ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/286

ФОРМИРОВАНИЕ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ МИКРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ С ИМПРЕГНИРОВАННЫМИ ЦИНКСОДЕРЖАЩИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

¹Чебодаева В.В., ¹Седельникова М.Б., ²Бажанова В.С., ^{1,3}Шаркеев Ю.П.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

³*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск*

В настоящее время существует высокая необходимость разработки новых биоматериалов для создания дентальных и ортопедических имплантатов, применяемых в контакте со средой живого организма. Имплантаты для фиксации поврежденных костей изготавливают из материалов, которые могут обеспечить фиксацию в течение 12–18 месяцев. Поэтому материалы, применяемые для изготовления таких имплантатов, должны выдерживать значительные нагрузки. Наилучшим решением на сегодняшний день является применение таких металлов как титан и его сплавы. По данным US Industry Study [1] титан и сплавы на его основе являются наиболее перспективными для создания имплантатов, в силу биосовместимости, коррозионной стойкости и основных показателей механических свойств.

Чтобы усилить взаимодействие между имплантатом и костной тканью и повысить остеинтеграцию, многие исследователи модифицируют поверхность титана кальцийфосфатными (КФ) покрытиями. Такие покрытия являются привлекательным материалом для регенерации, по составу близким к минеральному составу костей. Перспективным методом для нанесения данных биопокровов на металлические имплантаты является метод микродугового оксидирования (МДО), позволяющий создавать покрытия с пористой структурой и развитой морфологией поверхности, а также вводить в покрытие модифицирующие добавки. Однако ввиду высокой пористости, которая благоприятно сказывается как на адгезии клеток, так и адгезии бактерий, часто имплантаты с такими покрытиями могут инфицироваться. По данным Stevens Institute of Technology (Hoboken, NJ) при применении имплантатов среди постоперационных осложнений инфекции составляют более 15%. Введение в пористое покрытие таких наночастиц как ZnO, TaCu, FeCu или TaZn позволит придать антибактериальный эффект имплантату с помощью локального высвобождения антибактериальных агентов и усилить механические характеристики биопокровов. Известно, что цинк является важным микроэлементом в костной ткани человека. Он играет значительную роль в биологических функциях, таких как синтез ДНК, активность ферментов, обмен веществ нуклеиновых кислот, биоминерализация, гормональная активность, наряду с этим обладает высокими антибактериальными свойствами.

Целью работы было формирование кальцийфосфатных покрытий с наночастицами оксида цинка и исследование свойств данных покрытий.

В работе в качестве подложек использовали пластины размерами 10×10×1 мм³ из «чистого» титана марки VT1-0. КФ покрытие формировали методом МДО на установке «MicroArc-3.0» в электролите на основе водного раствора ортофосфорной кислоты, карбоната кальция и гидроксиапатита. Морфологию поверхности КФ покрытий исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе «LEO EVO-50» (ЦКП Нанотех, Томск). Исследование смачиваемости проводили на установке «Easy Drop DSA1» Kruss (НИ ТПУ, г. Томск). Для расчета свободной поверхностной энергии покрытий был выбран метод Оуэнса-Вендта. Наночастицы ZnO осаждали на сформированные КФ покрытия с помощью их пропитки в суспензии с дистиллированной водой и нанопорошком ZnO с одновременным ультразвуковым (УЗ) воздействием. Длительность предварительной УЗ обработки суспензии с нанопорошком ZnO перед введением наночастиц в покрытие варьировали от 10 до 60 мин.

Исследование морфологии поверхности КФ покрытий методом РЭМ показало, что морфология КФ покрытия при режиме осаждения наночастиц оксида цинка после УЗ обработки длительностью 10 мин представлена целыми и частично разрушенными сфероидальными образованиями и неравномерно распределенными агломератами с

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

наночастицами оксида цинка (рис. 1а). Постепенное увеличение длительности УЗ обработки порошка длительностью 60 мин (рис. 1б) приводит к уменьшению областей с наночастицами оксида цинка и более равномерному распределению наночастиц оксида цинка в виде «налета» на поверхности сфер и внутри пор покрытия. Шероховатость покрытий после модифицирования наночастицами оксида цинка увеличилась от $R_a=2,5$ мкм до $R_a=3,1$ мкм. Также, установлено, что с ростом длительности УЗ обработки суспензии с порошком от 10 до 60 минут приводит к уменьшению содержания цинка в покрытии от 2.8 ат.% до 1.5 ат.%. Кроме того, в покрытии присутствовали следующие элементы: Са (3.2-3.6 ат.%), Р (14,9-15.0 ат.%), О (68,2-68.6 ат.%) и Ti (9.9-11,1 ат.%).

Рис. 1. а – РЭМ-изображения КФ покрытий с наночастицами оксида цинка (белыми линиями выделены агломераты с наночастицами оксида цинка).

Исследование смачиваемости показало, что после модификации наночастицами ZnO величина краевых углов увеличивается 20 от 68 градусов с водой и от 31 до 96 градусов с глицерином. При этом поверхностная энергия данных покрытий уменьшается от 73 мДж/м² до 70 мДж/м² с преобладающей дисперсионной компонентой. Варьирование длительности предварительной УЗ обработки суспензии с ZnO не приводит значительным изменениям краевых углов и поверхностной энергии.

Таким образом, методом МДО на титановых образцах были получены КФ пористые покрытия с импрегнированными наночастицами оксида цинка. Исследования смачиваемости показало, что введение наночастиц оксида цинка способствует увеличению краевых углов и дисперсионной компоненты поверхностной энергии покрытий. Это свидетельствует о влиянии шероховатости и морфологии на гидрофильные свойства покрытий.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, направление III.23. В заключение авторы выражают благодарность заведующему лабораторией физики высокодисперсных материалов ИФПМ СО РАН Лернеру М.И. за предоставление нанопорошка ZnO и обсуждение результатов исследований.