

УДК 620.22:617, P.A.C.S. 67.70. + П

**Nanocomposite coatings with diamond-like carbon –  
material for dental and orthopedic implants**

**Нанокompозитные покрытия с алмазоподобным углеродом –  
материал для дентальных и ортопедических имплантатов**

*A. B. Vladimirov<sup>1</sup>, A. P. Rubshtein<sup>2</sup>, S. A. Plotnikov<sup>3</sup>, S. S. Pushkar<sup>4</sup>*  
*A. Б. Владимиров<sup>1</sup>, А. П. Рубштейн<sup>2</sup>, С. А. Плотников<sup>3</sup>, С. С. Пушкарь<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3</sup> Federal State Budgetary Institution of Science M. N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Sofia Kovalevskoy Str. 18, Yekaterinburg, 620137, Russia

<sup>4</sup> LLC «Private Dentistry», Titova Str. 10, Yemanzhelinsk, Chelyabinsk region, 456584, Russia

<sup>4</sup> corp@nct.dental

<sup>1,2,3</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 620137, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 18

<sup>4</sup> ООО «Частная стоматология», Россия, 456584, Челябинская область, Еманжелинск, ул. Титова, 10

<sup>4</sup> corp@nct.dental

#### ABSTRACT

The paper presents the results of a study of dental and orthopedic titanium implants with a nanocomposite coating containing amorphous diamond-like carbon. It was found that films based on diamond-like carbon increase the biocompatibility of implants and reduce the risk of rejection during their fixation in the bone bed by suppressing the growth of biofilms.

#### KEYWORDS

Titanium implants; nanocomposite coating; biocompatibility.

#### АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования дентальных и ортопедических титановых имплантатов с нанокompозитным покрытием, содержащим аморфный алмазоподобный углерод. Установлено, что пленки на основе алмазоподобного углерода повышают биосовместимость имплантатов и снижают риск отторжения при их фиксации в костном ложе за счет подавления роста биопленок.

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Титановые импланты; нанокompозитное покрытие; биосовместимость.

Проблема разработки биосовместимых материалов для медицинских имплантатов является важной и трудной задачей. Материалы, из которых изготавливаются имплантаты, должны удовлетворять ряду требований. Прежде всего, они должны быть нетоксичными, коррозионностойкими, обладать достаточной прочностью. Кроме того, повышение качества имплантатов за счет применения отечественных наукоемких технологий нанесения

на их поверхность биосовместимых покрытий является актуальной задачей.

Основным материалом для изготовления дентальных и ортопедических имплантатов является титан и его сплавы. Однако использование металлических имплантатов осложняется гальваноэлектрическими явлениями, приводящими к коррозии их поверхности и, как следствие, попаданию металлических ионов в окружающие ткани. Это может вы-

зывать резорбцию костной ткани вокруг имплантата. Различие физико-механических свойств металлического имплантата и костной ткани приводит к микроподвижности имплантата, его расшатыванию, что повышает риск отторжения и необходимости проведения дорогостоящих повторных операций. Повышение остеоинтеграции металлических имплантатов идет в направлении нанесения на их поверхность различного рода покрытий, обладающих биологической совместимостью. Кроме того, покрытия могут повысить прочностные свойства поверхности. В качестве такого покрытия мы предлагаем использовать нанокompозитное покрытие с аморфным алмазоподобным углеродом. В данной работе приводятся результаты испытаний дентальных и ортопедических имплантатов с покрытием на основе аморфного алмазоподобного углерода. Твердый аморфный алмазоподобный материал биологически совместим, не токсичен, обладает остеиндуктивными свойствами [1, 2]. Покрытие из аморфного алмазоподобного углерода снижает риск инфицирования и появления воспалительных реакций, т.к. оно обладает антибактериальными свойствами [3].

### 1. Пример использования покрытия на дентальных имплантатах

Нанокompозитные многослойные покрытия наносились в установке УВНИИ-ПА-1-001. Излом многослойного покрытия

на стоматологическом имплантате приведен на рис. 1, *а*. Покрытие состоит из чередующегося слоя титана с углеродом и слоя аморфного углерода. Концентрация углерода в слое титана с углеродом увеличивалась от подложки к поверхности покрытия. Нарис. 1, *б* представлен вид участка поверхности стоматологического имплантата с покрытием.

Испытания внутрикостного стоматологического имплантата с углеродным нанопокрывтием были проведены в ООО «Частная стоматология» (г. Еманжелинск, Челябинская область). Имплантаты с покрытием были установлены волонтерам с осложненным анамнезом. Имплантное ложе в кости было сформировано фрезами с возрастающей последовательностью размеров с шагом 0,5 мм при скорости не более 800 об/мин с водяным охлаждением. Вкручивание имплантата производилось имплантологическим диспансером при усилии 30 Н и скорости вращения 50 об/мин. Контрольные сроки риска миграции имплантатов составили 2, 8 и 24 недели.

Через 2 недели после внедрения имплантатов с покрытием наблюдалась хорошая вторичная их фиксация в имплантном ложе или прирастание костной ткани к телу имплантата в имеющихся костных условиях пациентов. В течение последующего (более 24 недель) наблюдения у пациентов не было обнаружено признаков миграции имплантата, отторжения, воспаления, нагноения (рис. 2, *а*), а также аллергических реакций.

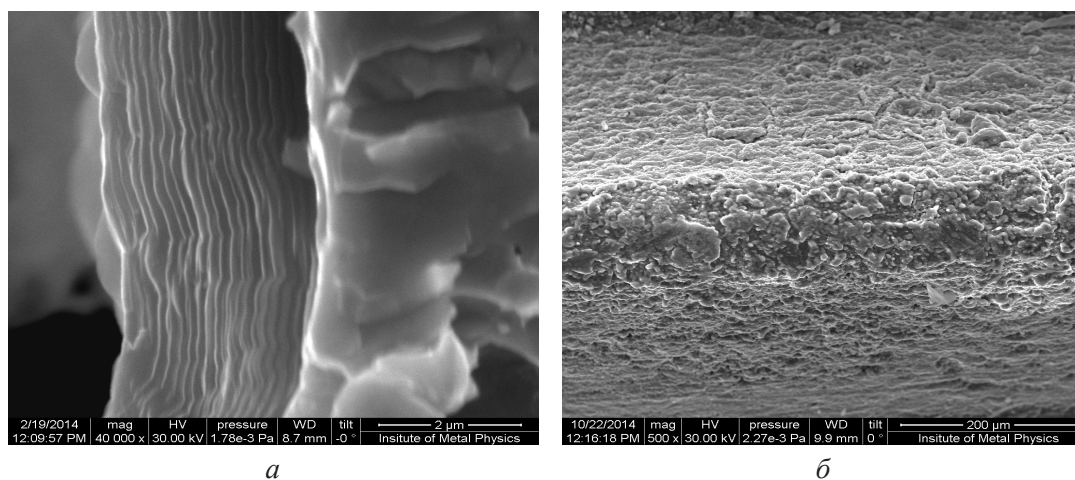
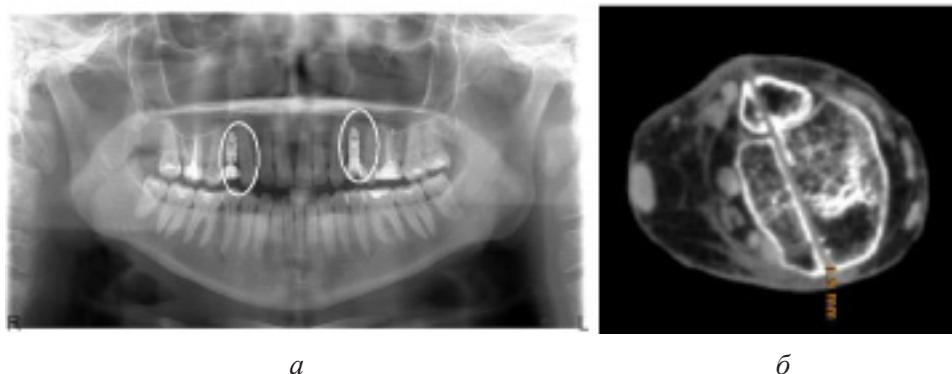


Рис. 1. Излом многослойного покрытия (*а*) и участок поверхности имплантата с покрытием (*б*)

Fig. 1. Fracture of the multilayer coating (*a*) and the area of the coated implant surface (*b*)



**Рис. 2.** Обзорный рентгеновский снимок верхней и нижней челюсти с внедренными дентальными имплантатами (6 месяцев после операции) (а) и томограмма спицевого канала (9 месяцев после операции) (б)

**Fig. 2.** Plain X-ray image of the upper and lower jaw with implanted dental implants (6 months after surgery) (a) and tomogram of the spoke canal (9 months after surgery) (b)

## 2. Пример использования покрытия на металлофиксаторах

Разработаны металлофиксаторы с углеродным алмазоподобным покрытием для лечения пациентов методом чрескостного остеосинтеза. Проведена ограниченная клиническая апробация фиксаторов у пациента с ложным суставом большеберцовой кости, осложненным иммобилизационным остеопорозом. Использование алмазоподобных покрытий стандартных фиксирующих элементов для чрескостного остеосинтеза обеспечивает атравматичность их введения за счет низкого коэффициента трения, профилактику явлений металлоза, т.к. покрытия служат барьером для диффузии металлических ионов в прилегающие ткани. Не обнаружено воспалительных реакций и костной резорбции даже в условиях иммобилизационного остеопороза. На рис. 2, б представлена томограмма дистального спицевого канала после удаления металлофиксатора с покрытием через 9 месяцев. Диаметр канала составил 1,9 мм (диаметр спицы – 1,8 мм).

## Благодарности

*Работа выполнена при финансовой поддержке УрО РАН проект № 15-9-2-12.*

## Список литературы

1. Biocompatibility of diamond-like carbon coatings / L. F. Thomson et al. // *Biomaterials*. 1991. V. 12, Iss. 1. P. 37–40. DOI: 10.1016/0142-9612(91)90129-x.
2. Osteoblast interaction with DLC-coated Si substrates / F. Chai et al. // *Acta Biomater.* 2008. V. 4, Iss. 5. P. 1369–1381. DOI: 10.1016/j.actbio.2008.04.011.
3. Биоимплантаты на основе пористого титана с алмазоподобными пленками для замещения костной ткани / А. П. Рубштейн и др. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 136 с.
4. Образование биопленок стафилококков на поверхности титана и титана с углеродной алмазоподобной пленкой и действие на них низкомолекулярного катионного пептида варнерина / И. Ш. Трахтенберг и др. // *Перспективные материалы*. 2013. № 4. С.39–44.