

Формирование контролируемой микроструктуры на поверхности титана для повышения эффективности пьезоэлектрических покрытий под воздействием лазерного излучения

Майорова О.Е.¹, Горенский Ф.А.¹
Научный руководитель – Егорова К.А.¹
¹Университет ИТМО
lissenook@yandex.ru

Введение

Титан и его сплавы широко применяются в медицинских имплантатах благодаря биосовместимости и коррозионной стойкости [1]. Однако их биологическая инертность может замедлять остеоинтеграцию, а неоптимальная шероховатость поверхности способствует абразивному износу и высвобождению в окружающие ткани частиц металла, что провоцирует воспалительные реакции [2]. Таким образом, актуальной задачей является поверхностная модификация, направленная на создание микрорельефа, ускоряющего остеогенез и повышение механической стабильности имплантата.

Существующие методы, такие как магнетронное распыление и гидротермальный синтез, позволяют получать биоактивные покрытия. Однако эти методы имеют ряд ограничений. Магнетронное распыление, несмотря на точный контроль состава, требует сложного вакуумного оборудования и может демонстрировать проблемы с адгезией покрытий на титановой подложке [3]. Гидротермальный синтез, в свою очередь, является многостадийным процессом, включающим обработку в агрессивных щелочных растворах при повышенных температуре и давлении в течение длительного времени, что усложняет его внедрение в производство и контроль за результатом [4]. Лазерный синтез из порошковых смесей представляет собой потенциальную альтернативу существующим методам, позволяющую более гибко контролировать свойства формируемого покрытия. Для улучшения остеоинтеграции и долговечности имплантатов перспективны покрытия из титаната стронция SrTiO₃. Такие покрытия демонстрируют улучшенную клеточную адгезию [5] и благодаря пьезоэлектрическим свойствам открывают возможность для управляемой стимуляции костеобразования с помощью внешних факторов (например, терапевтического ультразвука). Также ключевым параметром для успешной остеоинтеграции является шероховатость поверхности (Ra), оптимальное значение которой для костных имплантатов составляет около 2 мкм [6].

Основная часть

В настоящей работе проводится разработка методики создания покрытий на основе SrTiO₃ на поверхности титана. Методика основана на одноэтапном воздействии лазерного излучения через стеклянный ограничивающий слой на предварительно нанесенную порошковую смесь карбоната стронция и диоксида титана.

Для определения области технологически устойчивых режимов была сформирована матрица структур с варьируемыми параметрами скорости сканирования и разрешения записи (лин/мм) лазерного воздействия. Установлено, что формирование сплошного покрытия без дефектов возможно лишь в узком диапазоне режимов, где обеспечивается равномерный нагрев порошковой смеси без перегрева или

недостаточного спекания порошковой смеси. Выбранный диапазон режимов был определен как основа для дальнейшего исследования процесса.

Анализ морфологии структур показал, что полученное покрытие имеет шероховатость, превышающую необходимую для имплантатов. Для решения этой задачи в работе исследованы два подхода к изменению условий обработки. Во-первых, рассмотрено влияние состава порошковой смеси, в частности снижение доли SrCO₃. Во-вторых, разработаны и исследованы схемы лазерной постобработки, которые заключаются в повторном лазерном сканировании уже по сформированному покрытию, но без защитного стекла, с другой схемой обработки. Этот этап направлен на целенаправленное сглаживание микровыступов для достижения требуемой шероховатости поверхности порядка Ra ~ 2 мкм.

Выводы

В ходе проведенной экспериментальной работы были получены следующие основные результаты:

1. Был сформирован и исследован массив режимов лазерного воздействия, а также определены причины и типы возникающих дефектов модификации, такие как несплошность покрытия и термическое разрушение стекла, при изменении параметров скорости сканирования и разрешения записи
2. Была определена допустимая зона режимов лазерного воздействия для создания сплошной поверхностной модификации титана без дефектов. Максимально достижимая производительность составила 1,875 мм²/с
3. Разработанный подход, включающий варьирование состава порошковой смеси и применение схем лазерной постобработки, представляет интерес для создания биомедицинских покрытий с контролируемой шероховатостью. Он направлен на решение ключевой проблемы методики – снижение высокой исходной шероховатости слоя до оптимального для остеоинтеграции уровня (Ra ~ 2 мкм).

Литература

1. Elia Marin, Alex Lanzutti Biomedical Applications of Titanium Alloys: A Comprehensive Review // MDPI. - 2023. - №17. - С. 114.
2. Zhou Z. et al. The unfavorable role of titanium particles released from dental implants //Nanotheranostics. – 2021. – Т. 5. – №. 3. – С. 321.
3. Sergey N. Grigoriev et al. Modifying Coatings for Medical Implants Made of Titanium Alloys // MDPI. - 2023. - №13. - С. 718.
4. Andrew Hayles et al. Hydrothermally etched titanium: a review on a promising mechano-bactericidal surface for implant applications // Materials Today Chemistry . - 2021. - №22.
5. Wu C. et al. A novel structure design of barium strontium titanate piezoelectric coating on titanium surface enhanced its response to low-intensity pulsed ultrasound //Surface and Coatings Technology. – 2024. – Т. 479. – С. 130497.
6. Nicolas-Silvente A. I. et al. Influence of the titanium implant surface treatment on the surface roughness and chemical composition //Materials. – 2020. – Т. 13. – №. 2. – С. 314.