

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Матеріалознавства і технології металів

Гарант освітньої програми

к.т.н., доц. **А. А. Карпеченко**

«24» грудня 2024 р.



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти **«магістр»**

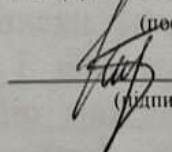
на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ
ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБНИХ КЕРАМІЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ»**

Виконав: студент групи 6131м

 **Січак С.М.**
(підпис)

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

(посада, науковий ступень, вчене звання)
 **Карпеченко А.А.**
(підпис)

Миколаїв – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Інститут, факультет: Кораблебудівний науково-навчальний інститут

Кафедра: Матеріалознавства і технології металів

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Напрямок підготовки: 132 – Матеріалознавство

(шифр і назва)

Спеціальність: 6.050403 «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»

(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри
матеріалознавства і технології металів
д.т.н., проф. Дубовий О.М.
“___” _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Січаку Степану Миколайовичу

1. Тема проекту (роботи): «Дослідження та удосконалення технології виготовлення зубних керамічних імплантатів»

Керівник проекту (роботи): Карпеченко Антон Анатолійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “___” _____ 2024 року №___

2. Строк подання студентом проекту (роботи): “___” _____ 2024 року.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Креслення конструкції зубного імплантату.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналіз сучасного стану і перспективи розвитку технологій виготовлення зубних імплантатів; 2. Вибір матеріалу, конструкції та методу нанесення спеціального покриття на зубний імплантат для поліпшення остеointegraції; 3. Дослідження режиму нанесення на структуру та властивості покриття отриманого на імплантаті; 4. Розробка технологічних рекомендацій щодо нанесення покриття на зубний імплантат; 5. Організація виробництва на ділянці нанесення покриттів; 6. Розробка заходів щодо

охорони праці та навколишнього середовища при нанесенні покриттів; 7. Загальні висновки по роботі; 8. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення зубного імплантату (1). Плакати: 1. Титульна сторінка; 2. Мета та завдання дипломної роботи; 3. Аналіз сучасного стану і перспективи розвитку технологій виготовлення зубних імплантатів; 4. Вибір матеріалу; 5. Гідроксиапатит; 6. Мікроплазмове напилення біокерамічних покриттів; 7. Стоматологічні імплантати; 8. Результати дослідження мікроструктури та фазового складу мікроплазмового покриття з гідроксиапатиту; 9. Розробка технологічних рекомендацій щодо нанесення покриттів на зубний імплантат; 10. Загальні висновки по роботі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Карпеченко А.А. доцент	16.09	
2	Карпеченко А.А. доцент	07.10	
3	Карпеченко А.А. доцент	28.10	
4	Карпеченко А.А. доцент	11.11	
5	Карпеченко А.А. доцент	25.11	
6	Карпеченко А.А. доцент	09.12	

7. Дата видачі завдання: “16” вересня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз сучасного стану і перспективи розвитку технологій виготовлення зубних імплантатів	07.10.2024	
2	Вибір матеріалу, конструкції та методу нанесення спеціального покриття на зубний імплантат для поліпшення остеоінтеграції	28.10.2024	
3	Дослідження режиму нанесення на структуру та властивості покриття отриманого на імплантаті	11.11.2024	
4	Розробка технологічних рекомендацій щодо нанесення покриття на зубний імплантат	25.11.2024	
5	Організація виробництва на ділянці нанесення покриттів	09.12.2024	
6	Розробка заходів щодо охорони праці та навколишнього середовища при нанесенні покриттів	16.12.2024	
7	Складання змісту, загальних висновків по роботі та списку використаної літератури	20.12.2024	
8	Оформлення графічного матеріалу	20.12.2024	

Студент _____ Січак С.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Карпеченко А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
АННОТАЦІЯ	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБНИХ ІМПЛАНТАТІВ.....	7
1.1 Сучасні методи виготовлення зубних імплантатів.....	7
1.2 Використання та вплив матеріалів на біосумісність імплантатів	13
1.3 Перспективи розвитку технологій виготовлення	17
1.3.1 Перспективи досліджень у галузі біоматеріалознавства	19
Висновки до розділу 1, мета та завдання роботи.....	20
РОЗДІЛ 2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ, КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДУ НАНЕСЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ НА ЗУБНИЙ ІМПЛАНТАТ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ОСТЕОІНТЕГРАЦІЇ.....	7
2.1 Застосовувані матеріали	7
2.2 Застосовуване обладнання для напилення	9
2.3 Методика дослідження	12
Висновки до розділу 2	14
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ НАНЕСЕННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТЯ ОТРИМАНОГО НА ІМПЛАНТАТІ	6
3.1 Гідроксиапатит – структура та основні властивості	6
3.2 Вплив термічного циклу при одношаровому нанесенні	9
3.2 Розрахунковий аналіз температурно-часових параметрів при плазмовому напиленні	12
3.4 Вплив термічного циклу при багатошаровому напиленні	14
3.5 Розробка процесу нанесення покриття на зубний імплантат	16
Висновки до розділу 3	21
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ НА ЗУБНИЙ ІМПЛАНТАТ	22
4.1 Вибір параметрів для нанесення покриття	22

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Підготовка поверхні імплантату перед нанесенням покриття	24
4.3 Вплив термічного циклу на якість і властивості одношарового покриття	26
Висновки до розділу 4	29
РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА НА ДІЛЬНИЦІ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ.....	6
5.1 Міжнародні стандарти у виробництві зубних імплантатів	6
5.2 Національні стандарти України у виробництві зубних імплантатів	7
Висновки до розділу 5	7
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ НАНЕСЕННІ ПОКРИТТІВ.....	6
6.1 Потенційні небезпеки та ризики при роботі з гідроксиапатитом	6
6.2 Основні причини нещасних випадків	7
6.3 Рекомендації щодо охорони праці	7
6.4 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на персонал під час виготовлення та нанесення покриттів.....	8
Загальні висновки.....	7
Список використаних джерел	6

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ГА – гідроксиапатит
- Са – кальцій
- PO₄ – ортофосфатна група
- OH – гідроксильна група
- CO₃ – карбонатна група
- Zn – цинк
- Mg – магній
- Cu – мідь
- SEM – скануюча електронна мікроскопія
- ISO – Міжнародна організація зі стандартизації
- ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Січак С.М.			АННОТАЦІЯ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник		Карпенченко А.А.									
Консультант		Карпенченко А.А.						НУК			
Н. Контр.											
Зав. каф.		Дубовий О.М.									

АННОТАЦІЯ

Дипломна робота містить: 78 аркушів, 6 розділів, 12 рисунків, 10 таблиці, 1 креслення, 10 плакатів, 19 джерел інформації.

Об'єкт дослідження – плазмові напиленні покриття з гідроксиапатиту.

Мета дипломної роботи – дослідження та удосконалення технології виготовлення зубних імплантатів шляхом застосування покриттів з гідроксиапатиту для поліпшення остеоінтеграції.

Методи дослідження – комп'ютерна металографія, растрова електронна металографія та спектральний аналіз, фізичні та механічні властивості.

Дослідження полягає в вивченні можливості отримання плазмових покриттів з гідроксиапатиту, встановлення оптимальних параметрів режиму їх напилення для отримання заданої структури та визначення фізико-механічних властивостей.

У роботі розроблені технологічні рекомендації щодо отримання плазмових покриттів з гідроксиапатиту, спроектовано ділницю для їх нанесення та розглянуто питання щодо охорони праці та навколишнього середовища.

Ключові слова: гідроксиапатит (ГА), біосумісність, остеоінтеграція, плазмове напилення, мікроструктура, стоматологічні імплантати, біоактивні матеріали.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANNOTATION

The thesis contains: 78 sheets, 6 sections, 12 figures, 10 tables, 1 drawing, 10 posters, 19 sources of information.

The object of the study is plasma-deposited coatings of hydroxyapatite.

The purpose of the thesis is to study and improve the technology of manufacturing dental implants by using coatings of hydroxyapatite to improve osseointegration.

Research methods are computer metallography, raster electronic metallography and spectral analysis, physical and mechanical properties.

The study consists in studying the possibility of obtaining plasma coatings of hydroxyapatite, establishing the optimal parameters of their spraying mode to obtain a given structure and determining physical and mechanical properties.

The work develops technological recommendations for obtaining plasma coatings of hydroxyapatite, designs a site for their application, and considers issues of labor protection and the environment.

Keywords: hydroxyapatite (HA), biocompatibility, osseointegration, plasma spraying, microstructure, dental implants, bioactive materials.

					132. 6131М. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.					РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБНИХ ІМПЛАНТАТІВ				Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник												
Консультант									НУК			
Н. Контр.												
Зав. каф.		Дубовий О.М.										

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБНИХ ІМПЛАНТАТІВ

1.1 Сучасні методи виготовлення зубних імплантатів

Сучасні технології виготовлення зубних імплантатів постійно вдосконалюються, що дозволяє забезпечити високу якість, біосумісність та естетичність виробів. Виробництво імплантатів включає в себе різноманітні методи, які можна класифікувати на традиційні та інноваційні.

Традиційні методи виготовлення

Традиційні методи виготовлення зубних імплантатів мають глибокі корені в стоматологічній практиці і продовжують використовуватися поряд з новітніми технологіями. Ці методи забезпечують надійність і перевірену ефективність, що робить їх важливими для виробництва імплантатів, які відповідають високим стандартам якості. Основні традиційні методи включають фрезерування, лиття та обробку.

Фрезерування – є одним із найбільш поширених методів виготовлення зубних імплантатів. Цей процес передбачає механічну обробку титанових або цирконієвих блоків за допомогою фрезерних верстатів. На рис. 1.1. зображено зубний імплант металевого виробу.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Зубний імплант [7]

Блоки матеріалу закріплюються на верстаті, а фреза обробляє їх, створюючи необхідну форму та розміри імплантату. Фрезерування дозволяє досягти високої точності, що є критично важливим для правильної інтеграції імплантату в кісткову тканину.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки фрезерування

Переваги	Недоліки
Фрезерування дозволяє досягти високого рівня точності, що критично важливо для виготовлення імплантів, які повинні ідеально відповідати анатомічним вимогам пацієнта. фрезерування дозволяє обробляти матеріали різних типів, таких як титан, та створювати складні форми з високою деталізацією. Хоч процес обробки може бути складним, він все одно забезпечує відносно швидке виготовлення імплантів при високій точності, що важливо для масштабного виробництва.	Витрати на обладнання та обробку можуть бути значними, а також можливість утворення відходів матеріалу. Для досягнення оптимальних результатів необхідна кваліфікація та досвід оператора, що може впливати на якість та ефективність виробництва.

Лиття є ще одним традиційних методів виготовлення зубних імплантатів і він же первинний етап, який часто використовується для створення імплантатів з металевих сплавів.



Рисунок. 1.2 – Лиття, як первинний етап [14]

Лиття є методом, при якому рідкий метал або металевий сплав заливається у заздалегідь підготовлену форму, що має бажану геометрію імплантату. Після того, як метал охолоджується та твердне, форма знімається, і отримується готовий виріб. Цей процес дозволяє створювати складні форми, які важко або неможливо виготовити іншими методами, такими як фрезерування або токарна обробка.

Таблиця 1.2 – Переваги та недоліки лиття

Переваги		Недоліки	
-	Лиття дозволяє створювати складні геометрії і форми, які можуть бути важкими для досягнення іншими методами.	-	Можливі проблеми з точністю та однорідністю матеріалу, а також ризик утворення дефектів у структурі (наприклад, пори або тріщини).

Обробка є ключовим етапом у традиційному виробництві зубних імплантатів, який охоплює різні технологічні процеси, такі як шліфування,

полірування, піскоструминна обробка, хімічне травлення або анодування. Ці процедури спрямовані на досягнення необхідної точності розмірів, гладкості поверхні та поліпшення біосумісності імплантатів.



Рисунок 1.3 – Обробка на шліфувальному моторі [15]

Після первинного виготовлення імплантату проводиться обробка поверхні для досягнення необхідної гладкості та підготовки до нанесення покриттів.

Таблиця 1.3 – Переваги та недоліки обробки

Переваги		Недоліки	
-	Поліпшення механічних властивостей та біосумісності покриття завдяки поліпшенню якості поверхні.	-	Додатковий час і витрати на обробку можуть збільшувати загальну вартість виробництва.

Інноваційні методи виготовлення

Сучасні технології виготовлення зубних імплантатів постійно розвиваються, впроваджуючи нові інноваційні методи, які значно підвищують ефективність, точність та біосумісність імплантатів. Ці методи дозволяють створювати

імпланти з унікальними властивостями, що відповідають індивідуальним потребам пацієнтів. Основні інноваційні методи включають адитивні технології, лазерні технології, а також новітні методи напилення покриттів.[1]

3D-друк є однією з найбільш революційних технологій у виробництві зубних імплантів. Цей процес передбачає послідовне нашарування матеріалу для створення тривимірної структури.

Імпланти виготовляються з використанням CAD (Computer-Aided Design) програмного забезпечення для моделювання, після чого 3D-принтер наносить матеріал шар за шаром. Це дозволяє досягти високої точності і складності форм, які важко реалізувати традиційними методами.[4]

Таблиця 1.4 – Переваги та недоліки 3D-друку

Переваги	Недоліки
- 3D-друк забезпечує зменшення витрат на матеріали, оскільки відходи значно менші в порівнянні з фрезеруванням. Крім того, ця технологія дозволяє швидко адаптувати імпланти під індивідуальні анатомічні особливості пацієнта.	- Обмеження в виборі матеріалів для друку можуть вплинути на механічні властивості готових виробів.

Селективне лазерне спікання (SLS) – це технологія використовує лазер для спікання порошкових матеріалів, таких як титанові сплави або кераміка, для створення імплантів.

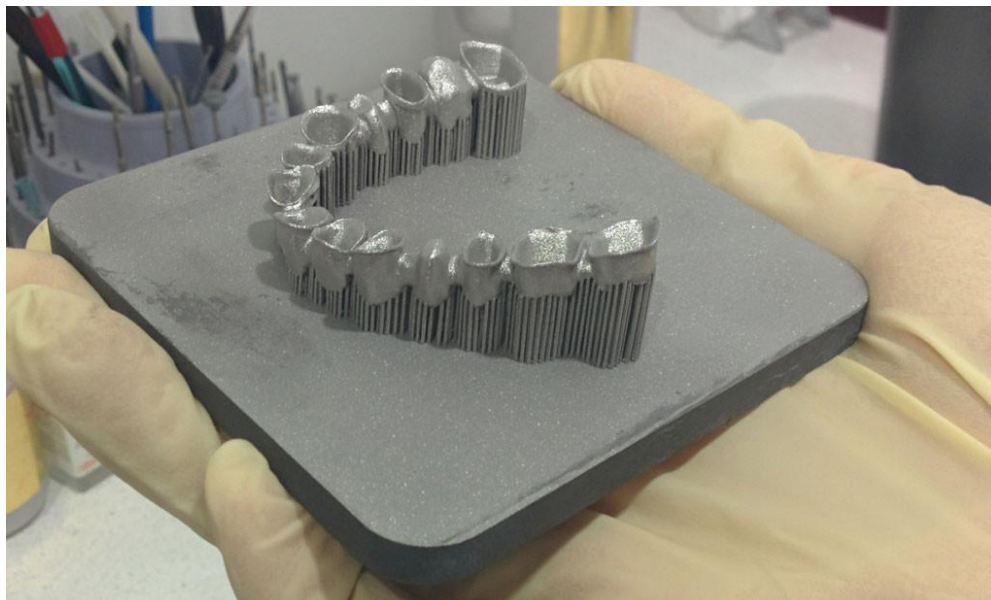


Рисунок 1.4 – Селективне лазерне спікання [16]

Порошок укладається в тонкий шар, а лазерний промінь спікає частинки в потрібних місцях, формуючи імплантат. Цей процес повторюється до тих пір, поки не буде отримано готовий виріб.

Таблиця 1.5 – Переваги та недоліки SLS

Переваги	Недоліки
- SLS дозволяє отримувати складні геометрії з високою щільністю та міцністю. Імплантати виготовлені за цією технологією мають відмінну біосумісність і механічну стійкість.	- Висока вартість обладнання та необхідність у спеціалізованому програмному забезпеченні можуть обмежити доступність цієї технології для деяких виробників

Інноваційні методи напилення покриттів стали важливими елементами у виробництві зубних імплантатів.

Плазмове напилення – це метод забезпечує нанесення біоактивних покриттів на поверхню імплантату, таких як гідроксиапатит.

Плазмове напилення передбачає іонізацію газу для створення плазми, яка нагріває та розпорошує керамічний матеріал на поверхню імплантату.

Таблиця 1.6 – Переваги та недоліки плазмовного напищення

Переваги	Недоліки
- Плазмове напилення забезпечує високу адгезію покриття до основи імплантату та підвищує його біосумісність, що сприяє кращій остеоінтеграції	- Високі вимоги до обладнання та технічного обслуговування можуть бути перешкодою для деяких виробництв.

Перед вибором методу виготовлення зубних імплантатів критично важливо визначитися з матеріалом, який буде використовуватися. Це рішення вплине на біосумісність, механічні властивості, довговічність та загальну ефективність імплантату.[6, 7]

1.2 Використання та вплив матеріалів на біосумісність імплантатів

Вимоги до матеріалів, що використовуються в медичних імплантатах, зокрема в стоматології та імплантології, є критично важливими для забезпечення їх ефективності та безпеки.

Розширений перелік вимог:

1. Біосумісність: Матеріали повинні бути біосумісними, тобто не викликати негативних реакцій організму, таких як відторгнення або запалення;
2. Остеоінтеграція: Вони повинні сприяти остеоінтеграції — процесу, при якому імплантат зростається з кістковою тканиною. Це забезпечує стабільність і надійність імплантату. Матеріали можуть мати спеціальні покриття (наприклад, гідроксиапатит або біоактивне скло), що підсилюють остеоінтеграцію та сприяють швидшому загоєнню після імплантації;
3. Механічні властивості: Матеріали повинні мати достатню механічну міцність і жорсткість, щоб витримувати навантаження, які виникають під час функціонування (жування, жування), уникають мікротріщин чи руйнування;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Стійкість до корозії: Вони повинні бути стійкими до корозії в умовах біологічного середовища, щоб уникнути утворення шкідливих продуктів розпаду.

5. Довговічність: Матеріали повинні бути довговічними і здатними витримувати тривале використання без значних змін у своїх властивостях.

6. Легкість у обробці: Матеріали повинні бути легкими для обробки та формування, щоб їх можна було адаптувати до специфічних клінічних ситуацій.

7. Пористість: Наявність пористої структури може бути перевагою, оскільки це сприяє вrastанню кісткової тканини і поліпшує інтеграцію з імплантатом.

8. Відповідність стандартам: Матеріали повинні відповідати міжнародним стандартам (наприклад, ISO), що регулюють безпеку і ефективність медичних виробів.

9. Вартість: Економічна доступність матеріалів також є важливим чинником, оскільки висока вартість може обмежити їх використання в клінічній практиці.

Біосумісність імплантатів є критично важливим аспектом у медицині, оскільки вона визначає, як організм реагує на імплантовані матеріали. Зубні імплантати виготовляються з різних матеріалів, кожен з яких має свої унікальні властивості та переваги. Вибір матеріалів для виготовлення імплантатів безпосередньо впливає на їх ефективність, безпечність та тривалість функціонування в організмі пацієнта. Наприклад, титан та його сплави відзначаються винятковою міцністю, стійкістю до корозії та здатністю до остеоінтеграції, тоді як керамічні матеріали, такі як цирконій, забезпечують високий рівень естетичності та ідеально підходять для пацієнтів з алергією на метали.[1]

Основні матеріали для імплантатів

Титан та його сплави

Титан є найпоширенішим матеріалом для виготовлення зубних імплантатів завдяки своїй високій міцності, легкості та відмінній корозійній стійкості.[2]

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приклади матеріалів:

- Титан (Ti): Чистий титан, який використовується в багатьох стоматологічних імплантатах.
- Сплави титану: Наприклад, Ti-6Al-4V (сплав з алюмінієм і ванадієм), який забезпечує ще вищу міцність і корозійну стійкість.

Переваги:

- Висока міцність: Титан має високу механічну міцність, що дозволяє витримувати жувальні навантаження;
- Корозійна стійкість: Титан не піддається корозії в умовах ротової порожнини, що забезпечує тривалу експлуатацію;
- Відмінна біосумісність: Титан сприяє остеоінтеграції, що є критично важливим для стабільності імплантату;
- Легка вага.

Недоліки:

- Висока вартість: Виробництво титанових імплантатів є дорогим через вартість самого матеріалу та технології обробки;
- Можливі алергічні реакції: У деяких пацієнтів можуть виникати алергії на титан або його сплави.

Полімери

Полімери, такі як поліметилметакрилат (PMMA), використовуються в тимчасових імплантатах або як частина композитних матеріалів.

Приклади матеріалів:

- Полілактид (PLA): Біорозкладний полімер, який може використовуватися для тимчасових імплантатів;
- Полиетилен (PE): Використовується в деяких випадках завдяки своїй легкості та можливості формування.

Переваги:

- Легка вага: Полімери значно легші за металеві та керамічні варіанти;
- Можливість виготовлення складних форм: Полімери легко формуються, що дозволяє створювати індивідуалізовані рішення.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки:

- Менша довговічність: Полімери зазвичай мають коротший термін служби порівняно з металевими або керамічними імплантатами;
- Обмежена біосумісність: Деякі полімери можуть викликати запальні реакції або відторгнення у пацієнтів.

Кераміка

Керамічні матеріали, такі як алюміній оксид (Al_2O_3) та цирконієвий оксид (ZrO_2), також використовуються для виготовлення зубних імплантатів.

Приклади матеріалів:

- Алюміній оксид (Al_2O_3) часто використовується для виготовлення естетичних коронок і мостів, які мають природний вигляд і забезпечують високу міцність.
- Цирконієві оксиди (ZrO_2): Використовуються для виготовлення безметалевих коронок та імплантатів завдяки своїй високій міцності та естетичному вигляду.
- Гідроксиапатит (НА): Використовується для покриття титанових імплантатів, покращуючи їх біосумісність та сприяючи остеointegraції.

Переваги:

- Естетичний вигляд: Кераміка має природний колір, що робить її ідеальною для передніх зубів;
- Гарна біосумісність: Кераміка є біологічно інертною, що зменшує ризик відторгнення.

Недоліки:

- Менша механічна міцність: Керамічні імплантати можуть бути менш стійкими до механічних навантажень, що може призвести до ризику руйнування;
- Складність виготовлення: Процес виготовлення керамічних імплантатів може бути більш складним і тривалим.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Біокомпозити

Біокомпозити поєднують переваги різних матеріалів для досягнення оптимальних властивостей.

Приклади матеріалів:

- Титанові композити з керамічними покриттями: Наприклад, титан з покриттям з гідроксиапатиту;
- Композити на основі полімерів і кераміки: Використовуються для створення легких і міцних імплантатів.

Переваги:

- Поєднання переваг різних матеріалів: Біокомпозити можуть забезпечити кращу остеоінтеграцію та стабільність;
- Оптимальні механічні та біологічні характеристики: Завдяки комбінуванню властивостей різних матеріалів.

Недоліки:

- Складність у виробництві: Виготовлення біокомпозитів може вимагати складних технологічних процесів;
- Вища вартість: Через складність виготовлення та використання кількох матеріалів біокомпозити зазвичай дорожчі за традиційні варіанти.

1.3 Перспективи розвитку технологій виготовлення

У сучасній стоматології технології виготовлення зубних імплантатів постійно вдосконалюються, що сприяє підвищенню їх якості, біосумісності та функціональності. Перспективи розвитку цих технологій визначаються кількома ключовими напрямками, які можуть суттєво змінити підходи до виготовлення та застосування імплантатів.[3]

3D-друк та інші адитивні технології продовжують набирати популярності у виробництві зубних імплантатів. Вони дозволяють створювати імплантати з

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

унікальними формами та структурою, що відповідають індивідуальним анатомічним особливостям пацієнтів.

Персоналізація: Завдяки можливості адаптації дизайну імплантату під конкретного пацієнта, адитивні технології можуть покращити результати остеоінтеграції та зменшити ризик ускладнень.

Скорочення часу виготовлення: 3D-друк дозволяє значно скоротити час на виробництво імплантатів, що є важливим фактором у клінічній практиці.

Розробка нових біоактивних матеріалів для імплантатів є ще одним важливим напрямком. Наприклад, комбінування титану з гідроксиапатитом або іншими біоактивними компонентами може суттєво покращити біосумісність і сприяти кращій остеоінтеграції.

Гідроксиапатит: Використання гідроксиапатиту як покриття або в складі композитних матеріалів може стимулювати ріст кісткової тканини навколо імплантату.

Кераміка: Нові керамічні матеріали з покращеними механічними властивостями можуть стати конкурентоспроможними альтернативами традиційним металевим імплантатам.

Технології напилення, такі як плазмове напилення та лазерне напилення, продовжують розвиватися, що відкриває нові можливості для покращення властивостей імплантатів.

Плазмове напилення: Ця технологія дозволяє створювати покриття з високою адгезією і біосумісністю, що може суттєво поліпшити інтеграцію імплантатів з кістковою тканиною.

Лазерне напилення: Використання лазерних технологій для нанесення покриттів може забезпечити точність і контроль над товщиною покриття, що є критично важливим для досягнення бажаних характеристик.

Автоматизація виробничих процесів і впровадження цифрових технологій можуть значно підвищити ефективність виготовлення зубних імплантатів.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цифрове моделювання: Використання CAD/CAM технологій для проектування і виготовлення імплантів дозволяє зменшити кількість помилок і підвищити точність.

Автоматизовані системи контролю якості: Впровадження автоматизованих систем контролю якості на всіх етапах виробництва може забезпечити стабільну якість продукції.

1.3.1 Перспективи досліджень у галузі біоматеріалознавства

Подальші дослідження в галузі біоматеріалознавства можуть призвести до відкриття нових матеріалів і технологій, які забезпечать ще кращу інтеграцію імплантів з організмом пацієнта. Інновації в цій сфері відкривають можливості для створення більш ефективних, довговічних та функціональних імплантів.

Біоінженерія: Розвиток біоінженерії може призвести до створення "розумних" імплантів, які не тільки замінюють втрачені зуби, але й активно взаємодіють із навколишніми тканинами. Наприклад, це можуть бути імпланти, які виділяють фактори росту для стимуляції кісткової регенерації або навіть беруть участь у загоєнні пошкоджених тканин. Використання клітинних технологій дозволяє створювати біоінженерні імпланти, які частково складаються з живих тканин пацієнта, що суттєво знижує ризик відторгнення.

Нанотехнології: Використання наноматеріалів відкриває нові можливості для вдосконалення поверхні імплантів. Наноструктуровані покриття дозволяють підвищити біосумісність і сприяють кращій остеоінтеграції завдяки оптимізації контакту імплантату з кістковою тканиною. Наноматеріали також можуть бути розроблені для запобігання інфекціям, включаючи інтеграцію наночастинок срібла або інших антибактеріальних компонентів у структуру імплантату. Крім того, нанотехнології дають змогу створювати матеріали з програмованими властивостями, наприклад, самовідновлювальні покриття або матеріали, які змінюють свої характеристики залежно від умов середовища.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Біоактивні матеріали та покриття: Подальші дослідження можуть привести до розробки матеріалів, які не лише взаємодіють із кістковою тканиною, але й модулюють її ріст та адаптацію. Наприклад, створення багатошарових покриттів із включенням біоактивних речовин може значно підвищити швидкість інтеграції імплантатів.

3D-біодрук: У майбутньому використання 3D-друку може бути розширено до створення біоінженерних імплантатів, що містять живі клітини пацієнта. Це дозволить створювати персоналізовані імплантати з повною адаптацією до анатомічних та фізіологічних характеристик пацієнта.

Таким чином, подальший розвиток біоматеріалознавства та інтеграція передових технологій дозволять створювати імплантати нового покоління, що забезпечуватимуть не тільки заміну втрачених тканин, але й активну регенерацію та поліпшення здоров'я пацієнтів.

Висновки до розділу 1, мета та завдання роботи

В даний час в стоматології використовуються різноманітні технології виготовлення зубних імплантатів, включаючи адитивні методи, такі як лазерне та електронно-променеве напилення. Ці технології забезпечують високу точність і можливість виготовлення складних форм, що є критично важливим для успішної остеоінтеграції імплантатів.

Основними матеріалами для виготовлення зубних імплантатів є титанові сплави та кераміка (зокрема, цирконій). Цирконій здобуває популярність завдяки своїй високій біосумісності та естетичним властивостям, що робить його привабливим вибором для пацієнтів.

Остеоінтеграція залишається одним з найважливіших факторів, що впливають на успішність імплантації. Низька остеоінтеграція може призвести до ускладнень, таких як рухливість імплантату або його відторгнення.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальші дослідження в галузі технологій виготовлення зубних імплантатів можуть зосередитися на вдосконаленні покриттів імплантатів, які сприяють покращенню остеоінтеграції. Наприклад, використання біоактивних матеріалів для покриттів може стимулювати ріст остеобластів і прискорювати процес формування нової кісткової тканини навколо імплантату.

Мета та завдання роботи

Мета роботи полягає у вдосконаленні технології виготовлення зубних імплантатів шляхом нанесення спеціальних функціональних покриттів, що сприятимуть покращенню остеоінтеграції.

Завдання роботи включають:

- Аналіз сучасного стану технологій виготовлення зубних імплантатів;
- Вивчення впливу різних матеріалів на остеоінтеграцію імплантатів;
- Розробка технологічних рекомендацій для нанесення плазмових покриттів на імплантати з гідроксиапатиту;
- Організація виробництва на дільниці нанесення покриттів;
- Розробка заходів щодо охорони праці та навколишнього середовища при нанесенні покриттів.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ, КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДУ НАНЕСЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ НА ЗУБНИЙ ІМПЛАНТАТ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ОСТЕОІНТЕГРАЦІЇ				Літ.	Арк.	Аркуші	
Розроб.												
Керівник									НУК			
Консультант												
Н. Контр.												
Зав. каф.												

РОЗДІЛ 2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ, КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДУ НАНЕСЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ НА ЗУБНИЙ ІМПЛАНТАТ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ОСТЕОІНТЕГРАЦІЇ

2.1 Застосовувані матеріали

В даний час у медичній практиці широко використовують металеві імплантати з покриттям з біоактивної кераміки. Такі імплантати мають великі переваги порівняно з іншими імплантами а саме:

- Швидше формування кісткової тканини;
- Можливість утворення зв'язку з кісткою (остеоінтеграція);
- Зменшення корозійних продуктів металу.

Це дозволяє значно скоротити час приживлення імпланта, забезпечити надійний зв'язок з кісткою та підвищити надійність імплантатів. Найчастіше в якості біоактивної кераміки використовують кераміку на основі кальцієвих фосфатів – гідроксиапатит (ГА) або інші кальцієві фосфати, близькі за складом.

Комбінація титану та гідроксиапатиту (НА) є однією з найбільш перспективних стратегій у виготовленні медичних імплантатів, особливо в стоматології та ортопедії. Ця комбінація поєднує механічні властивості титану з біологічними перевагами гідроксиапатиту, що забезпечує високу ефективність імплантатів.

Гідроксиапатит є важливим біоактивним матеріалом, який активно використовується в стоматології, Його унікальні властивості роблять його ідеальним для застосування в різних аспектах стоматологічної практики.

Гідроксиапатит досліджується для створення багатофункціональних покриттів, які сприяють остеоінтеграції та виконують додаткові функції, наприклад, зниження ризику інфекцій завдяки додаванню іонів срібла чи цинку. Нанотехнології дозволяють створювати наноструктуровані покриття з гідроксиапатиту, які прискорюють формування кісткової тканини.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гідроксиапатит (ГА) зараз має власне ряд переваг і недоліків, які важливо враховувати при його використанні в медицині, зокрема в стоматології та імплантології.

Таблиця 2.1 – Переваги та недоліки Гідроксиапатит

Переваги	Недоліки
- <i>Біосумісність</i>: ГАП є біосумісним матеріалом, що знижує ризик відторгнення імплантатів. - <i>Остеоінтеграція</i>: Сприяє формуванню нової кісткової тканини навколо імплантату, що забезпечує надійне зрощення з кісткою. - <i>Схожість з природною кісткою</i>: Хімічний склад ГАП подібний до складу людської кістки, що сприяє його інтеграції. - <i>Можливість використання в різних формах</i>: ГАП може бути застосований у вигляді порошку, гранул або покриттів для імплантатів. - Зменшення корозії: Використання ГАП зменшує утворення корозійних продуктів металу в організмі.	- <i>Висока вартість</i>: Виробництво та обробка ГАП можуть бути дорогими. - <i>Механічна міцність</i>: ГАП має нижчу механічну міцність у порівнянні з металевими імплантатами, що може обмежувати його використання в деяких випадках. - <i>Час розчинення</i>: Аморфна фаза ГАП швидше розчиняється, що може призводити до менш стабільної фіксації імплантату. - <i>Складність нанесення покриттів</i>: Процеси нанесення покриттів з ГАП можуть бути технологічно складними і вимагати спеціального обладнання. - <i>Ризик інфекцій</i>: Як і в будь-якій хірургічній процедурі, існує ризик інфекцій у місці імплантації.

На основі клінічного досвіду використання протезів із біокерамічними покриттями визначено основні вимоги до їх якості:

- *Міцність зчеплення з поверхнею ендопротеза* повинна бути не меншою за 15 МПа (відповідно до стандарту ISO 13779-2), щоб забезпечити довготривалу стабільність покриття;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- *Кристалічність матеріалу* – вміст кристалічної фази повинен становити не менше 70%, що є важливим для механічної стабільності та біосумісності;

- *Розвинена пористість* – необхідна для врастання кісткової тканини та покращення остеоінтеграції.

Додатково, покриття повинні бути інертними в агресивному середовищі організму та зберігати свої властивості протягом усього терміну служби імплантату. Це гарантує як механічну, так і біологічну надійність протеза.[5]

2.2 Застосовуване обладнання для напилення

Напилення кераміки на титанові імпланти є важливим етапом у виробництві медичних імплантатів, оскільки це покриття покращує біосумісність і сприяє остеоінтеграції. Для цього процесу використовується спеціалізоване обладнання, яке забезпечує точність і якість нанесення керамічного покриття.

Ось основні типи обладнання, які застосовуються для напилення кераміки на титанові імпланти:

Лазерні системи

Опис: Лазерні системи використовують концентрований лазерний промінь для нагрівання та плавлення матеріалу. Вони можуть бути налаштовані для роботи з різними матеріалами, такими як метали та кераміка.

Переваги:

- **Висока точність:** Лазери забезпечують точне керування потужністю та фокусуванням променя, що дозволяє досягати високої якості поверхні;

- **Швидкість процесу:** Лазерна технологія дозволяє швидко виконувати напилення, що зменшує загальний час виготовлення;

- **Мінімальні деформації:** Завдяки локалізованому нагріванню зменшується ризик термічних деформацій виробу.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки:

- Висока вартість обладнання та обслуговування: Лазерні системи потребують значних початкових інвестицій, а також регулярного технічного обслуговування, що збільшує загальну вартість виробничого процесу;
- Обмеження за матеріалами: Не всі матеріали однаково добре підходять для обробки лазером. Деякі можуть погано плавитися або реагувати на лазерне випромінювання, що впливає на якість кінцевого виробу.
- Ризик утворення мікротріщин: Хоча лазерний процес знижує ризик великих деформацій, у зоні плавлення можуть виникати мікротріщини, які впливають на довговічність виробу.
- Енергозатратність: Лазерні системи споживають значну кількість енергії, особливо при роботі з твердими матеріалами, що збільшує витрати на виробництво.
- Висока чутливість до налаштувань: Навіть незначні помилки у налаштуваннях потужності чи фокусування лазера можуть призвести до дефектів, таких як нерівномірна товщина покриття або низька якість поверхні.

Електронно-променеві системи

Опис: Цей тип обладнання використовує електронний промінь для нагрівання матеріалу в умовах вакууму. Це дозволяє уникнути окислення і покращити якість з'єднання.

Переваги:

- Висока температура плавлення: Електронні промені можуть досягати дуже високих температур, що робить їх придатними для роботи з важкими металами;
- Контроль над процесом: Вакуумне середовище дозволяє точно контролювати умови напilenня.

Недоліки:

- Висока вартість;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Обмежена у розмірах виробів: Вакуумні камери мають обмежений простір, що ускладнює обробку великих або нестандартних за формою деталей.

Дротові установки для напилення

Опис: Ці установки використовують дріт як основний матеріал для нанесення. Процес включає екструзію розплавленого дроту на підкладку.

Переваги:

- Гнучкість у виборі матеріалів: Можливість роботи з різними сплавами і матеріалами, що розширює сферу застосування.
- Економічність: Дротове напилення часто є більш економічною в порівнянні з лазерними або електронно-променевими методами.

Недоліки:

- Менша точність;
- Ризик нерівномірного покриття.

Плазмові установки

Опис: Плазмове напилення використовує плазмовий струмінь для нагрівання та плавлення матеріалу. Цей метод забезпечує високу температуру і швидкість нагрівання.

Переваги:

- Висока ефективність: Плазмові установки здатні швидко нагрівати великі обсяги матеріалу;
- Контроль над якістю покриття: Дозволяють отримувати однорідні покриття з хорошими механічними властивостями.

Установки для ультразвукового напилення

Опис: Використовують ультразвукові хвилі для створення тепла в зоні контакту матеріалів, що призводить до їхнього плавлення.

Переваги:

- Низька температура процесу: Дозволяє працювати з термочутливими матеріалами без їх пошкодження;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Висока якість з'єднань: Забезпечує хорошу адгезію між шарами матеріалу.

На кінець, обладнання для напилення в адитивному виробництві є різноманітним і спеціалізованим, що дозволяє вибрати оптимальний метод залежно від вимог до якості, швидкості виготовлення та типу використовуваного матеріалу. Вибір правильного обладнання є критично важливим для досягнення успішних результатів у виготовленні зубних імплантатів і забезпечення їхньої біосумісності та механічної міцності.

2.3 Методика дослідження

Методика дослідження є важливим етапом у процесі удосконалення технології виготовлення зубних імплантатів. Вона включає в себе кілька ключових етапів, які дозволяють оцінити ефективність різних матеріалів, методів напилення та покриттів, що використовуються для покращення остеоінтеграції. Основні етапи методики дослідження наведені нижче.

Визначення цілей і завдань дослідження

Мета: Вдосконалення технології виготовлення зубних імплантатів шляхом розробки нових методів нанесення спеціальних покриттів для покращення остеоінтеграції.

Завдання:

Аналіз сучасних матеріалів та технологій виготовлення імплантатів. Вивчення впливу термічного циклу на структуру та властивості покриттів. Оцінка механічних властивостей отриманих імплантатів.

Вибір матеріалів

- Матеріали для дослідження: Вибір титанових сплавів, цирконію та біоактивних матеріалів (наприклад, гідроксиапатиту) для покриттів;
- Підготовка зразків: Підготовка зразків імплантатів з використанням різних матеріалів, які будуть підлягати дослідженню.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обладнання для напилення

Використання лазерних установок, електронно-променевих систем та дровових установок для напилення покриттів на імплантати.

Налаштування параметрів обладнання відповідно до обраних матеріалів і технологій.

Процес напилення

- Методи напилення: Використання різних технологій (лазерне, електронно-променеве, дровове) для нанесення покриттів на імплантати;
- Контроль температури: Моніторинг температурних режимів під час напилення для забезпечення оптимальних умов кристалізації.

Оцінка остеоінтеграції

Проведення експериментальних досліджень для оцінки остеоінтеграції імплантатів з різними покриттями.

Використання методик, таких як рентгенографія, мікроскопія та механічні випробування для аналізу зв'язку між імплантатом і кістковою тканиною.

Аналіз результатів

Збір даних про механічні властивості, біосумісність і швидкість остеоінтеграції.

Статистичний аналіз отриманих результатів для визначення ефективності різних матеріалів і технологій.

Розробка рекомендацій

На основі отриманих даних розробка рекомендацій щодо оптимізації технології виготовлення зубних імплантатів.

Оцінка економічної ефективності запропонованих технологій.

Основна методика дослідження є комплексною і передбачає інтеграцію різних підходів до оцінки нових технологій у виробництві зубних імплантатів. Це дозволяє не лише покращити їхні характеристики, але й забезпечити високу якість лікування пацієнтів з втраченими зубами.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було проаналізовано ключові аспекти, що стосуються вибору матеріалів, конструкцій та технологій нанесення покриттів на зубні імплантати. Основні висновки наведені нижче.

Вибір матеріалів: Титанові сплави залишаються основним матеріалом для виготовлення зубних імплантатів завдяки своїй високій біосумісності, механічній міцності та корозійній стійкості. Вони забезпечують надійний зв'язок з кістковою тканиною і є стандартом у стоматології.

Керамічні матеріали, зокрема цирконій, набувають популярності завдяки своїм естетичним властивостям і здатності до остеоінтеграції, що робить їх привабливими для пацієнтів, які прагнуть до естетики.

Спеціальні покриття: Використання біоактивних покриттів, таких як гідроксиапатит (НА), демонструє значне покращення остеоінтеграції імплантатів. Ці покриття стимулюють ріст кісткової тканини навколо імплантату, що може прискорити процес інтеграції.

Розробка нових технологій нанесення покриттів, таких як лазерне та електронно-променеве напилення, дозволяє досягти високої точності та якості покриттів.

Обладнання для напилення: Сучасні методи напилення забезпечують високу ефективність і контроль над процесом. Лазерні установки, електронно-променеві системи та дотові установки демонструють різні переваги в залежності від вимог до матеріалів і технологій виготовлення.

Вибір обладнання є критично важливим для досягнення бажаних характеристик покриттів і загальної якості імплантатів.

Методика дослідження: Методика дослідження включає комплексний підхід до оцінки ефективності різних матеріалів і технологій. Це дозволяє не лише оцінити механічні властивості імплантатів, але й їх біосумісність.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблені експериментальні методи забезпечують можливість отримання об'єктивних даних про вплив різних параметрів на остеоінтеграцію.

А на кінець розділ 2 підкреслює важливість вибору правильних матеріалів і технологій для виготовлення зубних імплантатів з метою покращення остеоінтеграції. Подальші дослідження в цій області можуть призвести до розробки нових рішень, які забезпечать ще більшу ефективність і безпеку імплантації зубів. Удосконалення технологій нанесення спеціальних покриттів відкриває нові можливості для підвищення якості лікування пацієнтів з втраченими зубами.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ НАНЕСЕННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТЯ ОТРИМАНОГО НА ІМПЛАНТАТІ

3.1 Гідроксиапатит – структура та основні властивості

Кісткова тканина людини є складним біоматеріалом, основою якого є гідроксиапатит (ГА). Цей мінерал належить до біологічного апатиту і представлений формулою $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. На рисунку 3.1-3.3 зображено вигляд ГА, уявлення молекули, а також частинки синтезованого ГА.



Рисунок. 3.1 – Гідроксиапатит [17]

					132.6131м.19.03.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

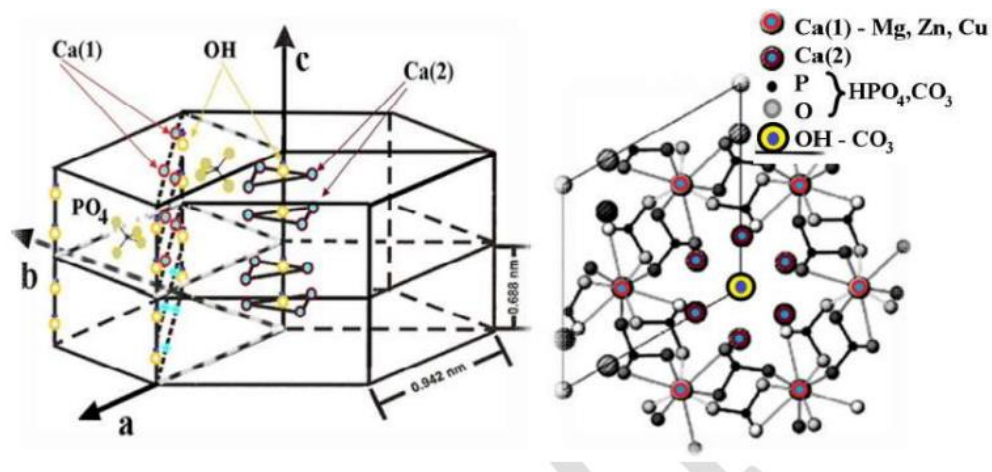


Рисунок. 3.2 – Об'ємне уявлення молекули гідроксиапатиту [18]

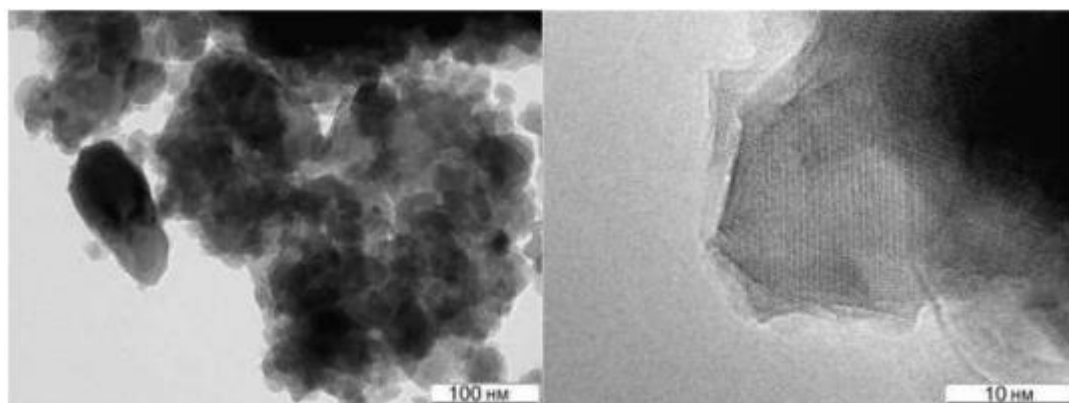


Рисунок. 3.3 – Зображення частинок синтезованого ГА стехіометричного складу $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ [18]

Формула гідроксиапатит — $\text{Ca}_5[\text{OH}(\text{PO}_4)_3]$. Склад у %: CaO – 44,14; P_2O_5 – 40,26; H_2O – 2,87. Домішки: SrO , Na_2O , FeO , MnO . Його структура включає іони кальцію (Ca^{2+}), фосфатні групи (PO_4^{3-}) та гідроксильні іони (OH^-). Основні компоненти кісткової тканини розподіляються наступним чином. [17, 18]

Таблиця 3.1 – Фізіологічний зміст іонів в кістках людини

Іон	Мас. %	Іон	Мас. %
Ca^{2+}	36.51	K^+	0.03
PO_4^{3-}	15.2	CO_3^{2-}	7.4
Na^+	0.90	F^-	0.03
Mg^{2+}	0.72	Cl^-	0.13

Така композиція забезпечує стабільність і міцність кісткової тканини, а також дозволяє здійснювати іонні заміщення, які впливають на біологічні та фізико-хімічні властивості гідроксиапатиту.

Кристалічна структура гідроксиапатиту

Гідроксиапатит кристалізується в гексагональній структурі з параметрами решітки $a = 9.432 \text{ \AA}$, $c = 6.881 \text{ \AA}$. У його структурі виділяють два основні компоненти:

- Са-канали: формуються атомами кальцію, які оточені октаедричними групами;
- Основний каркас (ОК): складається з фосфатних груп (PO_4^{3-}) та гідроксильних іонів.

Кристалічна структура гідроксиапатиту допускає значні катіонні та аніонні заміщення, що дозволяє модифікувати його властивості. Зокрема, іони Mg^{2+} , Zn^{2+} , Na^+ , Sr^{2+} можуть заміщати кальцій, а групи CO_3^{2-} заміщують фосфатні або гідроксильні групи. [18, 19]

Фізичні властивості гідроксиапатиту

Таблиця 3.2 – Фізичні властивості гідроксиапатиту

Фізичні властивості	Значення
Густина	3.00-3.219 г/см ³
Пористість	0.1-3 %
Параметри кристалічної ґратки	($\pm 0.003 \text{ нм}$)
Постійна ґратки a	9.432-0.9418 нм
Постійна ґратки b	6.881-0.6884 нм
Індекс кристалічності	33-37
Сингонія	Гексагональна
Твердість	5
Колір	Білий, восково-жовтий, зелений

Ці властивості роблять гідроксиапатит ідеальним матеріалом для біоактивних імплантатів у медичній практиці.

Катіонні та аніонні заміщення

Кристалічна решітка гідроксиапатиту дозволяє іонну заміну, яка впливає на його механічні, біологічні та фізичні властивості. Найбільш поширені заміщення включають:

- Катіонні заміщення: Ca^{2+} може бути заміщено іонами Mg^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Na^{+} .
- Аніонні заміщення: OH^{-} заміщується CO_3^{2-} , Cl^{-} або F^{-} .

Процес заміщення іонів дозволяє модифікувати гідроксиапатит для поліпшення біоактивності, стабільності та біосумісності матеріалу.

Біоактивні матеріали на основі гідроксиапатиту

Синтетичний гідроксиапатит широко використовується в медицині для створення біоактивних матеріалів, які стимулюють регенерацію кісткової тканини. Особливо важливе застосування гідроксиапатиту у стоматології та ортопедії:

- Імплантати з покриттям гідроксиапатиту забезпечують інтеграцію з кісткою;
- Композитні матеріали на основі гідроксиапатиту зміцнюють кісткову тканину завдяки біоактивності та остеокондуктивності.

3.2 Вплив термічного циклу при одношаровому нанесенні

Термічний цикл є критично важливим фактором у процесах напилення, оскільки він впливає на структуру, механічні властивості та біосумісність покриттів, що наносяться на зубні імплантати. Розуміння впливу термічного циклу при одношаровому напиленні дозволяє оптимізувати технологічні параметри для досягнення бажаних характеристик готового виробу.

Основи термічного циклу

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термічний цикл включає в себе кілька етапів:

Нагрівання: На цьому етапі температура підвищується до необхідного рівня для початку процесу напилення. Важливо, щоб температура була достатньою для забезпечення плавлення матеріалу покриття, але не настільки високою, щоб викликати деформацію основи імплантату.

- Витримка: Підтримка температури на певному рівні для забезпечення стабільності процесу напилення. Цей етап дозволяє досягти однорідності покриття і запобігти утворенню дефектів, таких як тріщини чи пори;

- Охолодження: Після завершення напилення температура знижується до кімнатної. Швидкість охолодження також має велике значення, оскільки швидке охолодження може призвести до виникнення внутрішніх напружень у покритті.

Вплив на структуру покриття

Температура на етапі нагрівання є критично важливою для формування мікроструктури покриття. Дослідження показують, що оптимальний діапазон температури для одношарового напилення коливається між 900°C та 1200°C. У цьому діапазоні досягається найкраща адгезія між імплантатом і покриттям, а також забезпечується необхідна міцність.

При недостатньому нагріванні можуть виникати проблеми з адгезією, що призводить до відшарування покриття від основи імплантату. З іншого боку, надмірне нагрівання може викликати зміни в структурі матеріалу, такі як перегрів або окиснення, що негативно вплине на його механічні властивості.

- Форма і розмір кристалів: Швидкість охолодження під час термічного циклу може змінювати розмір і форму кристалів у покритті. Швидке охолодження може призвести до утворення дрібних кристалів, тоді як повільне охолодження сприяє формуванню більших кристалів;

- Мікроструктура: Неправильний термічний цикл може призвести до утворення дефектів у мікроструктурі, таких як тріщини або пори, що негативно вплине на механічні властивості покриття.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив на механічні властивості

- Міцність: Термічний цикл безпосередньо впливає на міцність покриття. Оптимальні температурно-часові параметри можуть забезпечити високу міцність з'єднання між імплантатом і покриттям;
- Пластичність: Неправильний контроль за термічним циклом може призвести до зниження пластичності матеріалу, що робить його більш схильним до тріщин під навантаженням.

Біосумісність

- Взаємодія з кістковою тканиною: Якість термічного циклу також впливає на біосумісність покриттів. Оптимальні умови можуть сприяти кращій остеоінтеграції, тоді як погані умови можуть призвести до відторгнення імплантату;
- Стимуляція росту остеобластів: Правильний термічний цикл може стимулювати ріст остеобластів, що позитивно позначається на процесах загоєння та інтеграції імплантату в кісткову тканину.

Біосумісність покриттів значною мірою визначається їхньою мікроструктурою, яка формується в процесі термічного циклу. Наприклад, надмірна пористість або нерівномірна структура можуть негативно вплинути на взаємодію з кістковою тканиною, знижуючи ефективність остеоінтеграції.

Механічні властивості покриттів також залежать від параметрів термічного оброблення. Правильно підібрані режими нагрівання та охолодження дозволяють покращити твердість і зносостійкість, що є важливим для забезпечення їхньої довговічності та стабільної роботи в організмі.

На кінець, вплив термічного циклу при одношаровому напиленні є ключовим фактором, що визначає якість покриттів на зубних імплантатах. Оптимізація температурних режимів на етапах нагрівання, утримання та охолодження дозволяє досягти високої біосумісності та механічної міцності покриттів, що в свою чергу сприяє успішній остеоінтеграції імплантатів у кісткову тканину пацієнта. Результати досліджень вказують на необхідність

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подальших експериментальних робіт для вдосконалення технології одношарового напилення в контексті виготовлення зубних імплантатів.

3.2 Розрахунковий аналіз температурно-часових параметрів при плазмовому напиленні

Розрахунковий аналіз температурно-часових параметрів є важливим етапом у процесі нанесення, оскільки він дозволяє оптимізувати умови виготовлення зубних імплантатів. Плазмов є сучасним методом, який забезпечує високу якість покриттів і біосумісність імплантатів. У цьому розділі буде проведено опис температурно-часового параметру цього методу.[8]

Плазмове напилення

Плазмове напилення використовує плазмовий струмінь для нагрівання та плавлення матеріалу. Основні температурно-часові параметри включають:

- Температура плавлення: Залежить від типу матеріалу, але зазвичай коливається в межах 1500-3000 °C;
- Час нагрівання: Залежить від потужності плазмового джета і товщини шару, що наноситься. Зазвичай цей час становить від кількох секунд до десятків секунд;
- Час охолодження: Охолодження може тривати від кількох хвилин до годин, залежно від умов навколишнього середовища та матеріалу.

Таблиця 3.1 – Температурно-часові параметри плазмового напилення

Параметри	Плазмове напилення
Температура струменя	1500-3000 °C
Час нагрівання	кілька секунд до десятків секунд
Час охолодження	кілька хвилин до години

Плазмове напилення базується на використанні високотемпературної плазми для плавлення та нанесення матеріалу покриття на поверхню імплантату. Порошковий або дротяний матеріал вводиться в плазмовий струмінь, де він плавиться і переноситься на підготовлену поверхню імплантату, утворюючи щільне та однорідне покриття.

Переваги плазмового напилення

- Висока адгезія покриття: Забезпечується міцне з'єднання між покриттям та основним матеріалом імплантату, що підвищує довговічність конструкції;
- Контроль товщини та структури покриття: Метод дозволяє точно регулювати товщину нанесеного шару та його мікроструктуру, що є важливим для забезпечення необхідних механічних та біологічних властивостей;
- Можливість нанесення різних матеріалів: Плазмове напилення підходить для нанесення біоактивних матеріалів, таких як гідроксиапатит, що сприяє кращій остеоінтеграції імплантату.

Особливості застосування плазмового напилення для зубних імплантатів

При нанесенні покриття на зубні імплантати методом плазмового напилення важливо враховувати наступні аспекти:

- Підготовка поверхні імплантату: Необхідно забезпечити належну шорсткість та чистоту поверхні для покращення адгезії покриття;
- Оптимізація параметрів процесу: Вибір відповідних температурних режимів, швидкості подачі матеріалу та газового середовища впливає на якість покриття та його властивості;
- Контроль якості покриття: Після нанесення покриття проводиться оцінка його мікроструктури, товщини та адгезії для забезпечення відповідності заданим стандартам.

Плазмове напилення забезпечує можливість регулювання товщини покриття, його мікроструктури та фазового складу, що сприяє досягненню високої адгезії покриття до основи імплантату. Такий підхід є ідеальним для

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створення покриттів з біоактивних матеріалів, наприклад, гідроксиапатиту, що стимулює остеointegraцію.

Подальші дослідження у сфері плазмового напилення повинні бути спрямовані на оптимізацію ключових параметрів процесу, таких як температура нанесення, швидкість подачі матеріалу і контроль газового середовища. Особливу увагу слід приділити вивченню впливу термічного циклу на формування мікроструктури та адгезійних властивостей покриття. Крім того, перспективними є дослідження, що зосереджуються на використанні наноструктурованих матеріалів, таких як наногідроксиапатит, для подальшого підвищення біосумісності та довговічності покриття.[9, 10]

Таким чином, вдосконалення технології плазмового напилення дозволить значно підвищити якість і ефективність виробництва зубних імплантатів, забезпечуючи їх довговічність, надійність і функціональність.

3.4 Вплив термічного циклу при багат шаровому напиленні

Багат шарове напилення є складним процесом, який використовує кілька шарів матеріалу для створення покриттів на зубних імплантатах. Вплив термічного циклу на багат шарове напилення є критично важливим для досягнення бажаних механічних і фізичних властивостей покриттів. Цей розділ розгляне, як термічні умови впливають на структуру, міцність та біосумісність багат шарових покриттів.[11, 12]

Основи термічного циклу в багат шаровому напиленні

Термічний цикл при багат шаровому напиленні включає в себе три основні етапи: нагрівання, утримання температури та охолодження. Кожен з цих етапів має свої особливості, які впливають на кінцеві характеристики покриття.

- Нагрівання: Під час нагрівання матеріал досягає температури плавлення, що дозволяє формувати новий шар. Швидкість нагрівання може варіюватися залежно від типу обладнання та матеріалу;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Витримка: Цей етап дозволяє досягти повного плавлення і забезпечити однорідність покриття. Тривалість утримання температури може вплинути на кристалізацію та формування мікроструктури;

- Охолодження: Охолодження може бути швидким або повільним, що визначає розмір і форму кристалів у покритті. Швидке охолодження зазвичай призводить до утворення дрібнозернистої структури, тоді як повільне охолодження сприяє формуванню крупнозернистої структури.

Вплив на структуру покриття

- Мікроструктура: Багат шарове напилення може призвести до неоднорідності в мікроструктурі через різні швидкості охолодження між шарами. Неправильний контроль термічного циклу може викликати утворення тріщин або пор у покритті;

- Кристалізація: Температурні умови впливають на процес кристалізації, що визначає механічні властивості покриття. Оптимальні умови сприяють утворенню однорідної мікроструктури з бажаними характеристиками.

Вплив на механічні властивості

- Міцність: Правильний термічний цикл під час багат шарового напилення забезпечує високу міцність з'єднання між шарами та основою імплантату. Неправильне управління температурою може призвести до зниження міцності і стійкості до навантажень;

- Пластичність: Температурні умови також впливають на пластичність матеріалу. Оптимальні умови можуть підвищити пластичність, що важливо для витримування механічних навантажень під час експлуатації імплантату.

Біосумісність

- Взаємодія з кістковою тканиною: Якість термічного циклу має значний вплив на біосумісність покриттів. Оптимальні умови можуть сприяти кращій остеоінтеграції, тоді як погані умови можуть призвести до відторгнення імплантату;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Стимуляція росту остеобластів: Правильний термічний цикл може позитивно вплинути на стимуляцію росту остеобластів, що важливо для успішної інтеграції імплантату в кісткову тканину.

Висновком є те, що термічний цикл при багатошаровому напиленні є визначальним фактором, який впливає на якість і функціональність зубних імплантатів. Оптимізація температурно-часових параметрів має вирішальне значення для забезпечення високих механічних характеристик і біосумісності покриттів. Подальші дослідження в цій сфері відкривають можливості для вдосконалення технологій виготовлення імплантатів, що сприятиме підвищенню їхньої ефективності та покращенню клінічних результатів.

3.5 Розробка процесу нанесення покриття на зубний імплантат

Розробка процесу нанесення покриття на зубний імплантат є ключовим етапом, що забезпечує його біосумісність, механічну міцність та довговічність. Основним методом для цього обрано мікроплазмове напилення демонструю на рисунку 3.4, яке поєднує високу точність, контроль процесу і мінімізацію термічних ушкоджень. Цей метод також дозволяє створювати двошарові покриття, що складаються з пористого титанового підшару та зовнішнього шару гідроксиапатиту (ГА), що підвищує ефективність osteointegration.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

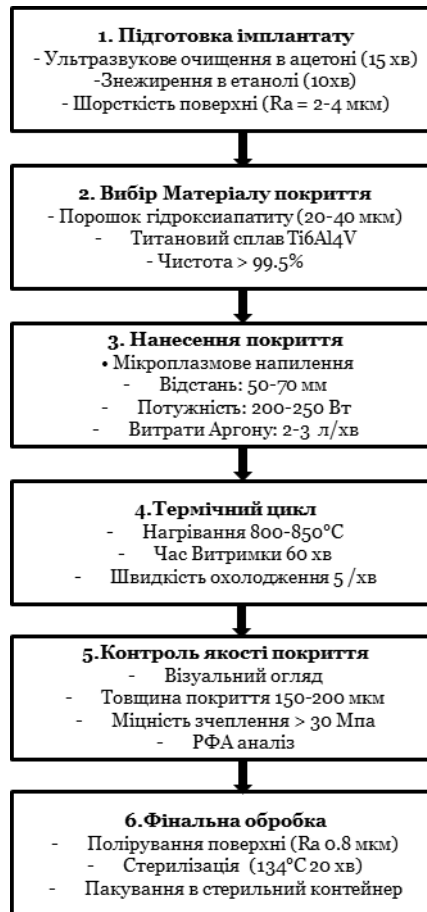


Рисунок. 3.4 – Блок-схема процесу нанесення покриття на зубний імплантат

Технологічний процес нанесення покриття

На першому етапі відбувається підготовка поверхні імплантату, яка включає піскоструминну обробку для створення мікрошорсткості та хімічне очищення для видалення забруднень, зовнішній вигляд установки МПН-004 демонструю на рисунку 3.5. Цей етап є критично важливим, оскільки якісна підготовка поверхні сприяє кращій адгезії покриття до основи.[13]



Рисунок. 3.5 – Установка плазмового напилення МПН-004

Процес нанесення двошарового покриття на зубний імплантат є багатоступеневим і включає використання сучасних матеріалів і технологій для забезпечення його механічної міцності, біосумісності та стимуляції росту кісткової тканини. Першим наноситься пористий титановий шар товщиною 100–150 мкм, який виконує роль основи. Його структура з розвиненою пористістю забезпечує механічну фіксацію імплантату та сприяє вrostанню кісткової тканини. Цей шар створюється з використанням титанових дротів марки ВТ-1-00 діаметром 0,3 мм, що гарантує високу адгезію до імплантату.

На титановий шар наноситься зовнішній біоактивний шар з гідроксиапатиту, який має високу кристалічність (88–98%). Гідроксиапатит є ключовим матеріалом, оскільки його склад $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ з співвідношенням $\text{Ca/P}=1,67$ повністю відповідає натуральній кістковій тканині. Цей шар сприяє активному росту остеобластів і забезпечує високий рівень остеоінтеграції імплантату. Завдяки цьому покриттю створюється стабільна біологічна взаємодія між імплантатом і кістковою тканиною.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес нанесення включає точний термічний цикл із етапами нагрівання, утримання температури та контрольованого охолодження. Застосування ламінарного струменя аргонної плазми дозволяє забезпечити рівномірний розподіл матеріалу, уникнути утворення токсичних продуктів (наприклад, CaO) та зберегти унікальні властивості гідроксиапатиту. Температурний режим адаптується для мінімізації ризику деградації покриття та підвищення його функціональних властивостей.

Порівняльні дослідження підтвердили, що мікроплазмове напилення є більш ефективним у порівнянні з традиційними методами. Воно забезпечує зниження витрат матеріалів, таких як гідроксиапатит, і водночас підвищує якість покриття. Економічна ефективність мікроплазмового методу у 1,5–2 рази вища завдяки стабільності процесу та його відповідності вимогам сучасної стоматологічної імплантології демонструю на рисунку 3.6 та 3.7.

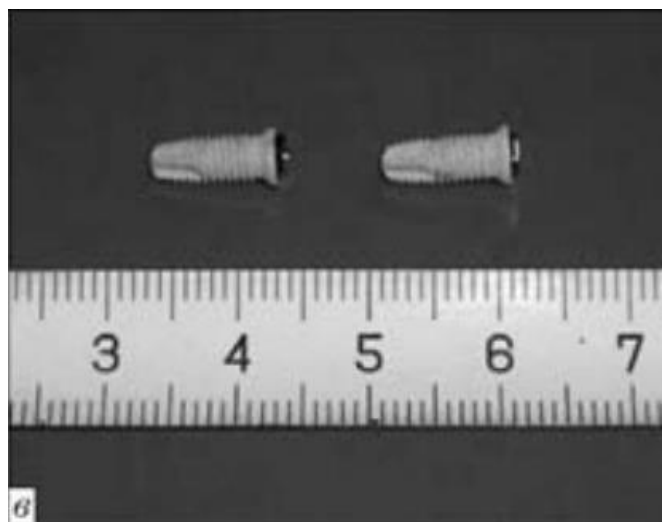


Рисунок. 3.6 – Стоматологічний імплант з плазовим покриттям

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок. 3.7 – форми стоматологічних імплантів [18]

Структура та властивості покриття

Пористий титановий підшар має пори розміром 100–150 мкм, що забезпечує його інтеграцію з кістковою тканиною. Висока пористість створює ідеальні умови для закріплення імплантату в кістці та сприяє швидкому загоєнню.

Зовнішній шар гідроксиапатиту відрізняється високою кристалічністю, яка досягає 88–98%. Це значно покращує остеоінтеграцію, адже кристалічна структура є біоактивною і сприяє росту остеобластів. Зменшення аморфної фази в

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структурі гідроксиапатиту покращує довговічність імплантату, знижуючи ризик його руйнування.

Контроль якості покриття

Міцність зчеплення покриття з основою становить 24–25 МПа, що відповідає вимогам стандарту ISO 13779-2. Проведені гістологічні дослідження підтверджують повну біосумісність імплантату. Мікроструктурний аналіз показує відсутність дефектів, таких як тріщини чи пори, що свідчить про високу якість нанесеного покриття.

Висновки до розділу 3

Розроблений процес нанесення двошарового покриття на зубний імплантат забезпечує високу якість, біосумісність і механічну міцність. Використання пористого титанового підшару сприяє інтеграції з кістковою тканиною, а зовнішній шар гідроксиапатиту покращує остеоінтеграцію та стимулює ріст остеобластів. Застосування мікроплазмового напилення дозволяє досягти високої точності, знижуючи витрати матеріалів та забезпечуючи стабільність покриття. Контроль якості підтверджує відповідність міжнародним стандартам, що гарантує довговічність і надійність імплантату.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ НА ЗУБНИЙ ІМПЛАНТАТ

4.1 Вибір параметрів для нанесення покриття

Одним із ключових аспектів у процесі нанесення покриття на зубний імплантат є вибір матеріалів, які забезпечують високу біосумісність та сприяють остеоінтеграції. Для досягнення цієї мети було обрано комбінацію гідроксиapatиту (ГА) як зовнішнього шару та пористого титану як внутрішнього підшару.

Гідроксиapatит як зовнішній шар покриття

Гідроксиapatит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ є біоактивним матеріалом, що має високу біосумісність з кістковою тканиною людини. Він є основним мінеральним компонентом кісток та зубів, що робить його ідеальним для використання в якості покриття на імплантатах для поліпшення остеоінтеграції. Використання гідроксиapatиту з кристалічністю 88–98% забезпечує стабільність покриття та зменшує його розчинність у фізіологічних умовах, що є важливим для довготривалої експлуатації імплантату.

Пористий титановий підшар

Титан та його сплави широко використовуються в імплантології завдяки високій механічній міцності, корозійній стійкості та біосумісності. Використання пористого титану як підшару з розміром пор 100–150 мкм сприяє вращанню кісткової тканини та покращує фіксацію імплантату. Пориста структура титану також покращує адгезію зовнішнього шару гідроксиapatиту, що підвищує загальну міцність покриття.

Для забезпечення високої якості покриття та ефективності процесу нанесення було розглянуто основні метод мікроплазмове напилення.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мікроплазмове напилення

Мікроплазмове напилення є ефективним методом нанесення покриття на складні геометрії імплантатів. Цей метод дозволяє отримати покриття з високою адгезією та контрольованою товщиною. Перевагами мікроплазмового напилення є висока точність, можливість контролю параметрів процесу та мінімальне термічне навантаження на імплантат, що зменшує ризик його деформації.

Рекомендовані параметри процесу нанесення

Для досягнення оптимальних результатів процесу нанесення покриття рекомендується дотримуватися наступних параметрів:

Температура нанесення

- Мікроплазмове напилення: Температура плазмового струменя зазвичай становить 10 000–15 000 К, але температура на поверхні імплантату повинна бути контрольованою в межах 900–1200 °С, щоб уникнути окиснення титану та деградації гідроксиapatиту.

- Кристалічність гідроксиapatиту: Для покращеної остеоінтеграції рекомендується кристалічність гідроксиapatиту на рівні $\geq 88\%$. Висока кристалічність зменшує швидкість розчинення покриття у фізіологічних умовах та забезпечує довготривалу стабільність імплантату.

Швидкість напилення

- Мікроплазмове напилення: Швидкість подачі порошку гідроксиapatиту повинна бути оптимізована для забезпечення рівномірності покриття та запобігання перегріву матеріалу. Рекомендована швидкість — 5–15 г/хв;

Товщина покриття

- Зовнішній шар гідроксиapatиту: Рекомендована товщина — 50–200 мкм. Товщина покриття впливає на його механічну міцність та біоактивність;

- Підшар пористого титану: Товщина — 100–150 мкм з пористістю 30–40% для оптимального врістання кісткової тканини.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газове середовище

Для запобігання окисненню матеріалів та забезпечення стабільності плазмової дуги рекомендується використовувати інертні гази, такі як аргон або азот.

Рекомендації щодо вибору параметрів:

При виборі параметрів процесу нанесення покриття слід враховувати тип імплантату, вимоги до продуктивності та особливості матеріалів. Для імплантатів зі складною геометрією та високими вимогами до точності рекомендується використовувати мікроплазмове напилення.

Оптимізація параметрів процесу повинна базуватися на експериментальних дослідженнях та враховувати специфікації обладнання. Важливо забезпечити контроль температурних режимів, швидкості напилення та товщини покриття для досягнення високої якості покриття та його біосумісності.

4.2 Підготовка поверхні імплантату перед нанесенням покриття

Правильна підготовка поверхні імплантату є одним із ключових етапів у процесі нанесення покриття. Вона забезпечує оптимальну адгезію покриття до основи, зменшує ризик дефектів та підвищує біосумісність імплантату. Підготовка поверхні включає механічну та хімічну обробку, які спрямовані на створення необхідної шорсткості та чистоти поверхні.

Механічна обробка поверхні

Піскоструминна обробка – є ефективним методом для створення мікрошорсткості на поверхні імплантату. Використовуючи абразивні частинки (наприклад, оксид алюмінію або оксид кремнію) під високим тиском, можна видалити оксидні плівки та нерівності, що покращує адгезію покриття.

Рекомендації:

- Використовувати абразивні частинки розміром 50–150 мкм для досягнення оптимальної шорсткості;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Тиск повітря під час обробки має бути в межах 0,5–1,0 МПа;
- Після обробки ретельно видалити залишки абразиву за допомогою стисненого повітря або ультразвукової очистки.

Шліфування та полірування

Для видалення грубих нерівностей та підготовки поверхні до нанесення покриття може застосовуватися шліфування з використанням абразивних стрічок різної зернистості.

Рекомендації:

- Починати зі шліфування крупнозернистими абразивами (наприклад, 200–400 grit), поступово переходячи до дрібнозернистих (800–1200 grit);
- Забезпечити рівномірність обробки по всій поверхні імплантату.

Хімічна обробка та очищення

Після механічної обробки поверхня імплантату може містити забруднення у вигляді олій, жирів або залишків абразиву. Хімічна обробка дозволяє видалити ці забруднення та активувати поверхню для покращення адгезії покриття.

Дегресація

- Ультразвукова очистка в розчинах нейтральних або лужних мийних засобів протягом 10–15 хвилин;
- Промивання дистильованою водою для видалення залишків мийних засобів.

Хімічне травлення

- Кислотне травлення з використанням суміші кислот (наприклад, HF/HNO₃) для видалення оксидних плівок та пасивації поверхні;
- Тривалість травлення залежить від складу розчину та бажаної глибини обробки, зазвичай становить 1 – 5 хвилин;
- Після травлення необхідно нейтралізувати поверхню та ретельно промити дистильованою водою.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пасивація

- Обробка в розчині азотної кислоти (20–30%) для створення захисного оксидного шару на поверхні титану;
- Цей шар підвищує корозійну стійкість та біосумісність імплантату.

Сушка

- Сушіння імплантату в сушильній шафі при температурі 50–70 °C протягом 1–2 годин або використання азотного потоку для прискорення процесу.

Контроль шорсткості та чистоти поверхні

Після завершення підготовки поверхні необхідно провести контроль якості обробки.

Методи контролю:

- Профілометрія для вимірювання шорсткості поверхні. Оптимальна середня арифметична шорсткість (R_a) повинна бути в межах 1,5–3,0 мкм;
- Скануюча електронна мікроскопія (SEM) для візуалізації мікроструктури поверхні та виявлення можливих дефектів;
- Енергетично-дисперсійна рентгенівська спектроскопія (EDX) для аналізу хімічного складу поверхні та виявлення залишкових забруднень.

Рекомендації:

- Забезпечити відповідність параметрів шорсткості заданим стандартам для покращення адгезії покриття;
- Виявлені дефекти або забруднення повинні бути усунені шляхом повторної обробки або додаткового очищення.

4.3 Вплив термічного циклу на якість і властивості одношарового покриття

Термічний цикл є ключовим аспектом процесу одношарового напилення, оскільки він визначає кінцеві властивості покриття, такі як мікроструктура, механічна міцність і біосумісність. Кожен етап цього циклу (нагрівання,

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утримання температури та охолодження) суттєво впливає на якість покриття та його здатність взаємодіяти з кістковою тканиною. Оптимізація параметрів термічного циклу дозволяє створювати покриття, що відповідають високим вимогам сучасної стоматології.

Нагрівання

Опис процесу: нагрівання полягає у швидкому та рівномірному підвищенні температури до рівня, необхідного для плавлення матеріалу покриття. Даний рівень залежить від властивостей матеріалу: для титанових основ оптимальною температурою є 900–1200°C, тоді як для керамічних матеріалів (наприклад, гідроксиапатиту) вона може бути дещо нижчою.

Вплив на покриття

- Швидкість нагрівання: Якщо нагрівання занадто повільне, може утворитися нерівномірна структура, що знижує адгезію. Занадто швидке нагрівання може спричинити локальні перегріви, які викликають дефекти;
- Дефекти: При неправильному нагріванні можливе утворення внутрішніх напружень, які в подальшому призводять до тріщин чи відшаровування покриття.

Рекомендації

- Використовувати обладнання з точним контролем температури (наприклад, плазмові системи);
- Застосовувати попереднє прогрівання основи для уникнення різких температурних градієнтів.

Витримка

Опис процесу: після досягнення необхідної температури матеріал повинен залишатися в розплавленому стані протягом певного часу для забезпечення повного з'єднання частинок покриття з основою. Цей етап дозволяє отримати рівномірну мікроструктуру.

Вплив на покриття

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Час витримки: Занадто короткий час утримання може спричинити недостатнє зчеплення матеріалу з основою. Занадто довге утримання може призвести до надмірної реакції між основою та покриттям, що вплине на біосумісність;

- Контроль газового середовища: При утриманні температури важливо уникати окислення. Це досягається використанням вакууму або інертного газу (аргону).

Рекомендації

- Тривалість утримання повинна визначатися на основі експериментальних досліджень для кожного матеріалу;

- Використовувати сучасне обладнання, яке забезпечує стабільність температурного режиму.

Охолодження

Опис процесу: охолодження являється завершальним етапом термічного циклу. Швидкість охолодження визначає структуру та механічні властивості покриття.

Вплив на покриття

- Швидке охолодження: Сприяє утворенню дрібнозернистої структури, що забезпечує вищу механічну міцність;

- Повільне охолодження: Дозволяє знизити внутрішні напруження, що зменшує ризик тріщин і дефектів;

- Ризик утворення тріщин: При надто швидкому охолодженні можливе виникнення термічних напружень, які можуть спричинити мікротріщини у структурі покриття.

Рекомендації

- Контролювати швидкість охолодження відповідно до властивостей матеріалу покриття;

- Використовувати програмовані системи охолодження для забезпечення рівномірності процесу.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив термічного циклу на властивості покриття

1. Мікроструктура: оптимальний термічний цикл забезпечує рівномірну мікроструктуру без пор та інших дефектів, що є важливим для остеоінтеграції;
2. Адгезія: якість зв'язку між покриттям і основою залежить від температурних режимів. Занадто висока температура може пошкодити основу, а недостатня — спричинити відшаровування покриття;
3. Біосумісність: надмірне нагрівання або утримання температури можуть змінити хімічний склад покриття, знижуючи його здатність взаємодіяти з кістковою тканиною;
4. Механічні властивості: швидке охолодження сприяє підвищенню твердості, тоді як повільне дозволяє уникнути внутрішніх напружень.

Висновки до розділу 4

У цьому розділі було розроблено технологічні рекомендації для нанесення покриття на зубні імпланти, які спрямовані на покращення їхніх механічних властивостей, біосумісності та довговічності. Проведений аналіз підкреслив важливість вибору оптимальних параметрів для нанесення покриття, підготовки поверхні імплантату та управління термічним циклом.

Зокрема, визначено, що гідроксиапатит із високою кристалічністю (88–98%) є оптимальним матеріалом для зовнішнього шару завдяки його біоактивності та здатності стимулювати остеоінтеграцію. Пористий титановий підшар із розміром пор 100–150 мкм забезпечує високу адгезію, сприяє механічній фіксації та вrostанню кісткової тканини.

Метод мікроплазмового напилення визнаний найбільш ефективним для нанесення двошарових покриттів завдяки його високій точності, можливості контролю параметрів процесу та мінімізації термічного навантаження на імплантат. Було рекомендовано використовувати температурний режим у межах 900–1200 °C, інертне газове середовище (аргон або азот), а також забезпечити

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контроль швидкості напилення та товщини покриття для досягнення найкращих результатів.

Особливу увагу приділено підготовці поверхні імплантату, яка включає механічну та хімічну обробку для створення оптимальної шорсткості, чистоти та активності поверхні. Використання методів профілометрії та мікроскопії дозволяє забезпечити якісний контроль обробленої поверхні.

Розглянуто вплив термічного циклу на формування мікроструктури покриття. Оптимальні параметри нагрівання, утримання температури та охолодження забезпечують рівномірну структуру, високу адгезію та відсутність дефектів, таких як тріщини чи внутрішні напруження. Це гарантує довговічність імплантату та його ефективну інтеграцію з кістковою тканиною.

Таким чином, запропоновані технологічні рекомендації та оптимізація параметрів процесу нанесення покриття дозволяють створювати зубні імпланти з покращеними механічними та біологічними властивостями, відповідно до сучасних стандартів стоматологічної імплантології.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА НА ДІЛЬНИЦІ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

Організація виробництва на ділянці нанесення покриттів для зубних імплантатів вимагає суворого дотримання стандартів, які регламентують якість продукції та безпеку пацієнтів. Ці стандарти охоплюють як міжнародні, так і національні вимоги, що забезпечують відповідність продукції найвищим вимогам.

5.1 Міжнародні стандарти у виробництві зубних імплантатів

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробила низку стандартів, які регулюють виробництво та контроль якості зубних імплантатів. Основними з них є:

- **ISO 13485:2016** — стандарт, що визначає вимоги до систем управління якістю для виробників медичних виробів, включаючи зубні імплантати. Він охоплює аспекти проектування, виробництва, встановлення та обслуговування, забезпечуючи відповідність продукції регуляторним вимогам;
- **ISO 9001:2015** — загальний стандарт систем управління якістю, який застосовується в різних галузях, включаючи виробництво медичних виробів. Він сприяє підвищенню ефективності процесів та задоволенню потреб споживачів;
- **ISO 10451:2010** — стандарт, що визначає зміст технічного файлу систем зубних імплантатів, включаючи вимоги до документації, необхідної для оцінки відповідності та безпеки виробів.

Дотримання цих стандартів забезпечує високу якість продукції та її безпеку для пацієнтів.

					132.6131м.19.03.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Національні стандарти України у виробництві зубних імплантатів

В Україні впроваджено національні стандарти, гармонізовані з міжнародними, що регулюють виробництво зубних імплантатів:

- **ДСТУ EN ISO 13485:2018** — національний стандарт, ідентичний ISO 13485:2016, який встановлює вимоги до систем управління якістю для виробників медичних виробів;
- **ДСТУ EN ISO 9001:2018** — стандарт, що відповідає ISO 9001:2015, регламентує загальні вимоги до систем управління якістю;
- **ДСТУ EN ISO 10451:2022** — стандарт, що визначає зміст технічного файлу систем зубних імплантатів, гармонізований з ISO 10451:2010.

Виконання вимог цих стандартів є обов'язковим для виробників, що прагнуть забезпечити якість та безпеку своєї продукції на українському ринку.

Висновки до розділу 5

Дотримання міжнародних та національних стандартів у виробництві зубних імплантатів є критично важливим для забезпечення їхньої якості та безпеки. Впровадження систем управління якістю відповідно до ISO 13485 та ISO 9001 дозволяє оптимізувати виробничі процеси та підвищити задоволеність споживачів. Забезпечення відповідності технічної документації вимогам ISO 10451 гарантує прозорість та контроль на всіх етапах життєвого циклу продукції. Таким чином, інтеграція цих стандартів у виробничі процеси сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції на міжнародному ринку та забезпечує довіру пацієнтів до якості зубних імплантатів.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ НАНЕСЕННІ ПОКРИТТІВ

Охорона праці є ключовим аспектом у виробничих процесах, пов'язаних із виготовленням зубних протезів з матеріалу гідроксилапатит. Завдяки своїм унікальним властивостям, таким як висока міцність, біосумісність та естетичний вигляд, став популярним матеріалом у сучасній стоматології. Проте робота з цим матеріалом має низку ризиків, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників та створювати небезпеку на робочому місці.

6.1 Потенційні небезпеки та ризики при роботі з гідроксиапатитом

На виробництві зубних протезів можуть виникати наступні види нещасних випадків:

1. *Травми пальців та рук:* Ручна обробка заготовок, моделювання, шліфування або полірування можуть призвести до порізів, ударів та інших пошкоджень рук. Особливо небезпечним є використання ручного ріжучого інструменту без відповідного захисту.

2. *Пошкодження очей:* Використання високошвидкісних інструментів може спричинити розлітання часток, що становить серйозний ризик для очей. Робота без захисних окулярів може призвести до травм рогівки або потрапляння сторонніх часток в око.

3. *Опіки:* Обробка деталей часто передбачає вплив високих температур, наприклад, під час синтеризації матеріалу. Контакт з гарячими поверхнями або нагрітим обладнанням може спричинити термічні опіки.

4. *Вдихання шкідливих речовин:* При шліфуванні та поліруванні утворюється пил, вдихання якого може викликати подразнення дихальних шляхів і навіть професійні захворювання, наприклад, пневмоконіоз.

					132.6131м.19.03.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. *Травми спини та стегон:* Тривала робота в незручній позі або підняття важких заготовок може спричинити фізичне навантаження на опорно-руховий апарат, що може призводити до травм або хронічних захворювань.

6.2 Основні причини нещасних випадків

Аналіз нещасних випадків показує, що більшість із них спричинені наступними факторами:

- *Недостатня підготовка працівників і роботодавців:*
Брак знань щодо безпечного виконання робіт, відсутність регулярних інструктажів та навчань із охорони праці;

- *Відсутність належного контролю за станом безпеки:*
Недотримання встановлених норм, нерегулярний моніторинг робочих місць, недостатнє технічне обслуговування обладнання;

- *Недостатнє забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ):*
Відсутність необхідних захисних окулярів, рукавиць, респіраторів та спеціального одягу підвищує ризик травмування;

- *Повільне впровадження засобів колективного захисту:*
Відсутність витяжних систем, захисних екранів та інших засобів захисту колективного характеру.

6.3 Рекомендації щодо охорони праці

Для забезпечення безпечних умов праці при роботі рекомендується впроваджувати наступні заходи:

1. *Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці:* Інструкції повинні охоплювати всі етапи роботи, включаючи обробку матеріалу, синтеризацію, шліфування та полірування. Працівники повинні регулярно проходити інструктажі.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. *Використання засобів індивідуального захисту:* Працівники мають бути забезпечені окулярами, рукавицями, респіраторами та спеціальним одягом. Усі ЗІЗ повинні відповідати стандартам безпеки.

3. *Забезпечення відповідного технічного оснащення:* Робочі місця повинні бути обладнані системами вентиляції, які видаляють шкідливі пилові частки, та мати надійне освітлення.

4. *Регулярний технічний огляд обладнання:* Обладнання, що використовується для обробки, повинно регулярно перевірятися на справність. Це знижує ризик виникнення аварійних ситуацій.

5. *Організація ергономічних робочих місць:* Висота робочих столів, стільців та інструментів повинна відповідати вимогам ергономіки, щоб зменшити фізичне навантаження на працівників.

6. *Контроль за концентрацією шкідливих речовин у повітрі:* Регулярні заміри концентрації пилу та інших речовин дозволяють оперативно реагувати на перевищення допустимих норм.

7. *Навчання працівників:* Працівники мають проходити регулярні тренінги з безпечного виконання робіт, розпізнавання ризиків і дій у надзвичайних ситуаціях.

6.4 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на персонал під час виготовлення та нанесення покриттів

Процес нанесення покриттів на зубні імпланти супроводжується рядом виробничих обставин, які потребують врахування для забезпечення безпеки працівників та ефективності роботи. Важливо мінімізувати вплив небезпечних і шкідливих факторів, забезпечити належні умови праці та знизити ризики травмування.

Основні складові виробничого середовища

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Робоче середовище: Умови, в яких здійснюється нанесення покриття, включають температурний режим, вентиляцію, освітлення та рівень шуму. Недостатній контроль цих факторів може негативно впливати на продуктивність працівників та створювати ризики для здоров'я;

2. Робоче обладнання: Для нанесення покриттів використовуються спеціалізовані установки, такі як мікроплазмові напилювачі та печі для синтеризації. Обладнання повинно бути справним і мати засоби для захисту працівників від випромінювання, високих температур і шкідливих речовин;

3. Робочі інструменти: Серед інструментів, які застосовуються під час роботи, можна виділити розпилювачі порошків, пістолети для плазмової обробки та інші допоміжні пристрої. Неправильне використання або зберігання цих інструментів може стати причиною травмування;

4. Робочі матеріали: Для нанесення покриттів використовуються матеріали, такі як порошковий гідроксиапатит, титанові дроти та інертні гази (аргон, азот). Важливо дотримуватися правил поводження з цими матеріалами, щоб уникнути шкідливих впливів на працівників;

5. Робочі процеси: Основними етапами нанесення покриттів є підготовка поверхні, напилення покриття та подальший контроль якості. Кожен з цих етапів має специфічні ризики, які потребують дотримання правил охорони праці.

Потенційні небезпечні фактори

1. Пил та аерозолі: Під час нанесення покриттів можуть утворюватися пил та аерозолі, які містять мікрочастинки титану або гідроксиапатиту. Вдихання цих частинок може негативно впливати на дихальні шляхи працівників;

2. Теплове випромінювання: Використання високотемпературної плазми для нанесення покриття може створювати ризики опіків або теплового стресу. Працівники мають використовувати термостійкий одяг і дотримуватися безпечної дистанції від джерела тепла;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Електричні небезпеки: Робота з плазовими установками включає ризику ураження електричним струмом, тому необхідно дотримуватися правил електробезпеки та регулярно перевіряти стан електрообладнання;

4. Механічні травми: Використання інструментів і обладнання може призвести до порізів, ударів або пошкоджень шкіри. Засоби індивідуального захисту, такі як рукавиці та захисні окуляри, є обов'язковими;

5. Шум та вібрація: Працюючи з обладнанням для напилення, працівники можуть зазнавати впливу шуму та вібрації, що може спричиняти дискомфорт або довготривалі проблеми зі здоров'ям.

Запобіжні заходи

Для забезпечення безпеки працівників та запобігання нещасним випадкам слід впроваджувати такі заходи:

- Інструктаж та навчання: Регулярні тренінги з питань охорони праці допомагають працівникам правильно поводитися з обладнанням та матеріалами, знижуючи ризики травмувань;

- Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): Обов'язковим є використання респіраторів, захисних окулярів, термостійкого одягу та рукавиць. Це забезпечує захист від пилу, теплового випромінювання та механічних пошкоджень;

- Контроль робочого середовища: Системи вентиляції повинні ефективно видаляти пил та аерозолі, а контроль температури та рівня шуму має відповідати встановленим стандартам;

- Організація робочого місця: Робочі зони мають бути обладнані системами для захисту від пилу, ізоляційними екранами та достатнім освітленням.

6.5 Організація робочого місця

На рисунку 6.1. Зображені варіанти привильних робочих місць для обробки.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок. 6.1 – Робоче місце для подальшої обробки імплантатів з покриттями

Процес нанесення покриттів на зубні імплантати вимагає ретельної організації робочого середовища, дотримання стандартів безпеки та ефективного управління ризиками. Належна організація робочого місця дозволяє мінімізувати вплив шкідливих факторів, забезпечує здоров'я працівників і підвищує якість виконаних робіт.

Основні складові виробничого середовища

1. Робоче середовище: Умови праці, такі як температура, вологість, вентиляція та рівень освітлення, безпосередньо впливають на ефективність роботи. Для зон напilenня покриттів необхідно передбачити спеціальні витяжні системи, які зменшують концентрацію шкідливих речовин у повітрі, та оптимальне освітлення для забезпечення точності операцій;

2. Робоче обладнання: Для нанесення покриттів використовуються плазмові установки, напилувачі порошків та системи термічної обробки. Такі установки мають бути обладнані засобами безпеки, зокрема ізоляцією від теплового випромінювання та захистом від ураження електричним струмом;

3. Робочі матеріали: Основними матеріалами є порошковий гідроксиапатит, титанові заготовки та інертні гази, такі як аргон. Робота з цими матеріалами потребує дотримання правил зберігання, маркування та безпечного використання для запобігання забрудненню середовища і виникненню аварійних ситуацій;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Робочі процеси: Основними етапами нанесення покриттів є підготовка поверхні імплантату, напилення та подальший контроль якості. Кожен етап має свої ризики, тому важливо дотримуватись відповідних технічних норм і правил охорони праці.

Потенційні небезпечні фактори

1. Пил та аерозолі: У процесі напилення та обробки матеріалів утворюються пилові частинки та аерозолі, які можуть бути шкідливими для дихальних шляхів. Системи витяжної вентиляції повинні ефективно видаляти ці речовини з робочої зони;

2. Теплове випромінювання: Використання плазмових систем генерує високу температуру, яка може створювати ризики опіків або теплового стресу. Захисний одяг та бар'єри з термостійких матеріалів є необхідними;

3. Електричні небезпеки: Обладнання для плазмового напилення працює під високою напругою, тому важливо забезпечити його ізоляцію, регулярний технічний огляд і дотримання правил електробезпеки;

4. Механічні травми: У процесі роботи з інструментами, такими як ріжучі та шліфувальні елементи, існує ризик порізів або ударів. Засоби індивідуального захисту, такі як рукавиці та окуляри, допомагають запобігти травмам;

5. Шум та вібрація: Робота з плазмовими установками та іншими механізмами може супроводжуватись високим рівнем шуму та вібрацій, що може призводити до дискомфорту або тривалих наслідків для здоров'я. Для зменшення цього впливу використовують шумозахисні навушники та вібропоглинаючі матеріали.

Рекомендації щодо організації робочого середовища

1. Освітлення: Робочі місця повинні бути обладнані яскравим рівномірним освітленням з рівнем 500–1000 люкс, щоб забезпечити точність під час напилення. Рекомендується використовувати лампи з нейтральною

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кольоровою температурою (5000–6500 K) для поліпшення видимості дрібних деталей;

2. Вентиляція: Обладнання для витяжної вентиляції повинно бути встановлене над робочими зонами, де утворюється пил або аерозолі. Використання систем із подвійними фільтрами дозволяє ефективно очищати повітря і зменшувати ризик забруднення;

3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): Респіратори, захисні окуляри, термостійкі рукавиці та спеціальний одяг є обов'язковими для захисту працівників від шкідливих факторів. ЗІЗ повинні відповідати міжнародним стандартам безпеки;

4. Навчання працівників: Персонал, залучений до нанесення покриттів, повинен проходити регулярне навчання з безпечного використання обладнання, методів роботи з матеріалами та дотримання протоколів охорони праці;

5. Моніторинг та контроль: Система моніторингу виробничого середовища повинна включати вимірювання рівня пилу, температури, шуму та вібрації. Це дозволяє вчасно виявляти відхилення та усувати потенційні ризики.

Висновки до розділу 6

У розділі було проаналізовано ключові аспекти охорони праці та навколишнього середовища при нанесенні покриттів на зубні імпланти. Було визначено основні потенційні небезпеки, включаючи вплив пилу, теплового випромінювання, електричних ризиків, шуму та вібрації. Особливу увагу приділено організації робочого місця, яке має відповідати сучасним вимогам безпеки та ергономіки.

Розглянуті заходи, такі як впровадження систем вентиляції, використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), навчання працівників та регулярний моніторинг виробничого середовища, спрямовані на забезпечення здоров'я та безпеки персоналу. Було акцентовано увагу на важливості правильного

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

освітлення, яке забезпечує точність операцій, а також на необхідності технічного обслуговування обладнання для мінімізації аварійних ситуацій.

Запропоновані рекомендації з організації безпечного робочого середовища не лише знижують ризик нещасних випадків, але й підвищують ефективність та якість роботи. Виконання цих заходів сприятиме створенню сприятливих умов праці, забезпеченню довготривалої експлуатації обладнання та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.					ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник											
Консультант								НУК			
Н. Контр.											
Зав. каф.											

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Дослідження та удосконалення технології виготовлення зубних керамічних імплантатів» спрямована на вирішення актуальних завдань у галузі стоматологічної імплантології, зокрема вдосконалення процесів виготовлення імплантатів із використанням сучасних матеріалів і технологій. У процесі виконання роботи були досягнуті наступні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану технологій виготовлення зубних імплантатів. У роботі детально розглянуто як традиційні (фрезерування, лиття, механічна обробка), так і інноваційні методи (3D-друк, селективне лазерне спікання, плазмове напилення). Виокремлено переваги та недоліки кожного з методів. Інноваційні підходи, такі як адитивне виробництво, демонструють значний потенціал завдяки своїй точності, можливості персоналізації та зниженню витрат матеріалів. Традиційні методи залишаються актуальними завдяки їхній надійності та доступності.

2. Оцінено вплив матеріалів і покриттів на остеоінтеграцію імплантатів. Особливу увагу приділено дослідженню гідроксиапатиту як покриття, що значно покращує біосумісність і сприяє остеоінтеграції. Встановлено, що поєднання титану з біоактивними матеріалами забезпечує високу міцність, стійкість до корозії та прискорює процес загоєння після імплантації. Дослідження показали, що використання нанотехнологій у виробництві покриттів із гідроксиапатиту може ще більше підвищити ефективність процесу остеоінтеграції.

3. Розроблено рекомендації щодо технологічних параметрів нанесення покриттів. На основі аналізу впливу термічного циклу на структуру та властивості покриттів запропоновано оптимальні температурно-часові параметри для плазмового та лазерного напилення. Ці параметри дозволяють досягти високої якості покриттів, забезпечуючи однорідність, мінімальну пористість і високу

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адгезію до основи імплантату. Розроблені рекомендації можуть бути використані у промисловому виробництві для вдосконалення існуючих технологій.

4. Виконано розрахунковий аналіз економічної ефективності технологій. Запропоновані технології нанесення покриттів є економічно обґрунтованими, оскільки забезпечують мінімізацію витрат матеріалів і скорочення часу виготовлення імплантатів. Розрахунки собівартості показали, що впровадження новітніх методів, таких як плазмове напылення, є конкурентоспроможним у порівнянні з традиційними технологіями, особливо при масштабному виробництві.

5. Розглянуто аспекти охорони праці та екології. У роботі акцентовано увагу на необхідності дотримання заходів безпеки при роботі з титановими матеріалами, гідроксиапатитом і високотемпературними установками. Запропоновано рекомендації щодо зменшення шкідливого впливу на довкілля, зокрема використання замкнених циклів виробництва для утилізації відходів.

6. Розроблено методику експериментальних досліджень. Методика включала використання сучасного обладнання для нанесення покриттів, мікроскопічного аналізу отриманих зразків, а також випробування їхніх механічних і біологічних властивостей. Отримані результати підтвердили ефективність запропонованих технологій.

Результати дослідження підтверджують ефективність запропонованих рішень для вдосконалення технології виготовлення зубних імплантатів. Інтеграція сучасних матеріалів, таких як гідроксиапатит, із новітніми технологіями нанесення покриттів дозволяє значно покращити механічні властивості, біосумісність та довговічність імплантатів. Запропоновані технологічні рекомендації можуть бути використані у промислових умовах для забезпечення високої якості стоматологічних імплантатів.

Подальші роботи можуть бути спрямовані на:

- розробку багатофункціональних покриттів із використанням нанотехнологій;
- впровадження автоматизованих систем контролю якості;

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дослідження нових біоактивних матеріалів і методів їхнього напilenня.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. BIOSOVMESTIMYE POKRYTIYA NA TITANOVYE IMPLANTY IZ POROSHKOVYKH MEKHANOKOMPOZITOV SOSTAVA GIDROKSIAPATIT-KALTSIYA-NIKELID-TITANA [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/biosovmestimye-pokrytiya-na-titanovye-implanty-iz-poroshkovyh-mehanokompozitov-sostava-gidroksiapatit-kaltsiya-nikelid-titana/viewer>
2. Двохлайне біокерметне покриття титан — гідроксіапатит [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://patonpublishinghouse.com/as/pdf/2011/pdfarticles/12/9.pdf>
3. Дубовий О. М., Карпеченко А. А., Бобров М. М. Технологія газотермічного і вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів = Thermal and Vacuum-Condensation Spray Technology. Миколаїв: НУК, 2018. 123 с.
4. Імплантація зубів нижньої щелепи [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ameldental.com/uk/services/implantacziya-zubiv/implantacziya-zubiv-nizhno%D1%97-shhelepi-metodi-i-osoblivosti/>
5. Імплантація зубів у стоматології SILK [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://silkdentist.com.ua/uk/implantatsiya-zubov-v-stomatologii-silk-ua/>
6. Dental Implants: Modern Materials and Methods of Their Surface Modification [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/23/7383>
7. The Making of a Dental Implant [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://insights.globalspec.com/article/8101/the-making-of-a-dental-implant>
8. Metallic Dental Implants Wear Mechanisms, Materials, and Manufacturing Processes: A Literature Review [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/1/161>
9. Digital Fabrication of Dental Implant Prostheses [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://decisionsindentistry.com/article/digital-fabrication-of-dental-implant-prostheses/>

					132.6131м.19.00.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.quintessence-publishing.com/deu/en/journal/the-international-journal-of-oral-maxillofacial-implants>

11. Вплив термічного циклу напилення на механічні властивості та опір крихкому руйнуванню металу зтв залізничної сталі м76 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://patonpublishinghouse.com/as/pdf/2019/pdfarticles/12/2.pdf>

12. Дослідження впливу термічного обробляння на структуру та властивості зони термічного впливу в наплавках (зварних з'єднаннях) із високохромистих нержавких сталей [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/0d6c7b2a-04cf-4781-a389-0b37f95f68a4/content>

13. Дослідження процесу утворення структури поверхневого напиленого шару [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/27381/7232.pdf>

14. Лиття [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://medgarant.in.ua/lab/littya>

15. Обробка [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.zuby.in.ua/?p=8289>

16. Селективне лазерне спікання (Selective Laser Sintering, SLS) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pro3d.com.ua/a368590-selektivne-lazerne-spikannya.html>

17. Гідроксилапатит [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%82>

18. Danilchenko SN, Kukharenko OG, Moseke C, et al. Determination of the bone mineral crystallite size and lattice strain from diffraction line broadening. *Cryst. Res. Technol.* 2002. V. 37(11). P. 1234–1240.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Pramanik N, Mohapatra S, Bhargava P, et al. Chemical synthesis and characterization of hydroxyapatite-poly (ethylene co vinyl alcohol) (EVA) nanocomposite using a phosphonic acid coupling agent for orthopedic applications. *Mater. Sci. Eng. C*. 2009. V. 29. P. 228–236.

					132. 6131м. КР 06.01 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		