

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-203

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МИКРОДУГОВЫХ
КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ И ОКСИДА ЦИНКА**

Чебодаева В.В., Седельникова М.Б., Бакина О.В.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

На сегодняшний день существует необходимость разработки биоматериалов с антибактериальными свойствами и низкой токсичностью для применения в контакте с биологической тканью. Использование различного рода имплантатов в хирургической практике связано с высоким риском развития послеоперационных осложнений инфекционно-воспалительной этиологии, которые составляют более 15% [1]. Применяемые в настоящее время методы антибактериальной профилактики и терапии не всегда приводят к гарантированной санации области хирургического вмешательства, что в дальнейшем влечет за собой её реинфекцию, и может способствовать формированию резистентных штаммов микроорганизмов. Многочисленные исследования [2-3] демонстрируют эффективность наночастиц металлов и оксидов металлов в борьбе с бактериями при отсутствии формирования резистентности бактерий. Перспективным является применение наноструктурных оксидов металлов таких как $\text{AlO}(\text{OH})$ или ZnO , проявляющих выраженную антимикробную активность, но при этом характеризующихся низким токсическим эффектом в сравнении с монометаллическими частицами (Zn , Ag или Al) [2].

Для лечения поврежденной костной ткани или для ее замены необходимо использовать материалы, обеспечивающие фиксацию в течение длительного времени (12–18 месяцев) [1]. Для этой цели чаще всего применяют титан и его сплавы, которые являются наиболее перспективными для создания имплантатов в силу биосовместимости, коррозионной стойкости и основных механических свойств [1,3].

Целью работы являлось изучение свойств биопокровов, сформированных методом микродугового оксидирования (МДО) и модифицированных наночастицами оксигидроксида алюминия и оксида цинка. В качестве экспериментальных образцов использовали пластинки с размерами $10 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$ из титана марки ВТ1-0. КФ покрытие наносили на поверхность титана методом МДО на установке «MicroArc-3.0» в анодном потенциостатическом режиме, в электролите на основе водного раствора ортофосфорной кислоты, карбоната кальция и гидроксиапатита [3]. При формировании покрытий использовали следующие параметры: длительность импульса – 100 мкс, частота следования импульсов – 50 Гц, величина импульсного напряжения – 200 В, длительность процесса – 10 мин. Морфологию и элементный состав КФ покрытий исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе «LEO EVO-50» с приставкой «INCA-350» для энергодисперсионного микроанализа (ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск). Шероховатость измеряли на профилометре 296 (ИФПМ СО РАН, г. Томск). Рентгенофазовый состав покрытий определяли методом рентгенофазового анализа с использованием $\text{CoK}\alpha$ -излучения (ДРОН-07, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех», г. Томск). Исследование антибактериальной активности КФ покрытий проводили с помощью стандартного суспензионного метода, оценки чувствительности бактерий *Staphylococcus aureus* ATCC 6538Р к действию образцов при облучении ультрафиолетовым светом.

Готовые КФ покрытия модифицировали в суспензиях с нанопорошками AlN и ZnO , для получения в покрытии наночастиц бемита и оксида цинка, соответственно. Перед осаждением наночастиц, суспензии подвергали предварительному ультразвуковому (УЗ) диспергированию агломератов нанопорошков в течение часа. Для получения наночастиц бемита суспензию с образцами нагревали для проведения реакции гидролиза (см. фор. 1), продуктами которой являлись наночастицы $\text{AlO}(\text{OH})$ [3].



Исследования методом РЭМ показало, что поверхность покрытий, сформированных при напряжении процесса 200 В без модификации, является однородной и представлена структурными элементами сферической формы с порами. Модификация наночастицами оксигидроксида алюминия таких покрытий привела к формированию в покрытии агломератов наночастиц $\text{AlO}(\text{OH})$ размером до 10 мкм. Введение наночастиц ZnO приводит к появлению в покрытии агломератов наночастиц ZnO по форме близкой к сферической. При этом покрытие с наночастицами оксида цинка характеризуются более равномерным распределением частиц.

Установлено, что немодифицированные покрытия и покрытия, модифицированные наночастицами $\text{AlO}(\text{OH})$ находятся в рентгеноаморфном состоянии, о чем свидетельствует наличие областей диффузного рассеяния на рентгенограмме в области углов 10–45 градусов. После модификации покрытий наночастицами оксида цинка, на рентгенограммах появлялись рефлекс ZnO .

Наибольший антибактериальный эффект оказывают наночастицы ZnO , введенные в КФ покрытие. При этом, количество колониеобразующих единиц (КОЕ) *S. aureus* уменьшилось от 9800 до 20 на 100 мл фильтрата после 6 часов культивирования. КФ биопокрытие с наночастицами оксигидроксида алюминия также проявляет антибактериальные свойства, количество КОЕ уменьшается от 9800 до 7440 на 100 мл фильтрата по сравнению с немодифицированным КФ покрытием.

Таким образом, было установлено, что в результате введения наночастиц происходит изменение морфологии покрытий, их фазового и элементного составов. Исследования антибактериальных свойств покрытий выявило, что введение наночастиц обоих типов приводит к уменьшению количества КОЕ после взаимодействия с модифицированными покрытиями. КФ покрытия, модифицированные наночастицами оксигидроксида алюминия обоих типов показали антимикробный эффект в отношении *S. aureus* штамм 209 через продукты своего растворения, в том числе за счет выхода наночастиц. При этом, покрытия с наночастицами ZnO обладали наиболее заметным антибактериальным действием на микроорганизмы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2021-0007.

1. S. Y. Wong, Q. Li, J. Veselinovic, B. Kim, A. M. Klibanov, P. T. Hammond. Bactericidal and virucidal ultrathin films assembled layer by layer from polycationic N-alkylated polyethylenimines and polyanions // *Biomaterials*. 2010. Vol.31. P. 4079–4087.
2. Bakina O. V. et al. Flower-shaped Micro/nanostructures Based on AlOOH with Antimicrobial Activity Against *E. coli* // *Current Nanoscience*. 2019. Vol. 15. No. 5. P. 525-531.
3. Chebodaeva V.V., Sedelnikova M.B. Structure and Properties of CaP coatings Formed by Micro- arc Oxidation and Modified by ZnO Nanoparticles // *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2310. P. 020055-1–020055-5