ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА И ИНЖИНИРИНГ, 2022, том 13, № 6, с. 621–624

МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА И БИОФИЗИКА

УДК 544.72.02,544.076

ФОРМИРОВАНИЕ ТИТАНОВЫХ НАНОТРУБОК НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

© 2022 г. Е. А. Гостева[a, b, c, *], А. Б. Дымников[c], М. В Чичков[a], Э. Харка[c], М. Х. Ахмад[c]

[a] *Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Москва, 119049 Россия*

[b] *Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, 115409 Россия*

[c] *Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, 117198 Россия*

**E-mail: gos-3@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.06.2022 г.
После доработки 27.06.2022 г.
Принята к публикации 04.07.2022 г.

В работе представлены результаты серии экспериментов по формированию нанотрубок диоксида титана на поверхности дентальных имплантатов. Исследовались однородность получения покрытий на фигурной поверхности заготовок дентальных имплантатов и морфология получаемой поверхности.

Ключевые слова: дентальные имплантаты, нанотрубки, наноструктурированная поверхность, биосовместимость, остеоинтеграция

DOI: 10.56304/S2079562922030174

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент в ортопедии применяют изделия, созданные из различных сплавов, чаще всего на основе титана. Металлические протезы по-прежнему лидируют в медицинской практике, несмотря на рост использования полимерных материалов в имплантологии. Отсутствие абсолютно биоинертных материалов является общеизвестным фактом. Любой материал, так или иначе, вступает в реакции с окружающей средой. Следовательно, важно понимать, что использование необработанных металлов и сплавов может привести к отторжению имплантатов организмом [1]. В связи с этим важно, чтобы материалы, которые применяют в медицине были биоактивны и биосовместимы. Данная проблема решается при помощи создания необходимого интерфейса между биологической тканью и поверхностью имплантата [2].

Особое внимание уделяется диоксиду титана (TiO_2), что объясняется превосходным сочетание его химических и физических свойств. Наноматериалы на основе TiO_2 – нанопорошки и тонкие пленки имеют большой потенциал и широко применяются в различных сферах [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Заготовки дентальных имплантатов

Для проведения электрохимического формирования покрытий были использованы заготовки дентальных имплантатов, изготовленные из сплава титана марки ВТ 1-00, являющегося прямым аналогом иностранного "чистого" титана марки Grade 1. Главными особенностями используемого сплава являются высокая прочность, пластичность, растяжимость и превосходные антикоррозийные свойства, независящие от температуры. К негативным сторонам сплава можно отнести пониженное содержание кислорода и железа, приводящее к снижению прочности, однако увеличение количества железа в сплаве может привести к образованию прослойки между имплантатом и костью, что будет свидетельствовать о недостаточной биоинертности [4, 5].

Сканирующая электронная микроскопия

Морфология, размерные характеристики, а также химический состав синтезированных покрытий были измерены с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) MAIA 3 (Tescan, Чехия).

Сьемка проводилась в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении от 7 до 20 кВ, величина рабочего отрезка составляла 5 мм.

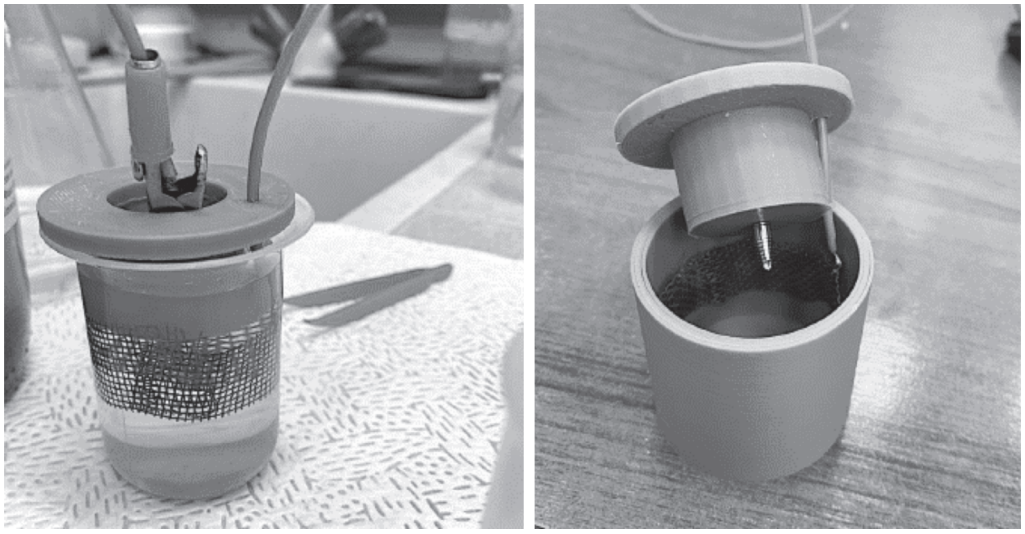

Рис. 1. Внешний вид установки для электрохимического анодирования заготовок дентальных имплантатов.

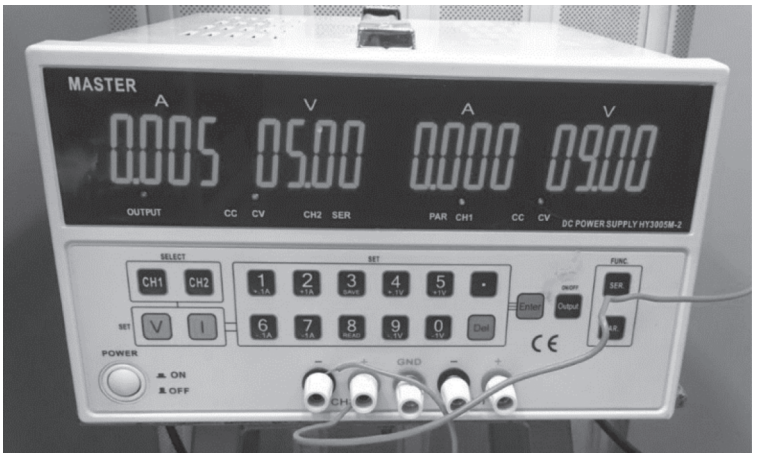

Рис. 2. Источник питания постоянного напряжения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предварительная подготовка образцов

Предварительно исследуемые образцы подвергались очистке от органических загрязнений. В качестве раствора для очистки использовался 5 М раствор соляной кислоты, обработка проводилась в ультразвуковой ванне в течение 10 мин при комнатной температуре. Затем образцы обильно промывались в деионизованной воде и высушивались с помощью сжатого воздуха.

Формирование образцов с нанотрубками на основе диоксида титана на поверхности дентальных имплантатов

Для получение развитой поверхности титана было проведено анодное электрохимическое травление с помощью уникальной установки разработанной для травления дентальных имплантатов в различных растворах электролитов.

На рис. 1 представлена установка, изготовленная при помощи аддитивных технологий по предварительно выполненным чертежам, учитывающим индивидуальные геометрические характеристики используемых заготовок дентальных имплантатов для анодного электрохимического травления. Для электрохимического травления использовались источники питания постоянного напряжения и постоянного тока. Для подачи постоянного напряжения использовался источник питания Mastech HY3005-2, представленный на рис. 2.

На заготовку дентального имплантата подается положительный потенциал от источника по-

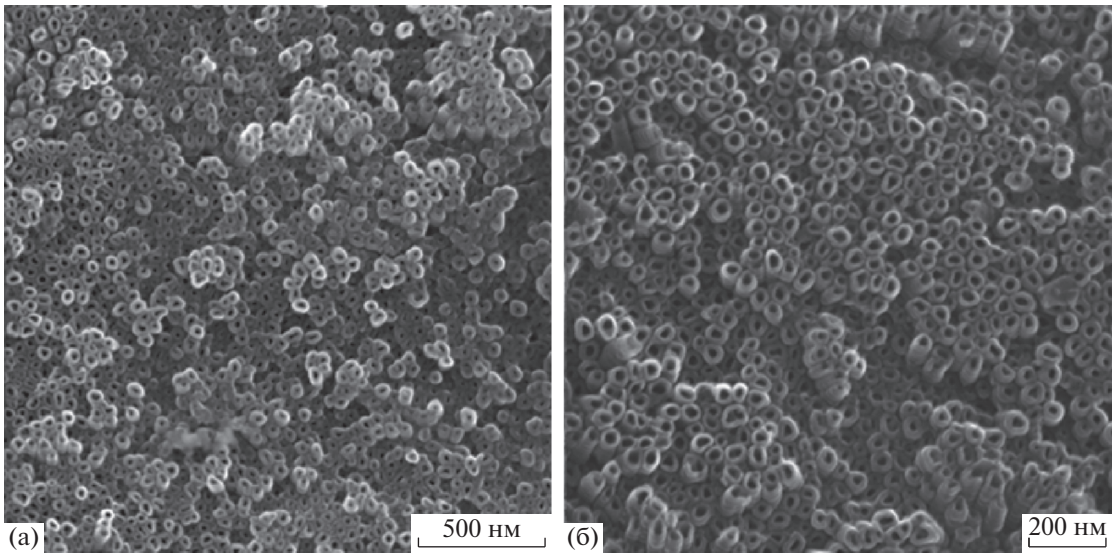

Рис. 3. СЭМ изображение полученных структур при увеличении 96700× (а) , 150000× (б) .

стоянного тока. Отрицательный электрод представляет собой Ni сетку круглой формы, плотно прижатой к стенкам напечатанной формы. Подобная форма электрода обеспечивает однородность электрического поля, а также позволяет удалять с поверхности пузырьки H_2, образующиеся в процессе травления.

Электрохимическое травление титана в растворе на основе этиленгликоля проводилось в нескольких режимах:

Анодное травление в растворе 0.5 мас. % NH_4F + + 4 мас. % H_2O + 95.5 мас. % $C_2H_6O_2$ при постоянном напряжении 30 В в течение 20 мин.

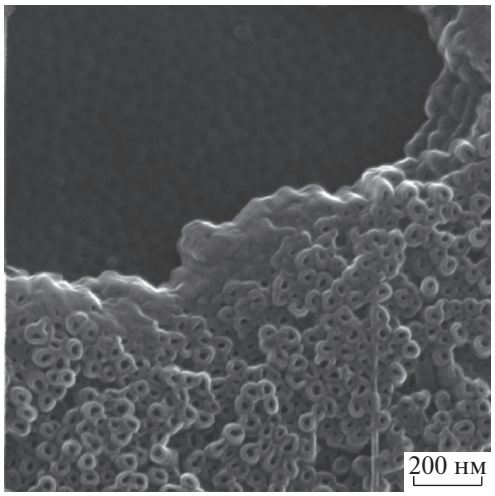

Рис. 4. Частичное оплавление полученной структуры под действием ускоренных электронов при напряжении на катоде 20 кВ.

Анодное травление в растворе 0.5 мас. % NH_4F + + 4 мас. % H_2O + 95.5 мас. % $C_2H_6O_2$ при постоянном токе 50 мА/60 В в течение 60 мин.

Анодное травление в растворе 0.3 мас. % NH_4F + + 2 мас. % H_2O + 97.7 мас. % $C_2H_6O_2$ при постоянном напряжении 60 В в течение 120 мин.

Сканирующая электронная микроскопия

Анализ образцов титана после электрохимического травления в растворах на основе этиленгликоля на СЭМ показал, что на поверхности титана образовалась развитая пористая структура. Более упорядоченная структура образовалась при травлении при 30 V в электролите содержащим 0.3 мас. % NH_4F + 2 мас. % H_2O + 97.7 мас. % $C_2H_6O_2$. Образовавшиеся поры имеют средний диаметр 50 нм, представленная на рис. 3.

При этом при использовании ускоряющего напряжения 20 кВ происходит деградация и отслаивание полученной структуры. Что видно на изображении 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ образцов титана после электрохимического травления в растворах на основе этиленгликоля на СЭМ показал, что на поверхности титана образовалась развитая пористая структура. Более упорядоченная структура образовалась при травлении при 30 V в электролите содержащим 2 мас. воды. Образовавшиеся поры имеют средний диаметр 50 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Чекалкин Т.Л., Олесова В.Н.* // Стоматология. 2013. Т. 92 (3). С. 11–14.
2. *Gosteva E.A., Dymnikov A.B., Starkov V.V., Sedlovets D.M., Valikhov M.P., Vishnevsky D.A., Chekhonin V.P., Tumanyan G.A., Ahmad M.K.* // Biomimetics. 2021. V. 6. P. 61. https://doi.org/10.3390/biomimetics6040061
3. *Chen X.* // Chem. Rev. 2007. V. 107 (7). P. 2891–2959.
4. *Волков А.В., Смбатян Б.С., Назарян Д.Н., Мураев А.А.* // Современные технологии в медицине. 2018. Т. 10 (3). С. 7–13. https://doi.org/10.17691/stm2018.10.3.1
5. *Иванов С.Ю., Калинченко С.Ю., Гусейнов Н.А., Мураев А.А., Сафи А.Т., Поляков К.А., Смыкалова А.С.* // Вестник Росс. акад. мед. наук. 2020. Т. 75 (5). С. 552–560.

Formation of Titanium Nanotubes on the Surface of Dental Implants

E. A. Gosteva[1, 2, 3] *, A. B. Dymnikov[3], M. V. Chichkov[1], E. Harka[3], and M. Kh. Ahmad[3]

[1]National University of Science and Technology MISiS, Moscow, 119049 Russia

[2]National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

[3]Peoples' Friendship University (RUDN University), Moscow, 117198 Russia

**e-mail: gos-3@mail.ru*

Received June 27, 2022; revised June 27, 2022; accepted July 4, 2022

Abstract—This study represents the results of a series of experiments about the formation of titanium dioxide nanotubes on the implants surfaces. Were investigated the obtained uniformity of surface coatings blank in dental implants and the surfaces morphology.

Keywords: dental implants, nanotubes, nanostructured surfaces, biocompatibility, osseointegration