, які утворились внаслідок високотемпературного окислення металу, але також і більш складних оксидів містять сполуки, які містять компоненти, присутні в електроліті [29].

Хоча мікророзрядні явища та їх вплив на механізм утворення, склад, морфологія та ін. властивості оксидних покриттів на алюмінії і магнії добре досліджені, корельовані дослідження титану ще попереду.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 1.6. Основна мета і завдання роботи

Титан характеризується хорошою міцністю, низькою густиною, високою температурою плавлення, високою біосумісністю, тому є важливим матеріалом в сучасній техніці [30 – 32]. В останні роки дослідники в основному використовують процес ПЕО у водних електролітних розчинах, що містять кальцій і фосфор для формування біоактивних шарів на титановій підкладці [33].

Метою цієї роботи було дослідити морфологію поверхні окисдованих титанових сплавів в лужних електролітах з фосфатами, а також з додаванням гідроксилапатиту та діатоміту.

Для того, щоб реалізувати дану мету необхідно було вирішити наступні завдання:

- згідно літературних даних запропонувати лужні електроліти для синтезу в них оксидних титанових покриттів;
- синтезувати титанові сплави за різних робочих режимів;
- дослідити шорсткість отриманих покриттів та їх пористість.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Підбір робочих режимів синтезу оксидних покриттів на титановому сплаві

Сучасні матеріали з титану та його сплавів конструкційного та функціонального призначення повинні мати високі показники зносостійкості, втомної міцності та корозійної стійкості. Останнім часом особливу увагу приділяють підвищенню шорсткості покриттів на титанових сплавах, так як така особливість робить його більш привабливим в галузі імплантології. Адже, матеріали з широко розвиненою поверхнею швидше приживаються *in vitro* та характеризуються високим рівнем остеointegraції.

В даний час це досягається такими технологічними методами, як нанесення захисних покриттів, модифікація фізико-хімічних властивостей поверхневих шарів деталей методами модифікації та методами обробки, що поєднують модифікацію поверхні та нанесення покриттів.

Опираючись на роботи авторів [34 – 41], в даній роботі з метою підвищення розвиненості поверхні було обрано режими плазмоелектролітного оксидування титанових сплавів, які наведені в таблиці 2.1.

Діатомова земля – світла, пориста і пухка осадова порода, що складається з кремнеземних оболонок діатомових водоростей, одноклітинних водних рослин мікроскопічного розміру останнім часом знаходить своє застосування в різних галузях промисловості. Вона зустрічається в земляних шарах, які трохи нагадують крейду, але вони набагато легші за крейду і не википають у кислоті. Під потужним мікроскопом можна розрізнити форму діатомових водоростей. При затвердінні його називають діатомітом. Діатоміт, який раніше використовувався в основному як фільтр для

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

освітлення цукру та сиропів, був адаптований майже для всіх застосувань промислової фільтрації, включаючи обробку олії, алкогольних і безалкогольних напоїв, антибіотиків, розчинників і хімікатів.

Таблиця 2.1 – Робочі режими синтезу покриттів на титановому сплаві ВТ 6

№ п/н	Склад електроліту						Ia/Iк, А/дм <sup>2</sup>	Час синтезу, хв
	г/л							
	рідке скло	КОН	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Na <sub>6</sub> P <sub>6</sub> O <sub>18</sub>	діатоміт	H <sub>2</sub> O дист.		
1	20	20	20	20	-	решта	3/3	30
2	20	20	20	20	-	решта	4/4	30
4	20	20	20	20	20	решта	5/5	30
7	20	20	20	20	-	решта	10/10	30
9	20	20	20	20	20	решта	10/10	30
12	20	20	20	20	20	решта	10/10	60

Друге велике застосування – як наповнювач або наповнювач для паперу, фарби, цегли, плитки, кераміки, лінолеуму, пластику, мила, миючих засобів та великої кількості інших продуктів.

Найстарішим і найвідомішим комерційним використанням є дуже м'який абразив у поліролях для металів і зубній пасті. Тому впровадження такого компонента в покриття може дещо підвищити шорсткість поверхні.

## 2.2. Дослідження шорсткості поверхні ПЕО-покриттів

Шорсткість поверхні вказує на стан оброблених поверхонь. Стан поверхні визначається візуальним виглядом і тактильними відчуттями. Для встановлення шорсткості покриттів на титановому сплаві було використано лазерні мікроскопи, які здатні забезпечити точне безконтактне 3D-вимірювання шорсткості поверхні зразка в умовах навколишнього середовища.

Крива первинного профілю – крива профілю, отримана шляхом застосування фільтра низьких частот із значенням відсікання  $\lambda_s$  до

вимірюного первинного профілю. Профіль шорсткості – крива профілю, отримана з основного профілю шляхом придушення компонентів найдовшої довжини хвилі за допомогою фільтра високих частот із значенням відсікання  $\lambda_c$ . Профіль хвилястості – крива профілю, отримана шляхом послідовного застосування профільних фільтрів із граничними значеннями  $\lambda_f$  і  $\lambda_c$  до основного профілю. В результаті проведення експерименту встановлювали довжину вибірки (довжина в напрямку вимірюної осі, яка використовується для визначення характеристик профілю). Оцінювальною довжиною була довжина в напрямку вимірюної осі, яка використовується для оцінки оцінюваного профілю [42, 43].

### 2.3. Методика визначення пористості покриттів, синтезованих на титановій основі

Знання пористості, розмірів пор і об'єму пор має фундаментальне значення для характеристики пористих матеріалів. Існують прямі та оптичні методи визначення пористості матеріалу.

Прямі методи передбачають фізичне вимірювання пустот у матеріалі з використанням зразків для прямого розрахунку проникності середовища.

Оптичні методи використовують візуальний огляд і аналіз зображень для оцінки проникності шляхом вивчення структури матеріалу та визначення пустот.

В даній роботі було використано метод гідростатичного зважування для встановлення пористості синтезованих покриттів.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

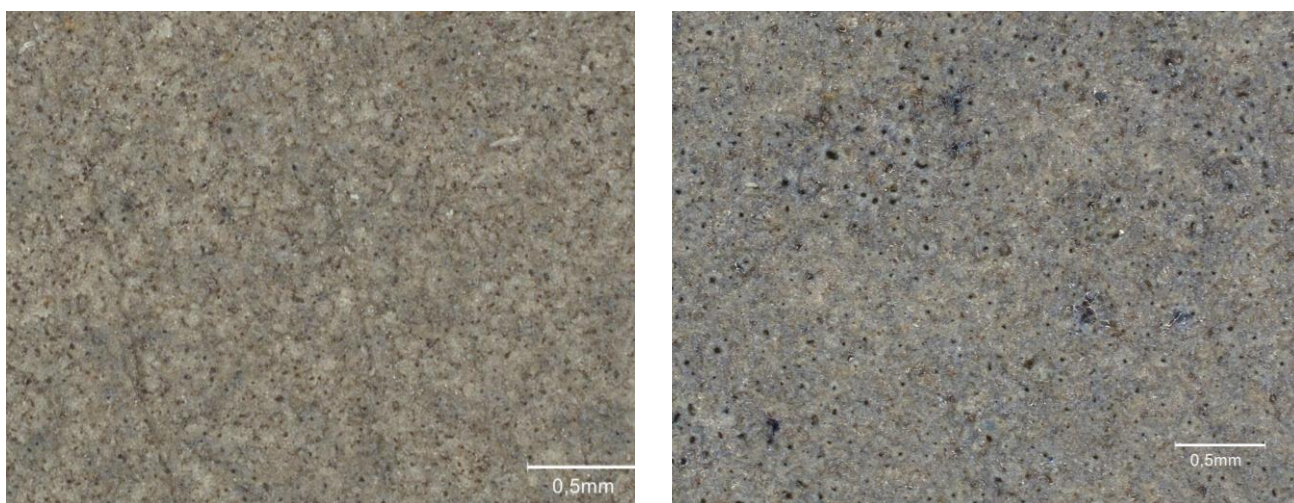
### РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Морфологічна характеристика покриттів, синтезованих на титановому сплаві, яка стосується пористості матеріалу покриття

В даній роботі було досліджено морфологію поверхні синтезованих покриттів. На рисунку 3.1 представлено фотографії поверхні покриттів, які формувались за різних робочих режимів.

Дані дослідження вказують на присутність пор в усіх покриттях. Слід зауважити, що протягом 30 хвилин синтезу покриття, які формувались в електроліті без діатоміту (режим № 1) і за найнижчого співвідношення густин струмів характеризуються дуже малими порами, які розташовані рівномірно на поверхні та мають сферичну форму.



а

б

Рисунок 3.1, лист 1 – Покриття, синтезовані на титановому сплаві ВТ 6 за різних робочих режимів (див. таблицю 2.1) (x20):

а – режим № 1;

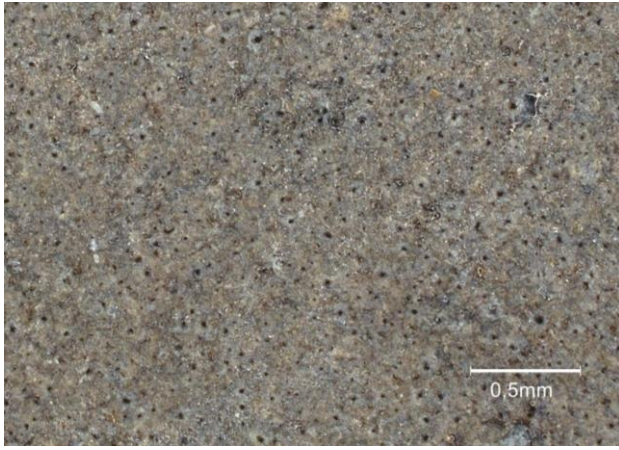
б – режим № 2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

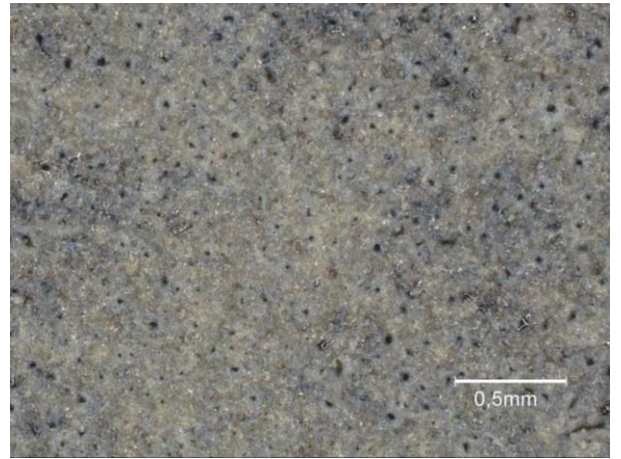
MP 0824.00.000 ПЗ

Арк.

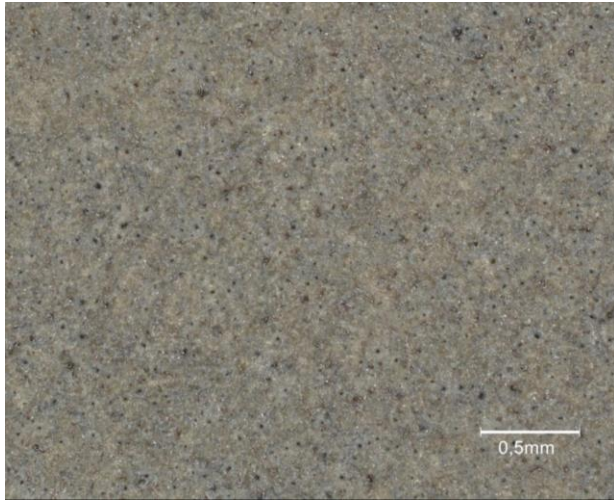
19



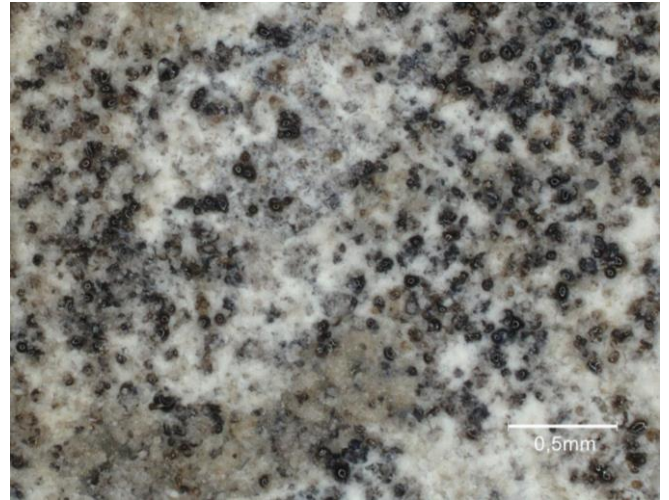
В



Г



Д



Е

Рисунок 3.1, лист 2 (x20):

в – режим № 4;

г – режим № 7;

д – режим № 9;

е – режим № 12

При підвищенні густини струмів на  $1 \text{ A/дм}^2$  як на аноді, так і на катоді покриття формуються з дещо більшого діаметру пор. В таких покриттях спостерігаються пори неправильної форми (рисунок 3.1, б).

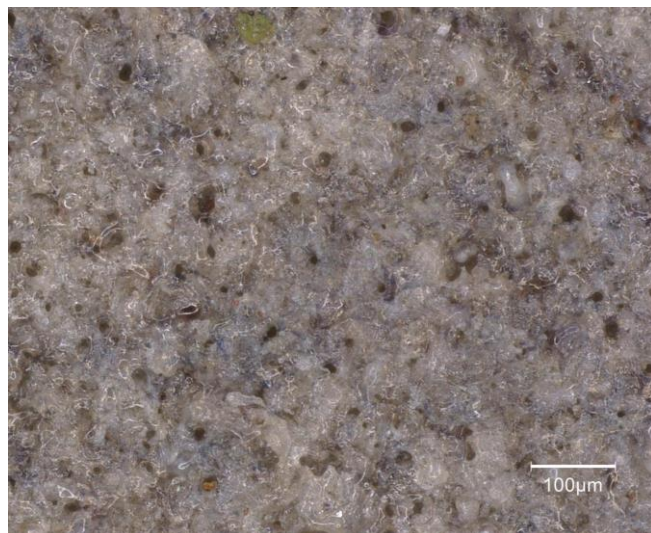
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 0824.00.000 ПЗ

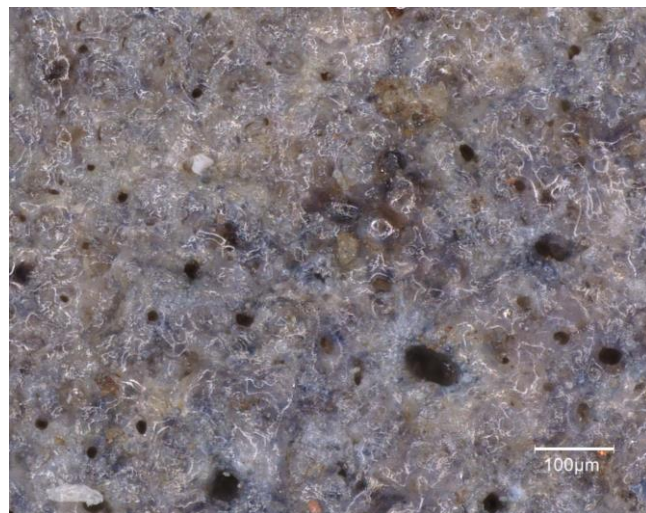
Арк.

20

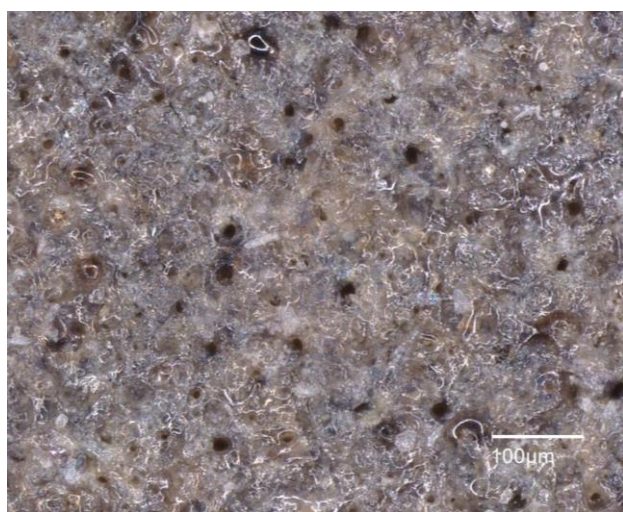
З метою порівняння впливу електроліту на поверхневу пористість, синтез покриттів проводили в електролітах без діатоміту (див. таблицю 2.1, режими № 1, 2, 7) та з ним (див. таблицю 2.1, режими № 4, 9 та 12).



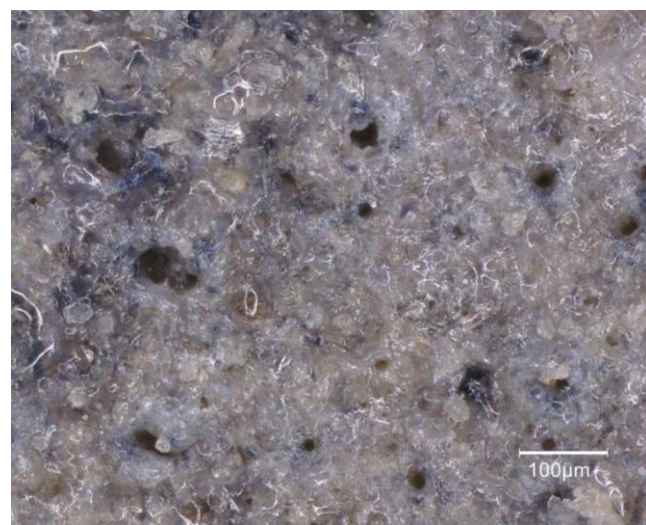
а



б



в



г

Рисунок 3.2, лист 1 – Покриття, синтезовані на титановому сплаві ВТ 6 за різних робочих режимів (див. таблицю 2.1) (x100):

а – режим № 1;

б – режим № 2;

в – режим № 4;

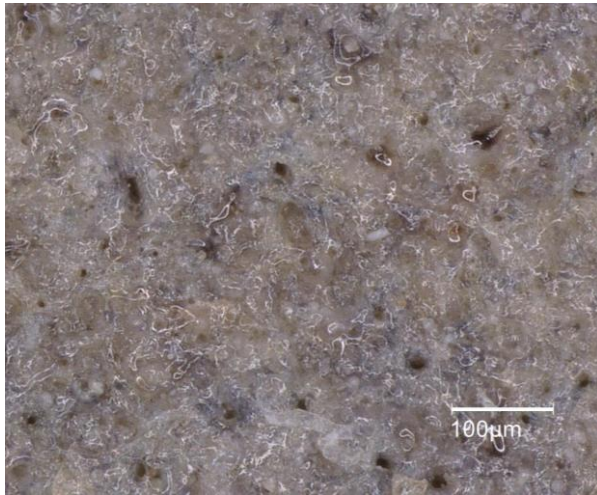
г – режим № 7

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

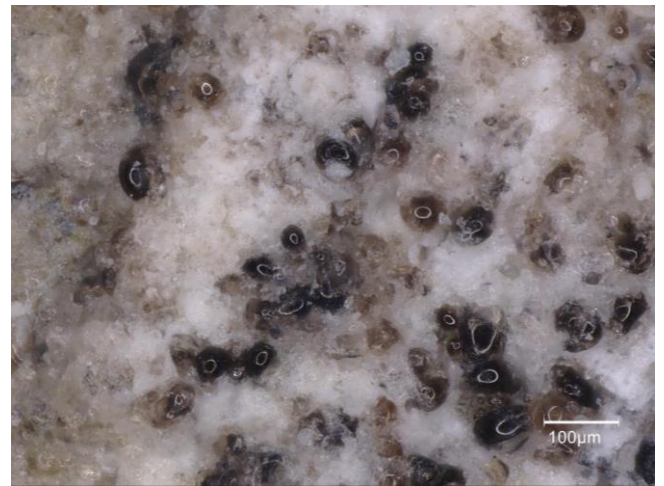
MP 0824.00.000 ПЗ

Арк.

21



д



е

Рисунок 3.2 лист 2 – Покриття, синтезовані на титановому сплаві ВТ 6 за різних робочих режимів (див. таблицю 2.1) (x100):

д – режим № 9;

е – режим № 12

Додавання діатоміту до електроліту та підвищення густини струмів до  $5/5 \text{ А/дм}^2$  дозволяє отримати поверхню, яка містить більшу кількість пор більшого розміру (рисунок 3.1, в).

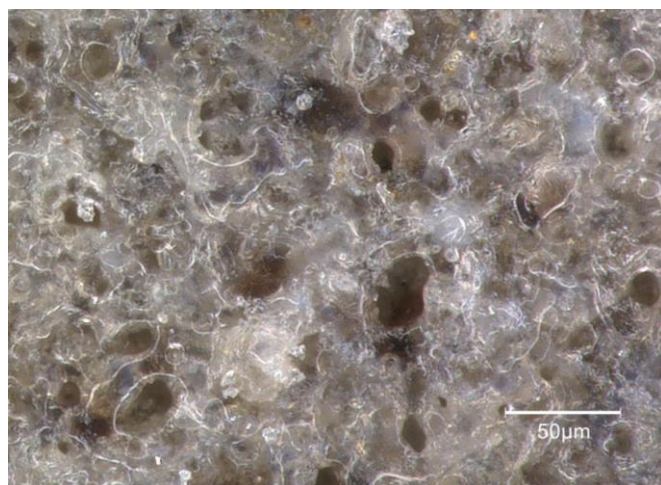
Синтез покриттів за часу реалізації ПЕО протягом 1 години призводить до утворення на поверхні покриття пор великого розміру (рисунок 3.2, е, режим № 12). Також в даному випадку спотерігаються островки світлого оксиду.

На рисунку 3.3 представлено фрактографії покриттів. З отриманих результатів слідує, що покриття, які синтезувались за найбільшого поданого струму на аноді та катоді, а саме  $10/10 \text{ А/дм}^2$  отримається з великими розмірами пор. Такий ефект може бути п ричиною сильного пробою в пазмовому каналі в процесі ПЕО.

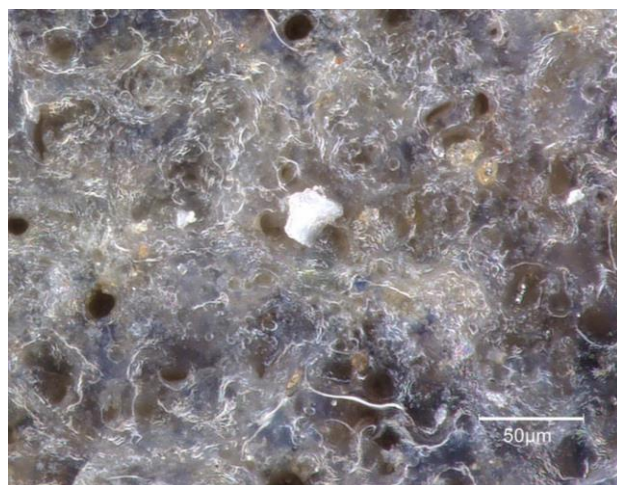
Додавання діатоміту до електроліту (режим №9, рисунок 3.3, д) робить поверхню більш грубою, перекриваючи пори. В такому електроліті великих пор практично не спостерігається.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

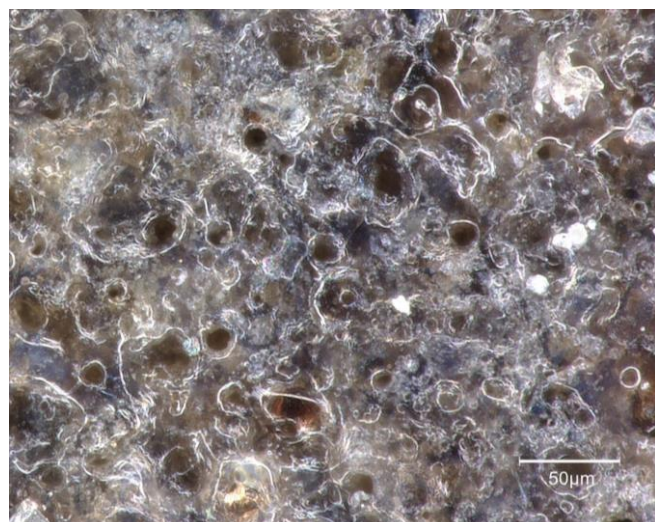
Синтез покриттів за вдвічі довшого часу дозволяє продовжити час нашарування оксиду, що призводить до зростання товщини та шорсткості.



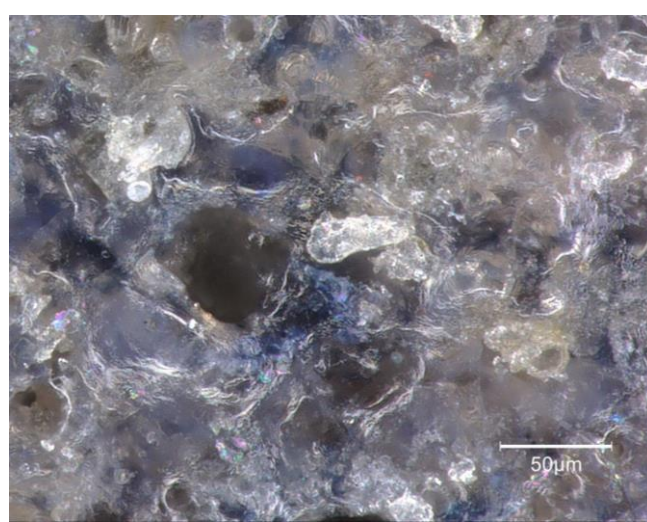
а



б



в



г

Рисунок 3.3, лист 1 – Покриття, синтезовані на титановому сплаві ВТ 6 за різних робочих режимів (див. таблицю 2.1) (x200):

а – режим № 1;

б – режим № 2;

в – режим № 4;

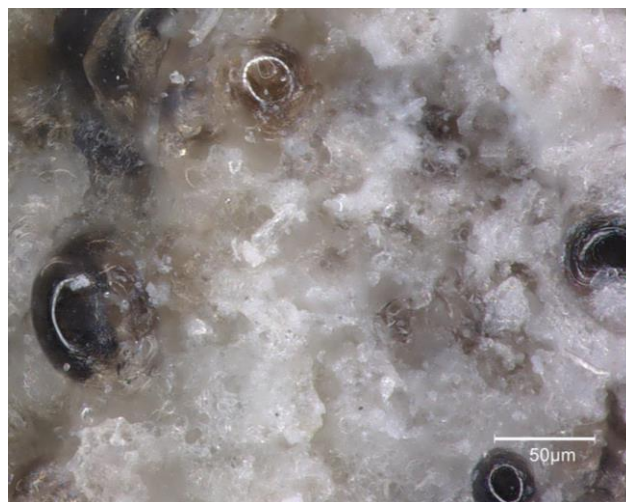
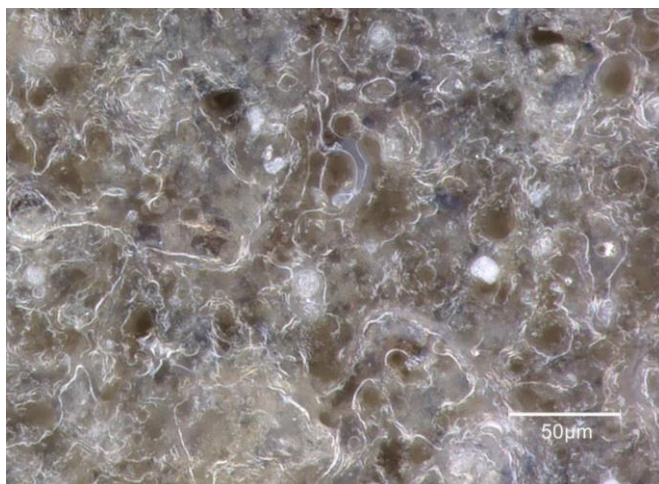
г – режим № 7

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 0824.00.000 ПЗ

Арк.

23



д

е

Рисунок 3.3, лист 2 – Покриття, синтезовані на титановому сплаві ВТ 6 за різних робочих режимів (див. таблицю 2.1) (x200):

д – режим № 9;

е – режим № 12

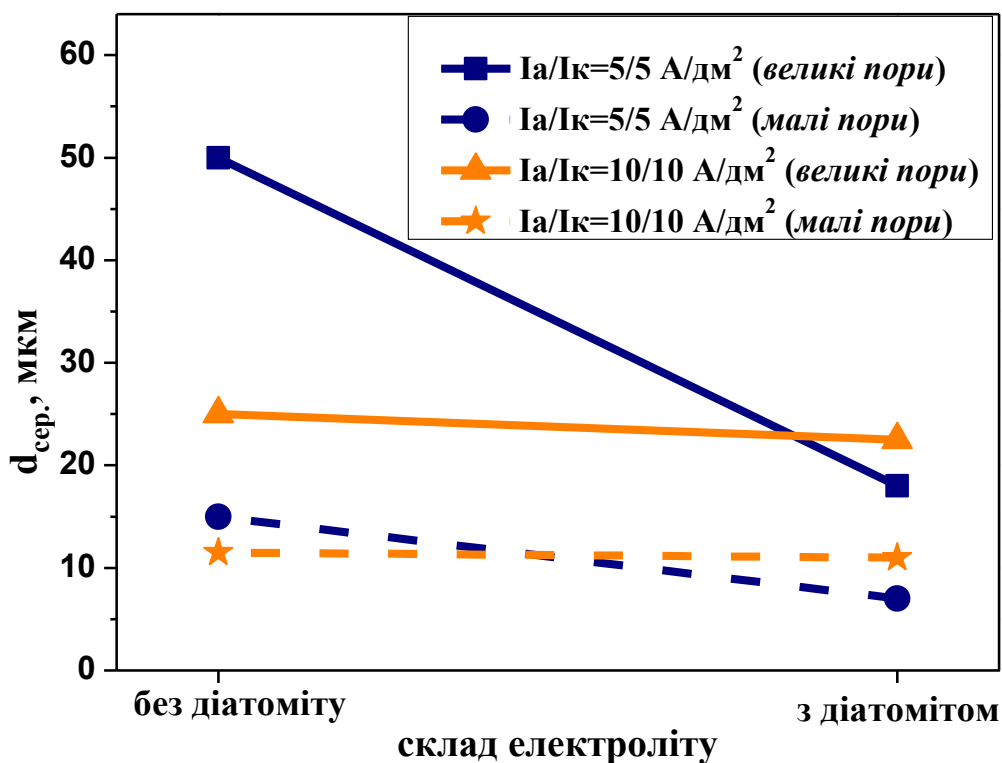


Рисунок 3.4 – Вплив діатоміту та співвідношення густини струмів на розмір поверхневих пор ПЕО-покриття

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

В даному випадку формуються покриття з великим діаметром пор, однак чисельність їх меншою в порівнянні з покриттями, які синтезували на титановому сплаві в електроліті з діатомітом, з меншою густиною струмів ( $5/5 \text{ А/дм}^2$ ) протягом півгодини (режим № 4, рисунок 3.3, в).

Таким чином, в результаті проведених досліджень було встановлено залежність впливу діатоміту на розмір поверхневих пор ПЕО-покриттів, синтезованих на титановому сплаві ВТ 6 (рисунок 3.4).

Представлені результати свідчать про те, що розмір пор на поверхні покриттів сягає від 5 до 50 мкм.

Слід зауважити, що найбільші пори містяться в покритті, яке формувалось в лужному середовищі з фосфатами але без додавання діатоміту. Проте, після обробки титанового сплаву в такому електроліті дозволяє сформувати недостатньо розвинену поверхню, так як кількість пор на поверхні є невеликою. Найменші пори в такому електроліті формуються з розміром 15 мкм.

При поданні на анод та акатод вищих струмів, формуються покриття з розмірами пор, які мають найбільший діаметр 25 мкм, а наймені серед них діаметром 10 мкм.

В середовищі з діатомітом утворюються покриття, які мають діаметр найбільших пор 20...25 мкм, а найменших – 10...12 мкм.

Діаграма розподілу пор на поверхні в залежності від робочого режиму ПЕО представлено на рисунку 3.5.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

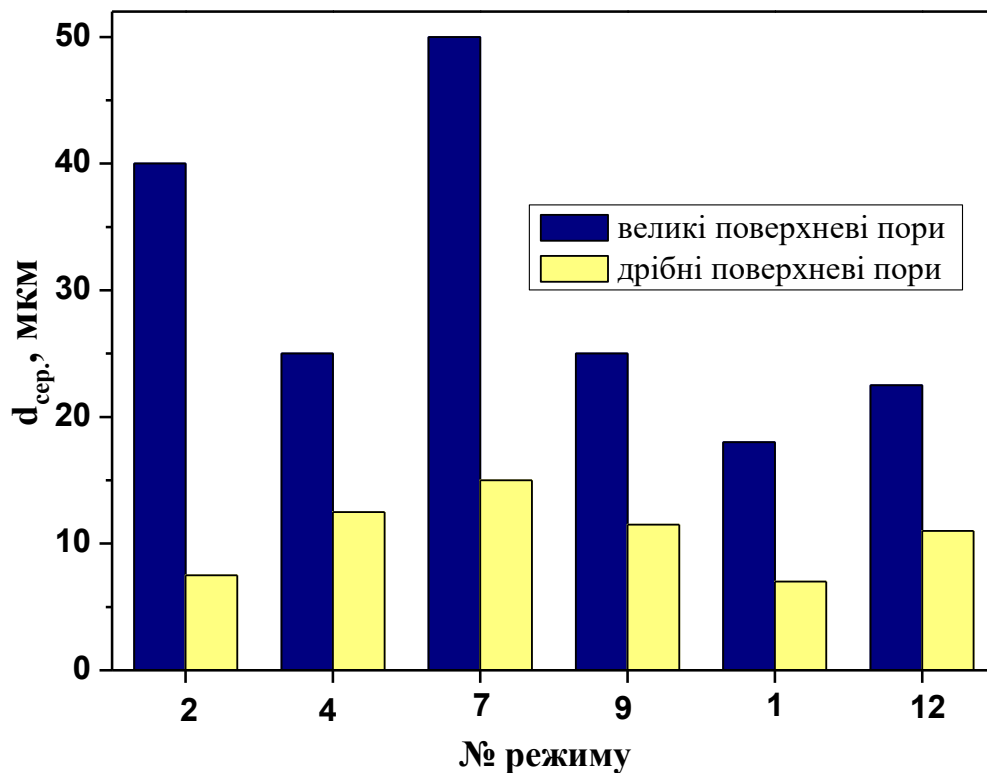


Рисунок 3.5 – Розмір пор на поверхні покриттів (див. режими в таблиці 2.1)

В результаті проведених експериментів визначення пористості поверхні було встановлено, що на кількість та розмір поверхневих пор впливають робочі режими ПЕО. В той же час виявлено, що пористість поверхонь має рівномірний характер. Також встановлено що пористість має кратерний характер, що формує поверхні високої шорсткості.

### 3.3. Шорсткість покриттів, синтезованих за різних режимів

Дослідження шорсткості поверхні дають можливість встановити для такого виду покриттів їх біосумісність, адже вище описано, що імпланти з високою шорсткістю швидше приживляються та допомагають за рахунок цього зменшити час на реабілітаційний період після операції.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

На рисунку 3.6 – 3.9 представлено результати шорсткості ПЕО-покривтів синтезованих на титановому сплаві за різних режимів.

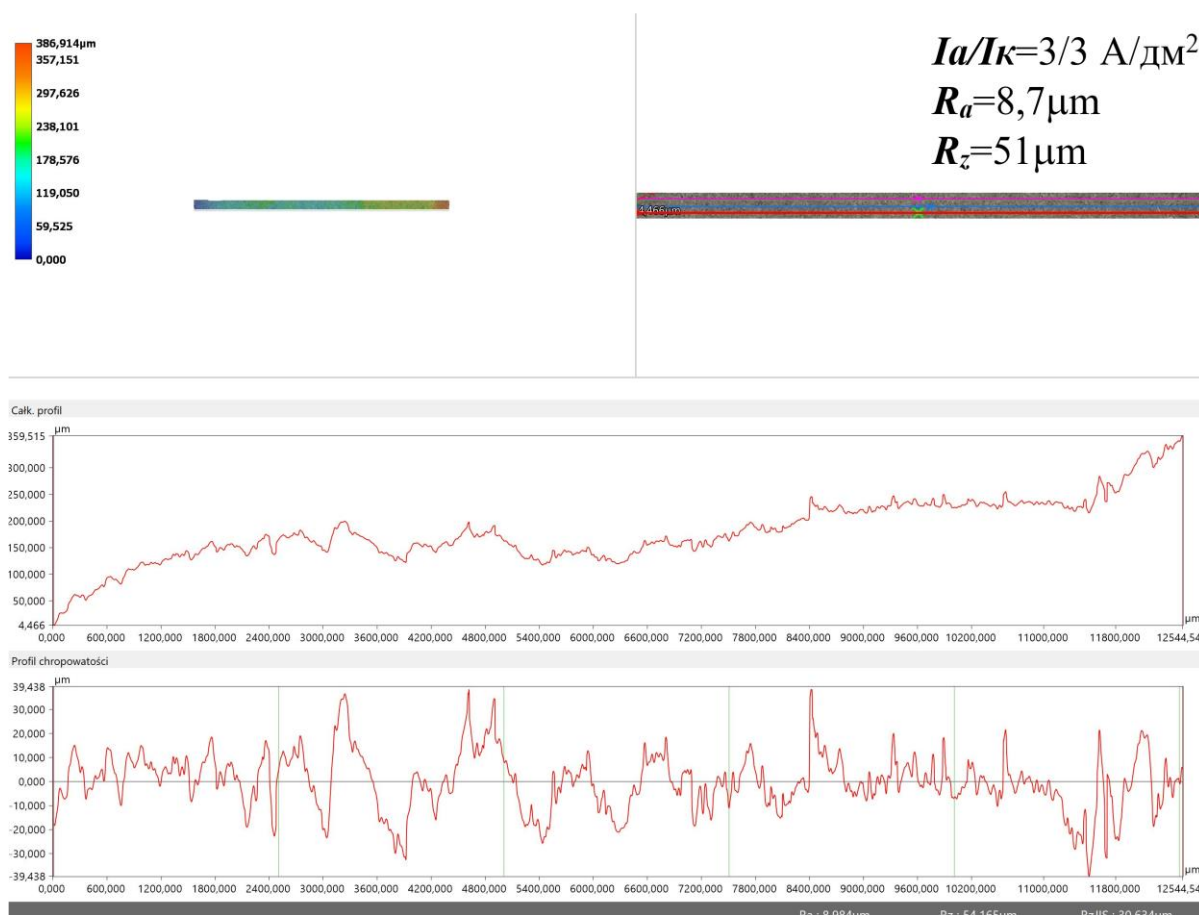


Рисунок 3.6 – Профілограма покриття, синтезовано в електроліті 20 г/л КОН+20 г/л р.с.+20 г/л Ca(OH)<sub>2</sub>+20 г/л Na<sub>6</sub>P<sub>6</sub>O<sub>18</sub>+ 20 г/л Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (див. таблицю 2.1, режим № 1)

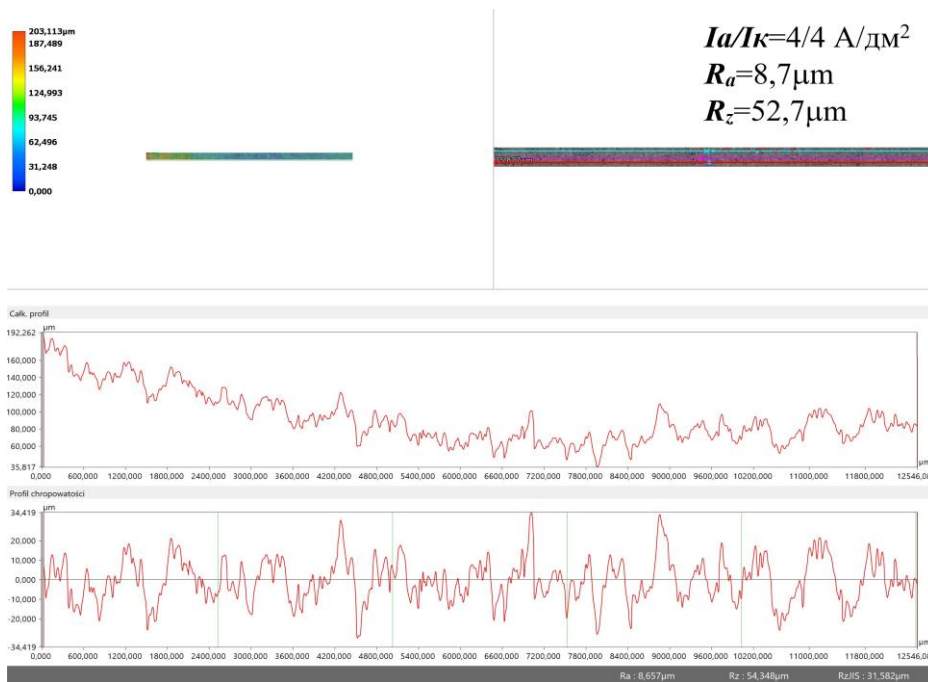
В електроліті, який містить луг та фосфати формуються покриття з середньої шорсткістю Rz=51 мкм, Ra= 8,7 мкм. Підвищивши густину струму до 4/4 А/дм<sup>2</sup> шорсткість поверхні незначно підвищується (рисунок 3.7, а).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

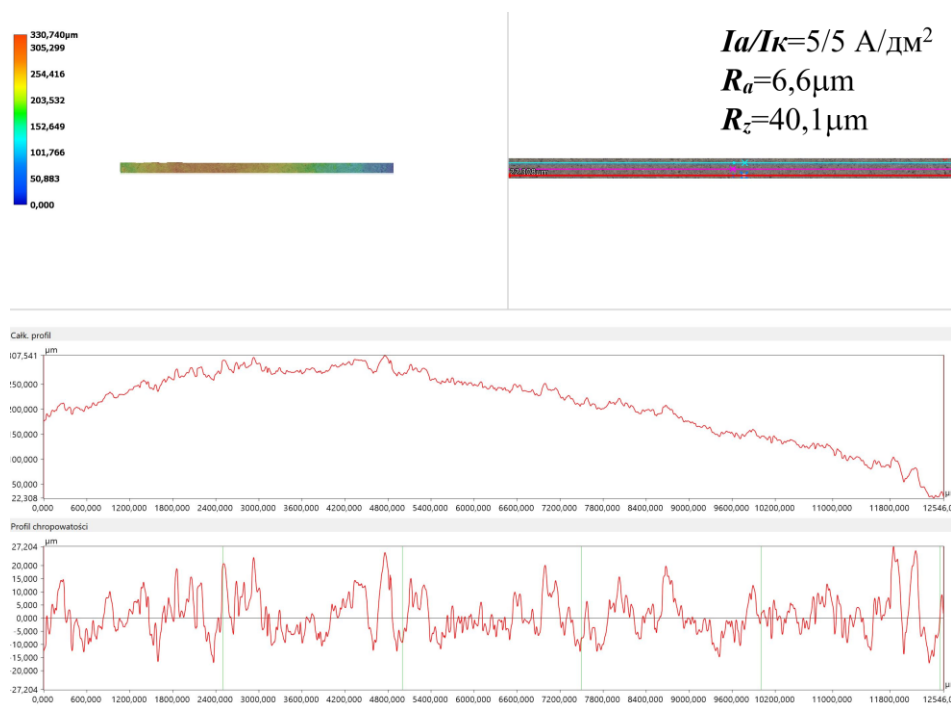
MP 0824.00.000 ПЗ

Арк.

27



а



б

Рисунок 3.7 – Профілограма покриття, синтезовано в електроліті:

а – без діатоміту (див. таблицю 2.1, режим №2);

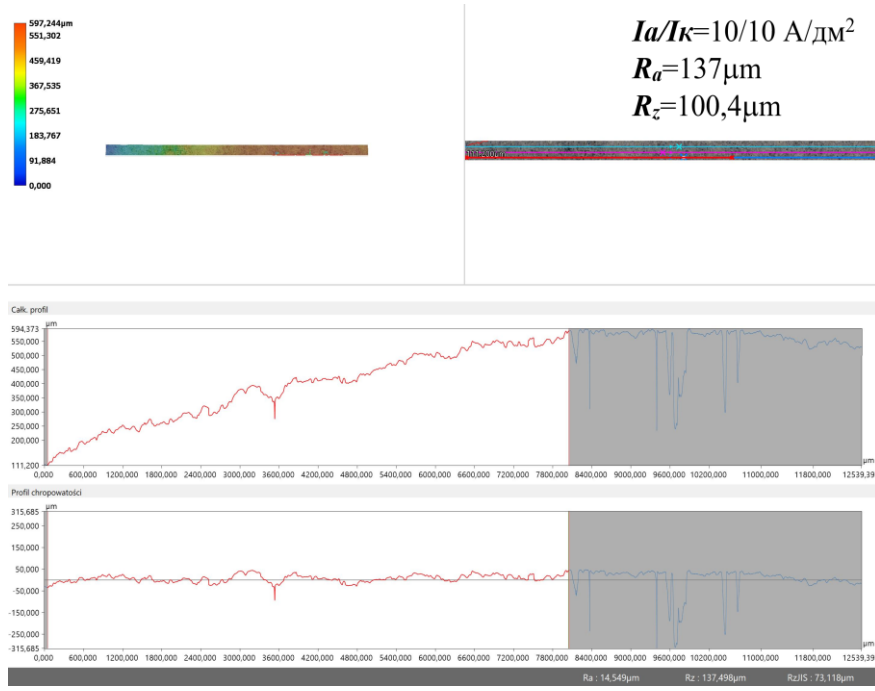
б – з діатомітом (див. таблицю 2.1, режим № 4)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

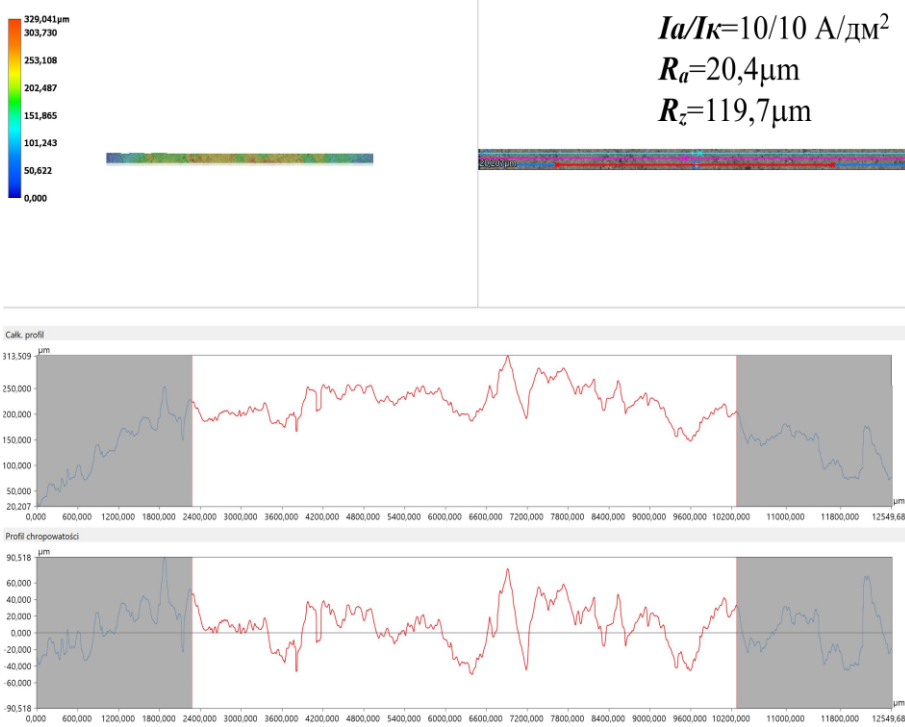
MP 0824.00.000 ПЗ

Арк.

28



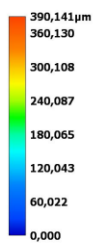
а



б

Рисунок 3.8 – Профілограма покриття, синтезовано в електроліті:

- а – без діатоміту (див. таблицю 2.1, режим № 7);
- б – з діатомітом (див. таблицю 2.1, режим № 9)



$I_a/I_k=10/10 \text{ A/дм}^2$   
 $R_a=42,1 \mu\text{m}$   
 $R_z=239,4 \mu\text{m}$



Рисунок 3.9 – Профілограма покриття, синтезовано в електроліті 20 г/л КОН+20 г/л р.с.+20 г/л Ca(OH)<sub>2</sub>+20 г/л Na<sub>6</sub>P<sub>6</sub>O<sub>18</sub>+ 20 г/л Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> + 20 г/л діатоміту (див. таблицю 2.1, режим № 12)

Введення в електроліт 20 г/л діатоміту та підвищення густини струмів ще на 1 А/дм<sup>2</sup> на аноді і катоді знижує шорсткість поверхні до значення  $R_a=6,6 \text{ мкм}$ ,  $R_z=40,1 \text{ мкм}$ .

Подальше підвищення густини струмів на аноді і катоді дозволяє підвищувати шорсткість покриттів (рисунки 3.8, 3.9).

Найвище значення шорсткості досягається для покриття, яке формувалось протягом години (рисунок 3.9). Обробка титанового сплаву в електроліті з додаванням діатоміту за  $I_a/I_k=10/10 \text{ A/дм}^2$  протягом 30 хв дозволяє отримати покриття з шорсткістю  $R_z=119,7 \text{ мкм}$ . Якщо титановий

сплав оксидувати протягом 1 години, то стає можливим отримати покриття з шорсткістю  $Rz=239,4$  мкм.

Таким чином, отримані результати дають можливість встановити залежність вмісту діатоміту і співвідношення густини струмів на шорсткість синтезованих покриттів. Виявлено, що додавання до електроліту діатоміту в кількості 20 г/л дозволяє отримати поверхню з широко розвиненою морфологією. Такий ефект позитивно впливає на біосумісність та остеointegraцію ПЕО-покриттів.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 4.1. Безпека роботи з високовольтним обладнанням

«Електрику високої напруги можна використовувати для багатьох цілей, від виробництва електроенергії до живлення промислових установок. Коли електрика досягне кінцевої стадії, її можна використовувати в промислових цілях. Електрику високої напруги слід тримати подалі від людей і навколишнього середовища, щоб уникнути випадкового пошкодження та ураження струмом. Його можна безпечно транспортувати за допомогою ізольованих шлангів. Коли потужність досягає кінцевого пункту призначення, її можна використовувати для електричних пристроїв. Електрика високої напруги може призвести до нещасних випадків на виробництві та призвести до фізичної шкоди та потенційної загрози безпеці, а також коштувати підприємствам великі суми грошей. Електрика високої напруги є небезпечною силою, яка може завдати шкоди людям і майну навколо. Щоб бути безпечним і ефективним, електрика високої напруги повинна регулюватися та перебувати під наглядом. Це гарантує, що рівні потужності зберігаються в безпеці та в межах затверджених промисловістю параметрів. Використання високовольтної електроенергії можна регулювати установкою автоматичного вимикача» [44].

Важливо пам'ятати, що більшість травм і смертельних випадків, пов'язаних із електрикою, спричинені не високою напругою, а скоріше несправною чи небезпечною електропроводкою.

При роботі з високою напругою важливо дотримуватися заходів безпеки, щоб уникнути травм. Завжди використовуйте відповідне обладнання безпеки, включаючи рукавички, щиток для обличчя та заземлюючий ремінь. Якщо ви працюєте з високовольтним обладнанням у замкнутому просторі,

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

завжди необхідно використовувати належний роздільний трансформатор. Працюючи з високою напругою, важливо вжити ряду заходів безпеки, щоб забезпечити безпеку вам і вашій команді.

«Завжди необхідно використовувати відповідні засоби безпеки, включаючи відповідні рукавички, захисні окуляри та щиток для обличчя.

Під час роботи з високою напругою завжди використовуйте заземлений страхувальний ланцюг або кабель.

Необхідно бути обережним, працюючи поблизу високовольтних ліній електропередач, завжди необхідно триматися на безпечній відстані від високовольтного обладнання, дотримуватися інструкцій з безпеки, наданих вашою компанією чи організацією.

Крім того, такі заходи можуть зменшити ризик ураження електричним струмом:

«Ніколи не можна торкатися проводу під напругою або електричного обладнання мокрими або голими руками, оскільки це може зробити шкіру чутливою до електрики» [44].

Завжди необхідно користуватись рукавичками або чимось подібним, щоб шкіра не торкалася дроту чи обладнання. Не можна носити одяг, який вільний навколо грудей і талії, коли працюєте поблизу електрики чи води. Вільний одяг може зачепити дріт або електричний кабель, які можуть торкнутися шкіри.

Завжди потрібно переконавшись, що напруга на схемній коробці відповідає правильній напрузі.

«Працюючи з будь-якою електрикою, ніколи не можна контактувати з нею, якщо працівник має поганий настрій або знаходиться в терміні вагітності.

Працюючи біля водонагрівача або коробки живлення, необхідно надягати рукавички. Витратьте час на встановлення пристроїв безпеки, таких як захисні вимикачі, автоматичні вимикачі або заземлюючі стрижні» [44].

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

«Для безпечного використання джерела живлення важливо дотримуватися правил безпеки. Використовуючи джерело живлення, переконайтеся, що ви не наражаєте себе на небезпеку. Тому важливо переконатися, що ви виконуєте безпечні дії, щоб убезпечити себе під час використання джерела живлення. Необхідно звернути увагу на наступну інформацію щодо безпеки: електрик повинен працювати в безпечному місці, усі автоматичні вимикачі повинні охоронятися та підтримуватися в належному робочому стані, лише кваліфікований персонал-електрик має працювати з будь-яким обладнанням або частинами, які можуть становити небезпеку, усі з'єднання повинні бути належним чином заземлені, усі електромонтажні роботи слід виконувати безпечним способом, убезпечивши себе від ураження електричним струмом та опіків, будь-яка робота з обладнанням високої напруги повинна проводитися під керівництвом кваліфікованого підрядника з електрики або електрики/механіки, електрика або іншого навченого персоналу. Перед купівлею, встановленням або ремонтом необхідно перевірити все обладнання та належним чином ізолювати всі проводи та кабелі живлення. Ніколи не вимикати джерело живлення, не визначивши, чи потребує обладнання ремонту чи заміни, ніколи не торкатися будь-яких компонентів джерела живлення або системи розподілу електроенергії голими руками, включаючи, але не обмежуючись, електричні компоненти, клеми або з'єднання. Ніколи не працювати з будь-яким джерелом живлення чи системою розподілу електроенергії, тримаючи або торкаючись частини обладнання. Необхідно використовувати лише схвалені, непровідні та немагнітні робочі рукавички, які надаються виробником будь-якого джерела живлення. Не можна ремонтувати, працювати, модифікувати та торкатися до будь-якого обладнання належним чином у робочих рукавицях, що не проводять струм і магнітні поля.

Необхідно перевірити всі з'єднання в приміщенні (лабораторії, робочій ділянці), перш ніж дозволити комусь увійти туди» [44].

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

«Не можна торкатися будь-якого джерела електроенергії чи системи, якщо вони не були попередньо перевірені та повірені. Ніколи не можна працювати з будь-яким джерелом живлення чи системою розподілу електроенергії, тримаючи або торкаючись частини обладнання» [44].

#### 4.2. Робота з хімічними реактивами

«Хімія була частиною нашого життя, підтримуючи багато галузей промисловості, запобігаючи багатьом хворобам і контролюючи їх, а також підвищуючи продуктивність сільського господарства. Однак не можна заперечувати, що неправильне використання багатьох із цих хімічних речовин може завдати шкоди нашому здоров'ю та навколишньому середовищу. За оцінками, тисячі нових препаратів виходять на ринок щороку, і 100 000 препаратів використовуються у всьому світі. Ці хімікати часто додають до комерційних продуктів. У більшості розвинених країн існує від одного до двох мільйонів таких продуктів або торгових назв.

Надлишок матеріалів і виробничих залишків означає більше зберігання, транспортування, пакування, використання хімікатів і переробки. Оцінюючи ризики та переваги, необхідно враховувати весь життєвий цикл хімічної речовини.

Жодна хімічна речовина не може викликати негативних наслідків, не потрапивши в організм або не контактуючи з ним. Існує три основні шляхи, тобто шляхи потрапляння хімічних речовин в організм людини: інгаляція (вдих), всмоктування (через шкіру або очі), проковтування (їжа, ковтання).

Небезпечні речовини можуть викликати місцеві ефекти. Гострі місцеві наслідки можуть включати корозійні пошкодження від кислот і лугів або пошкодження легенів від вдихуваних газів, таких як озон, фосген і оксиди азоту» [45].

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Багато інших газів викликають несприятливі наслідки лише після їх багаторазового вдихання протягом тривалого періоду часу. Низькі концентрації газу також можуть бути ефективними в цьому випадку. Стійке подразнення дихальної системи може виникнути внаслідок впливу таких газів, як оксиди сірки, фтористий водень і хлористий водень.

«Після того, як небезпечна речовина потрапила в кровообіг, вона може поширюватися по всіх частинах тіла. Він потрапляє до печінки, яка є найважливішим органом детоксикації організму. Печінка намагається перетворити токсичні речовини на менш токсичні або на корисні для організму. Цей процес називається метаболізмом. Деякі речовини, такі як алкоголь і чотирихлористий вуглець, можуть пошкодити печінку. Організм виводить небажані хімічні речовини. Нирки фільтрують їх із кровообігу, який є основним способом виведення отрут з організму, але при цьому вони можуть бути пошкоджені такими токсичними речовинами, як чотирихлористий вуглець, етиленгліколь і сірковуглець. Кадмій викликає стійке пошкодження нирок» [45].

Інші шляхи виведення - через фекалії, піт і видих легенями.

Нервова система чутлива до хімічних речовин. Побічні ефекти можуть виникати на центральній нервовій системі або на нервах, які транспортують імпульси до інших частин тіла. Органічні розчинники зазвичай використовуються на роботі, і відомо, що вони здатні впливати на нервову систему. Багато інших речовин можуть поводитися так само, як сірковуглець, ртуть, свинець, марганець і миш'як.

«Наш організм має значну здатність виводити, знешкоджувати небезпечні речовини та захищати нас. Однак наша захисна система може бути перевантажена через повторний інтенсивний вплив, так що вона більше не виконує своїх функцій. Організм накопичує шкідливі речовини, що може призвести до проблем зі здоров'ям.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Метали можуть потрапляти в організм у вигляді пилу та диму (під час шліфування чи зварювання) або навіть через шкіру.

Гідроксиди натрію і калію використовують, наприклад, у гарячих знежирюючих ваннах для очищення металів» [45].

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

## ВИСНОВКИ

Дана робота присвячена підвищенню шорсткості поверхні титанових покриттів, синтезованих методом плазмоелектролітного оксидування в лужних електрлітах.

В результаті проведених експериментів можна зробити наступні висновки:

Змінюючи співвідношення густини струмів  $I_a/I_k$  та додавання діатоміту в кількості 20 г/л можна регулювати пористістю покриттів:

1. Встановлено, що в середовищі без діатоміту за  $I_a/I_k=5/5$  А/дм<sup>2</sup> розмір великих пор складає 50 мкм, а при  $I_a/I_k=10/10$  А/дм<sup>2</sup> розмір великих пор дорівнює 35 мкм.

2. Виявлено, що за  $I_a/I_k =5/5$  А/дм<sup>2</sup> отримуються покриття з розміром великих пор 18 мкм, в той час як підвищення густини струмів до  $I_a/I_k=10/10$  А/дм<sup>2</sup> з розміром великих пор дорівнює 25 мкм.

3. Підвищення густини струмів від значень  $I_a/I_k=4/4$  А/дм<sup>2</sup> до  $I_a/I_k=10/10$  А/дм<sup>2</sup> дає можливість сформувати покриття з шорсткістю від значення  $R_z=52,7$  мкм до 100,4 мкм.

4. Додавання до електроліту діатоміту дає можливість підвищити шорсткість покриттів до значення  $R_z=119,7$  мкм.

5. Довший час оксидування титанового сплаву в електроліті з діатомітом призводить до зростання шорсткості покриттів. Так, за 30 хв синтезу утворюються покриття з  $R_z=119,7$  мкм, а при застосуванні поверхневої обробки протягом 1 години шорсткість покриттів зростає вдвічі.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://blog.keronite.com/surface-coatings-for-valve-and-alternative-light-metals>
2. I. Milne, U.K. Matlock, R.O. Ritchie, B. Karihaloo, Y.W. Mai (eds.) Structural integrity management. Comprehensive Structural Integrity, Vol. 9 Teoh SH. Failure in biomaterials (2007), pp. 1–30
3. J. Williams, Potential improvement of the impact strength of hybrid fiber reinforced polymers using graded layered woven composite core and elastomeric. Acad. Lett. (2021). <https://doi.org/10.20935/AL1953>
4. A. Liu, M. Sun, H. Shao, X. Yang, Outstanding mechanical response and bone regeneration capacity of Robocast dilute magnesium-doped Wollastonite scaffolds in critical size bone defect. J. Mater. Chem. 4, 3945–3958 (2016)
5. F. Dormont, M. Varna, P. Couvreur, Nanoplumber: biomaterials to fight cardiovascular diseases. Mater. Today 21, 122–143 (2018)
6. J. Cohen, The American Journal of Surgery 114 (1967) 31–41.
7. C. Elgood, A medical history of Persia and the Eastern Caliphate: From the earliest times until the year AD 1932, Cambridge University Press, 2010
8. L. L. Hench, Journal of Materials Science: Materials in Medicine 17 (2006) 967–978
9. U. Breine, P.-I. Brånemark, Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery 14 (1980) 23–48.
10. R. E. Hummel. Understanding materials science. Springer-Verlag New York, Inc., USA, 2004, p. 36
11. E. Opila. High temperature materials corrosion challenges for energy conversion technologies. The electrochemical Society Interface, Winter 2013, pp. 69–73.
12. B. Riou et al. Issues in reactor pressure vessel materials. 2nd International

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, 2004

13.A.Zahs, M.Spiegel, H.Grabhe, Chloridation and oxidation of iron, chromium, nickel and their alloys in chloridizing and oxidizing atmospheres at 400-700 °C, *Corr. Sc.* 2000, 42, 6, pp.1093–1122.

14.G. S. Was. *Fundamentals of Radiation Materials Science: Metals and alloys.* Springer Verlag, 2007, The materials information society. ASM international, Materials Park, OH 44073-0002, ISBN: 978-3-540-49471-3

15.M. Rühle, U. Salzberger and E.Schumann. High resolution transmission microscopy of metal/metal oxide interfaces. In *microscopy of oxidation 2.* Eds. S.B.Newcomb and M.J. Bennett, London, Uh, The institute of Materials, 1993, p.2

16.D. R. Gaskell. *Introduction the thermodynamics of materials*, 3rd edn, Taylor and Francis, Washington, DC, 1995.

17.M. Hillert. The uses of Gibbs free energy–composition diagrams. In *Lectures on the Theory of Phase Transformations*, 2nd edn., H. I. Aaronson (Ed.), The Minerals, Metals and Materials Society, Warrendale, PA, 1999.

18. D. M. Smyth. *The defect chemistry of metal oxides.* Oxford University Press, Oxford, 2000.

19.A.S.Khanna. *Introduction to high temperature oxidation and corrosion.* ASM International. ] S.C.Kung, Formation of a chromium-carbide conversion coating on silicon carbide , *Oxid. Met.* 1999, 5,516, pp. 191-203.ISBN:0-87170-762-4. The materials information society.

20.C.M.Cotell, G.J.Yurek, R.J.Hussey, D.F.Mitchell, M.J.Graham. The influence of grain boundary segregation of Y in Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the oxidation of metals. 1990, 34,3pp.173–200.

21.J. Liang, B.G. Guo, J. Tian, H.W. Liu, J.F. Zhou, W.M. Liu, T. Xu, *Surf. Coat. Technol.* 199 (2005) 121.

22.S.J. Xia, R. Yue, R.G. Rateick Jr., V.I. Birss, *J. Electrochem. Soc.* 151 (3) (2004) B179.

23.H. Duan, C. Yan, F. Wang, *Electrochim. Acta* 52 (2007) 5002.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. K. Tillous, T. Toll-Duchanoy, E. Bauer-Grosse, L. Hericher, G. Geandier, Surf. Coat. Technol. 203 (2009) 2969.
25. J.A. Curran, T.W. Clyne, Surf. Coat. Technol. 199 (2005) 168.
26. P. Huang, F. Wang, K.W. Xu, Y. Han, Surf. Coat. Technol. 201 (2007) 5168.
27. M. Shokouhfar, C. Dehghanian, A. Baradaran, Appl. Surf. Sci. 257 (2011) 2617.
28. S. Stojadinovic, R. Vasilic, M. Petkovic, Z. Nedic, B. Kasalica, I. Belca, Lj. Zekovic, Electrochim. Acta 55 (2010) 3857.
29. G. Sundararajan, L. Rama Krishna, Surf. Coat. Technol. 167 (2003) 269.
30. W.D. Brewer, R.K. Bird, T.A. Wallace, Mater. Sci. Eng. A 243 (1998) 299.
31. C. Leyens, M. Peters, Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2003.
32. Z.Q. Yao, Yu. Ivanisenko, T. Diemant, A. Caron, A. Chuvilin, J.Z. Jiang, R.Z. Valiev, M.
33. Qi, H.J. Fecht, Acta Biomater. 6 (2010) 2816.
34. Aliasghari, S., Skeldon, P., & Thompson, G.E. (2014). Plasma electrolytic oxidation of titanium in a phosphate/silicate electrolyte and tribological performance of the coatings. Applied Surface Science, 316, 463-476.
35. Babaei K., Fattah-alhosseini A., & Molaei M. (2020). The effects of carbon-based additives on corrosion and wear properties of plasma electrolytic oxidation (PEO) coatings applied on aluminum and its alloys: A review. Surfaces and Interfaces, 21, article number 100677.
36. Bocchetta P., Chen L.-Y., Tardelli J.D.C., dos Reis A.C., Almeraya-Calderón, F., & Leo, P. (2021). Passive layers and corrosion resistance of biomedical Ti-6Al-4V and  $\beta$ -Ti alloys. Coatings, 11(5), article number 487.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

37. Elias, L.M., Schneider, S.G., Schneider, S., Silva, H.M., & Malvisi, F. (2006). Microstructural and mechanical characterization of biomedical Ti–Nb–Zr(–Ta) alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 432(1-2), 108-112.

38. Fakhri Nabavi, H., & Aliofkhaezraei, M. (2019). Morphology, composition and electrochemical properties of bioactive-TiO<sub>2</sub>/HA on CP-Ti and Ti6Al4V substrates fabricated by alkali treatment of hybrid plasma electrolytic oxidation process (estimation of porosity from EIS results). *Surface and Coatings Technology*, 375, 266-291.

39. Fakhri Nabavi, H., Aliofkhaezraei, A., & Sabour Rouhaghdam, A. (2017). Electrical characteristics and discharge properties of hybrid plasma electrolytic oxidation on titanium. *Journal of Alloys and Compounds*, 728, 464-475.

40. Geetha, M., Singh, A.K., Asokamani, R., & Gogia, A.K., (2009). Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – a review. *Progress in Materials Science*, 54(3), 397-425.

41. Imbriovych, N.Y., Zvirko, O.I., & Kurzydowski, K.-J. (2023). Morphology and porosity of the surface of titanium alloys after plasma-electrolytic oxidation in an alkaline environment with diatomite. *Materials Science*, 59(4), 451-458.

42. Han, J.; Wu, M.; Ge, Y.; Wu, J. Optimizing the structure accuracy by changing the scanning strategy using selective laser melting. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018, 95, 4439–4447.

43. Sadali, M.F.; Hassan, M.Z.; Ahmad, F.; Yahaya, H.; Rasid, Z.A. Influence of selective laser melting scanning speed parameter on the surface morphology, surface roughness, and micropores for manufactured Ti6Al4V parts. *J. Mater. Res.* 2020, 35, 2025–2035.

44. <https://nistglobal.com/blog/2022/08/safety-precautions-when-working-with-high-voltage-electricity/>

45. ILO, International Labour Organisation, Code of Practice: Safety in the Use of Chemicals at Work, Geneva 1993.

					MP 0824.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42