

## МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МИКРОДУГОВЫХ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ БИОПОКРЫТИЙ НАНОЧАСТИЦАМИ БЕМИТА

*В.В. Чебодаева<sup>1,2</sup>, М.Б. Седельникова<sup>2</sup>*

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. Ю.П. Шаркеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СОРАН

E-mail: vtina5@mail.ru

Свойства поверхности биоматериалов играют важную роль во многих биомедицинских приложениях, поскольку оказывают влияние на биологическую реакцию, тканевую совместимость и адгезию биологических клеток и биомолекул. Электризация поверхности стоматологических и ортопедических костных имплантатов, конструкция которых состоит из металлической биоинертной основы и диэлектрического биоактивного покрытия, представляет большой практический интерес. В такой системе зарядовое состояние может возникнуть лишь в покрытии, толщина которого меняется в пределах 20–200 мкм. Следовательно, заряд будет иметь небольшую величину, в отличие от заряда целого диэлектрического изделия, и сохраняться в материале в течение нескольких недель. В качестве диэлектрического слоя целесообразно использовать биоактивные кальцийфосфатные покрытия (КФ), обеспечивающие идеальную биосовместимость, активно стимулируя остеогенез и восстановление костной ткани. Для нанесения КФ покрытий на металлические имплантаты перспективным является метод микродугового оксидирования (МДО), позволяющий создавать покрытия с пористой структурой и развитой морфологией поверхности [1], а также вводить в покрытие модифицирующие добавки [1, 2].

Перспективным может стать создание электрического заряда в диэлектрическом покрытии путем осаждения наноразмерных частиц бёмита. Наноструктурный оксигидроксид алюминия (бёмит,  $\text{AlO}(\text{OH})$ ) обладает электроположительным зарядом поверхности, следовательно, и высокими сорбционными свойствами, в том числе и по отношению к микроорганизмам [3].

Целью работы являлось получение КФ покрытия с наночастицами бёмита путём введения алюмонитридной композиции  $\text{AlN}$  в сформированное методом МДО покрытие и изучение влияния длительности предварительной ультразвуковой (УЗ) обработки порошка  $\text{AlN}$  на формирование и свойства КФ биопокрытия с наночастицами бёмита.

В эксперименте использовали образцы из технически чистого титана марки ВТ1-0 в виде пластинок с размерами  $10 \times 10 \times 1$  мм<sup>3</sup>. КФ покрытие формировали методом МДО на установке MicroArc-3.0 при следующих параметрах: длительность нанесения покрытия 5 мин, электрическое напряжение – 200 В. Исследования покрытий на смачиваемость проводили на установке Kruss Easy Drop DSA1 [2].

Наночастицы бёмита осаждали на КФ покрытия следующим образом. Образцы титановых пластинок с КФ покрытием помещали в водную суспензию с  $\text{AlN}$ , подвергнутую предварительной УЗ обработке при частоте 35 кГц. Длительность УЗ обработки варьировали от 20 до 60 мин. Для равномерного распределения наноразмерных структур  $\text{AlN}$  на поверхности КФ покрытия проводили дополнительную УЗ обработку образцов в суспензии в течение 5 мин. Формирование наночастиц бёмита на поверхности КФ покрытия осуществлялось в ходе реакции гидролиза нитрида алюминия, активируемой путём подогрева суспензии с образцами. После прохождения реакции гидролиза образцы высушивали на воздухе.

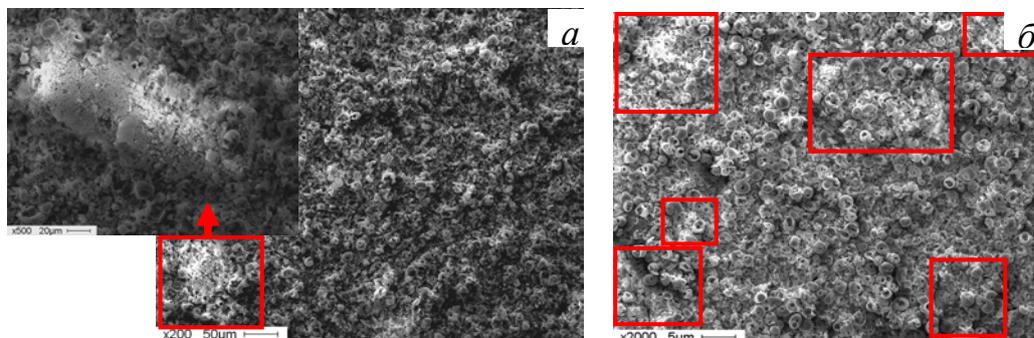


Рис. 1. РЭМ-изображения КФ покрытий, модифицированных наночастицами бёмита с длительностью предварительной УЗ обработки: а) 20 мин; б) 60 мин. Красным выделены области с высоким содержанием Al

Исследования показали, что длительность предварительной УЗ обработки суспензии с  $\text{AlN}$  оказывает значительное влияние на формирование частиц бёмита и их распределение на поверхности КФ покрытий. Морфология КФ микродуговых покрытий после формирования наноразмерных структур и реакции гидролиза

представлена сфероидальными образованиями, целыми и частично разрушенными. В покрытии наблюдаются неравномерно распределенные агрегаты размером до 20 мкм, а также области скопления более мелких частиц размером порядка 100 нм.

Элементный анализ показал высокую концентрацию алюминия (Al) в данных областях (16,7 ат.%). Это позволяет предположить, что новообразования представляют собой частицы бемита. Следует отметить, что Al присутствует и в покрытии, но в меньшем количестве (2,1 ат.%). Также в покрытии содержатся следующие элементы: фосфор (21,5 ат.%), кальций (7,8 ат.%), кислород (26,2 ат.%) и материал подложки – титан (23,6 ат.%). Последовательное увеличение длительности предварительной УЗ обработки суспензии с AlN от 20 до 60 мин приводит к уменьшению размеров характерных областей с высоким содержанием Al, образующихся на поверхности КФ покрытий и к более равномерному распределению данных областей в покрытии.

Исследование смачиваемости микродуговых КФ покрытий с осажденными наночастицами бемита при разной длительности предварительной УЗ обработки суспензии с AlN показало, что повышение длительности УЗ обработки от 20 до 60 мин приводит к линейному уменьшению краевых углов смачивания КФ покрытий водой от 50 до 10° и глицерином от 60 до 35°, что указывает на повышение их гидрофильных свойств (рис. 2). При этом поверхностная энергия КФ покрытий увеличивается от 50 до 110 мН/м.

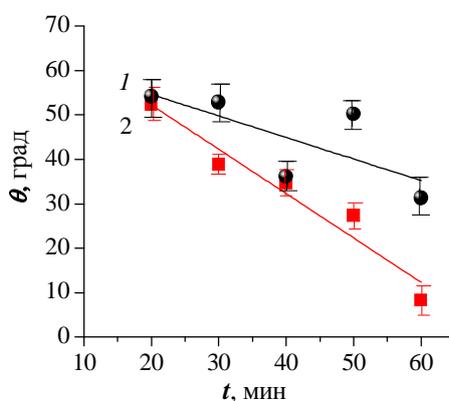


Рис. 2. Графики изменения смачиваемости КФ покрытий, модифицированных наночастицами бемита, в зависимости от длительности предварительной УЗ обработки суспензии с AlN (1 – глицерин, 2 – вода)

Таким образом, длительность предварительной УЗ обработки суспензии с AlN влияет на морфологию и смачиваемость КФ покрытий. Увеличение длительности УЗ обработки от 20 до 60 мин приводит к более равномерному распределению областей с наночастицами бемита по поверхности КФ покрытий и уменьшению их размеров. Кроме того, при увеличении длительности предварительной УЗ обработки суспензии с AlN до 60 мин, уменьшается краевой угол смачивания покрытий водой и глицерином до 10 и 35 град, соответственно и увеличивается поверхностная энергия КФ покрытий до 110 мН/м. Это свидетельствует об улучшении гидрофильных свойств покрытий и изменении характера химических связей в КФ покрытиях.

*В заключение авторы выражают благодарность заведующему лабораторией физики высокодисперсных материалов ИФПМ СО РАН Лернеру М.И. и сотрудникам лаборатории Глазковой Е.А. и С.О. Казанцеву за предоставление порошка AlN и проведение исследований.*

*Работа выполнена по государственному заданию ИФПМ СО РАН на 2015-2017 г., проект 23.2.5.*

#### Список литературы

1. Комарова Е., Чебодаева В., Шаркеев Ю. и др. Effect of surface topography and chemical composition on wettability of calcium phosphate coatings formed on Ti-40Nb alloy // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 683. – P. 370–376.
2. Комарова Е.Г. Шаркеев Ю.П., Седельникова М.Б. и др. Структура и свойства микродуговых кальций-фосфатных покрытий на основе цинк и медь замещенного гидроксиапатита // Известия вузов. Физика. – 2015. – Т. 58. – С. 117–121.
3. Глазкова Е.А., Бакина О.В., Ложкомоев А.С. и др. Гидролиз нанопорошков алюмонитридной композиции // Нанотехника. – 2010. – № 4(24). – С. 51–56.