

УДК 669-1: 617-089.844

БИОИНЕРТНЫЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫЕ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Ti-Nb ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТОВ

©*Лебедева К. К.*, Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, *ksenia8191@mail.ru*

BIOINERT ELECTRONIC COATINGS OF THE Ti-Nb SYSTEM FOR MEDICAL IMPLANTS

©*Lebedeva K.*, Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, *ksenia8191@mail.ru*

Аннотация. В данной статье приведены результаты исследования профиля структуры биоинертных электровзрывных покрытий системы Ti-Nb методом оптической металлографической микроскопии. Представлены результаты измерения микротвердости электровзрывных покрытий системы Ti-Nb и установлены причины, приводящие к изменению значений микротвердости покрытий данной системы. На основании полученных экспериментальных значений приведен график распределения микротвердости по глубине залегания полученного покрытия.

Abstract. This article presents the results of a study of the profile of the structure of bio-inert electro-explosive coatings of the Ti-Nb system using optical metallography. The results of measuring the microhardness of electrically explosive coatings of the Ti-Nb system are presented and the reasons leading to a change in the microhardness values of the coatings of this system are established. Based on the experimental values obtained, a graph of the microhardness distribution over the depth of the coating obtained is presented.

Ключевые слова: биоинертные покрытия, биосовместимость, система Ti-Nb.

Keywords: bioinert coatings, biocompatibility, Ti-Nb system.

Введение

В медико-технической практике титан и его сплавы широко используются для изготовления функциональных элементов внутрикостных конструкций имплантационных и ортопедических систем [1]. Важнейшим параметром медицинских характеристик считается биосовместимость, которая непосредственно связана с таким важным качеством материалов, как коррозионная стойкость.

Биосовместимость медико-технических изделий просто необходима, и достигается благодаря применению определенных металлических и неметаллических материалов, которые не должны вызывать иммунных реакций биосреды и организма, и кроме того, их способность сохранять требуемые качества обеспечивает заданное функционирование изделий.

Биологическая совместимость материалов обусловлена определенным уровнем их биологических и физико-химических свойств: токсичность, рентгеноконтрастность, воздействие на кровь, стимулирование опухолеобразования, стерилизуемость, а также

электрические, магнитные, оптические, химические свойства. Механическая совместимость материалов определяет поведение изделий под действием функциональных механических нагрузок, которое не создает в биосреде механических повреждений, резорбции или некроза.

Биоинертные материалы, находящиеся в биосреде, с большей или меньшей активностью адсорбируют на своей поверхности протеины плазмы крови и волокна фибрина, образующие затем слой фиброзной ткани соответствующей толщины. Такой слой ограничивает плотность формирующихся структур мягких или твердых биотканей на поверхности материала, а также не гарантирует высокой стабильности функционирования изделия в биосреде. Эти условия ограничивают применение некоторых материалов [2].

Титан и сплавы на его основе нашли широкое применение в различных сферах деятельности человека, но наиболее значительное - в качестве материалов для медицинских изделий благодаря уникальному сочетанию разнообразных свойств: высокой прочности, малой плотности, высокой коррозионной стойкости, хорошей биосовместимости, вследствие образованию на поверхности прочной защитной биоинертной пленки из диоксида титана. Но по своим механическим свойствам титан плохо совместим с костной тканью, так как имеет более высокий модуль Юнга (105 ГПа).

Одним из направлений по улучшению биосовместимости медицинских имплантатов являются сплавы системы Ti-Nb, которые, при конкретном содержании ниобия, имеют модуль упругости 55-60 ГПа, что сравнимо с модулем упругости для плотной костной ткани. Важно и то, что они состоят только из биосовместимых компонентов и могут проявлять эффект псевдоупругости, за счет реализации обратимого мартенситного превращения с ресурсом полностью обратимой деформации около 3% [3, 4].

Цель данной работы: установить особенности формирования структуры и проанализировать экспериментально установленные значения микротвердости биоинертных электровзрывных покрытий системы Ti-Nb, применяемых для медицинских имплантатов.

Задачи: исследовать профиль структуры покрытий системы Ti-Nb методом оптической металлографической микроскопии, произвести измерение микротвердости биоинертных покрытий системы Ti-Nb и установить причины, приводящие к изменению значений микротвердости.

Материалы и методы исследования

Для нанесения биоинертных покрытий системы Ti-Nb был выбран метод электровзрывного напыления (ЭВН). В качестве материала подложки использовался технический титан марки ВТ1-0, активно используемый для производства высокопрочных изделий. Взрываемый материал представлял собой титановую фольгу (массой 0,0693 г для всех образцов) с заключенной в ней навеской чистого порошка ниобия (массой: 0,2842 г; 0,8526 г – для первого и второго образцов соответственно). Для всех образцов был выбран режим №1, напряжение в этом случае составляло $U = 1,8 \cdot 10^3$ В.

При изучении микроструктуры образцов использовался метод оптической металлографической микроскопии, а для оценки прочности были произведены измерения микротвердости.

Метод электровзрывного напыления (ЭВН)

ЭВН — это метод нанесения упрочняющих покрытий из продуктов электрического взрыва фольги и порошковых навесок на поверхность материалов. Данный метод позволяет формировать покрытия с высокой адгезией и различной структурой. Принцип действия установок для ЭВН основан на разрушении материала покрытия мощным импульсом

электрического тока, который формируется при разряде емкостного накопителя энергии. ЭВН покрытий проводили на модернизированной электровзрывной установке ЭВУ 60/10М, которая описана в работе [5].

Методика оптической металлографической микроскопии

Металлография — метод заключающейся в контроле и исследовании изучаемого образца, а также его структуры при помощи светового микроскопа.

Изучение биоинертного покрытия системы Ti-Nb, осуществлялось с помощью инвертированного металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51. Для выявления структуры был использован метод шлифования образца на наждачной бумаге и сукне, и также метод травления. Перед микроскопическими исследованиями шлифы подвергали химическому травлению раствором состава: HNO₃ — 3мл, HF — 2,5 мл, H₂O — 95 мл.

Методика определения микротвердости

Данный метод применяют для измерения твердости очень мелких деталей, тонких поверхностных слоев, покрытий и пр. Основное назначение — определение твердости отдельных фаз или структурных составляющих сплавов, а кроме того различия в твердости отдельных участков этих составляющих. При помощи микротвердомера (HVS-1000А) были определены прочностные свойства изучаемой системы «покрытие – подложка». Нагрузка на индентор составляла 0,1Н. Принцип действия основан на статическом вдавливании наконечника — алмазной пирамиды Виккерса (правильную четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136°), с последующим измерением длины диагоналей отпечатка, пропорциональным значениям чисел твердости.

Результаты и обсуждение

Оптическая металлографическая микроскопия образцов:

На Рисунках 1 и 2 приведены микрофотографии поперечного сечения образцов, которые наглядно демонстрируют, полученную на металлографическом микроскопе структуру сформированного покрытия на подложке. Толщина покрытия системы Ti-Nb, сформированного методом ЭВН составляет 37...130 мкм (Рисунок 1 а), 117...225 мкм (Рисунок 2 а) для первого и второго образцов соответственно. Такое широкое различие в толщине покрытия может быть объяснено способом его нанесения, а так же различием в массах порошковых навесок. В системе «покрытие-подложка» можно выделить три характерные зоны:

зона 1 — покрытие системы Ti-Nb;

зона 2 — переходный слой — граница раздела между покрытием и подложкой имеет волнообразный рельеф, хорошо просматривается, что свидетельствует о высокой адгезии покрытия с подложкой;

зона 3 — основа, представленная подложкой Ti (Рисунки 1 б, 2 б).

Стрелки на Рисунках 1 в и 2 в указывают на наличие пор (пустот) в сформированном покрытии, а выделенные области (Рисунок 2 в) показывают, что в объеме покрытия хорошо просматривается зеренная структура (темные включения — зерна Nb). Так же на границе раздела (Рисунок 1 б) хорошо просматривается зона смешивания. Рисунки 1 г и 2 г отражают хорошо протравленную часть титановой основы, где видна зеренная структура Ti.

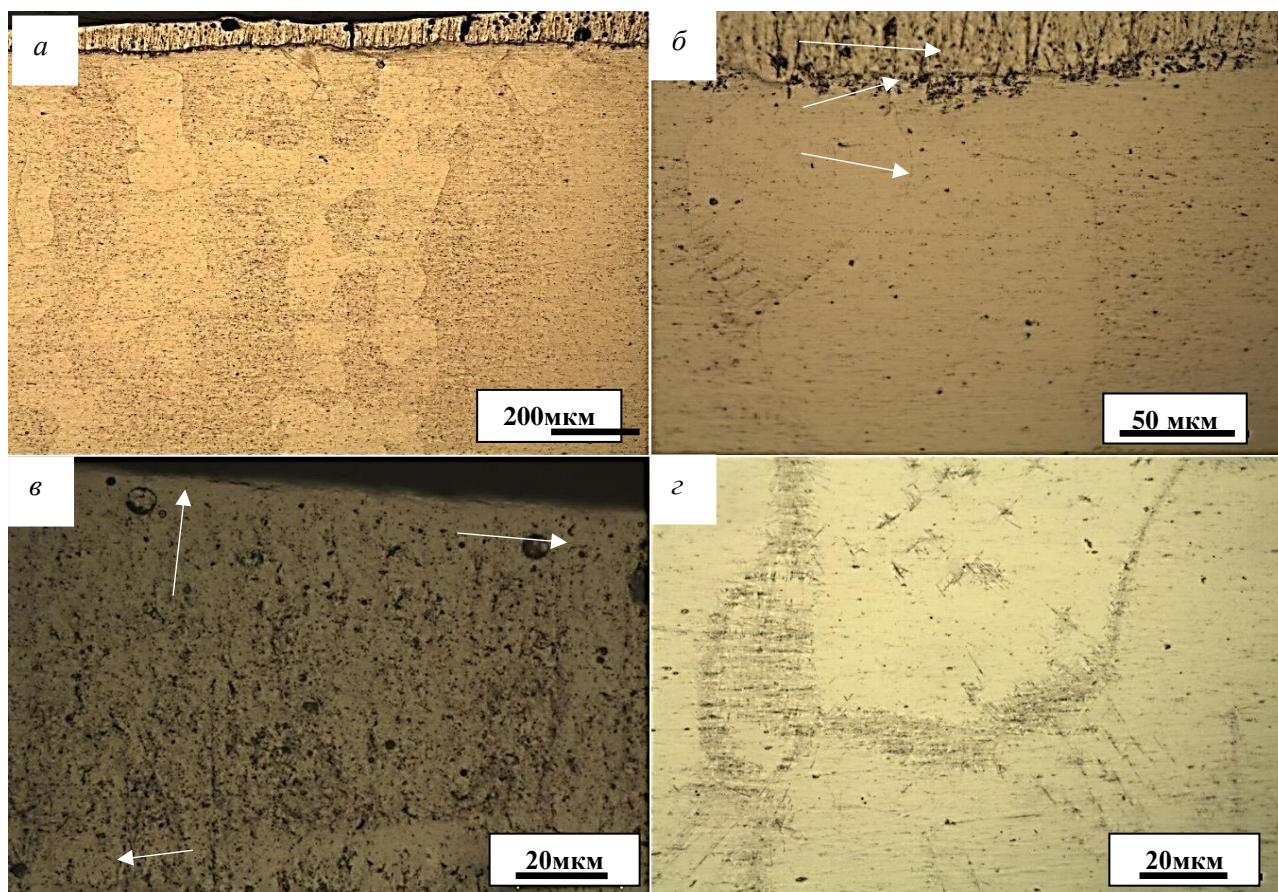


Рисунок 1. Оптическая металлографическая микроскопия шлифа биоинертного электровзрывного покрытия системы Ti-Nb (образец 1): а) общий вид; б) увеличенный общий вид (граница раздела); в) покрытие системы Ti-Nb; г) подложка Ti

Исследование микротвердости биоинертных электровзрывных покрытий системы Ti-Nb

Одной из важнейших характеристик, определяющих физико-механические свойства покрытий, является — микротвердость. При проведении серии испытаний по определению микротвердости были получены экспериментальные значения микротвердости образца в трех характеристических зонах: покрытие системы Ti-Nb, переходный слой (граница раздела) и титановая подложка.

Данные, полученные экспериментальным путем, свидетельствуют о том, что микротвердость биоинертного покрытия системы Ti-Nb варьируется в пределах 519,1 ... 383,1 кгс/мм², а усредненное значение составляет 443,3 кгс/мм². Значения микротвердости переходного слоя (зона 2) в среднем составляет 322,8 кгс/мм², а микротвердость титановой подложки (зона 3) — 267,5 кгс/мм². Таким образом, можно подытожить, что значения микротвердости покрытия системы Ti-Nb в несколько раз превышают значения микротвердости переходного слоя и подложки Ti, что доказывает, что данное покрытие упрочняет изделие.

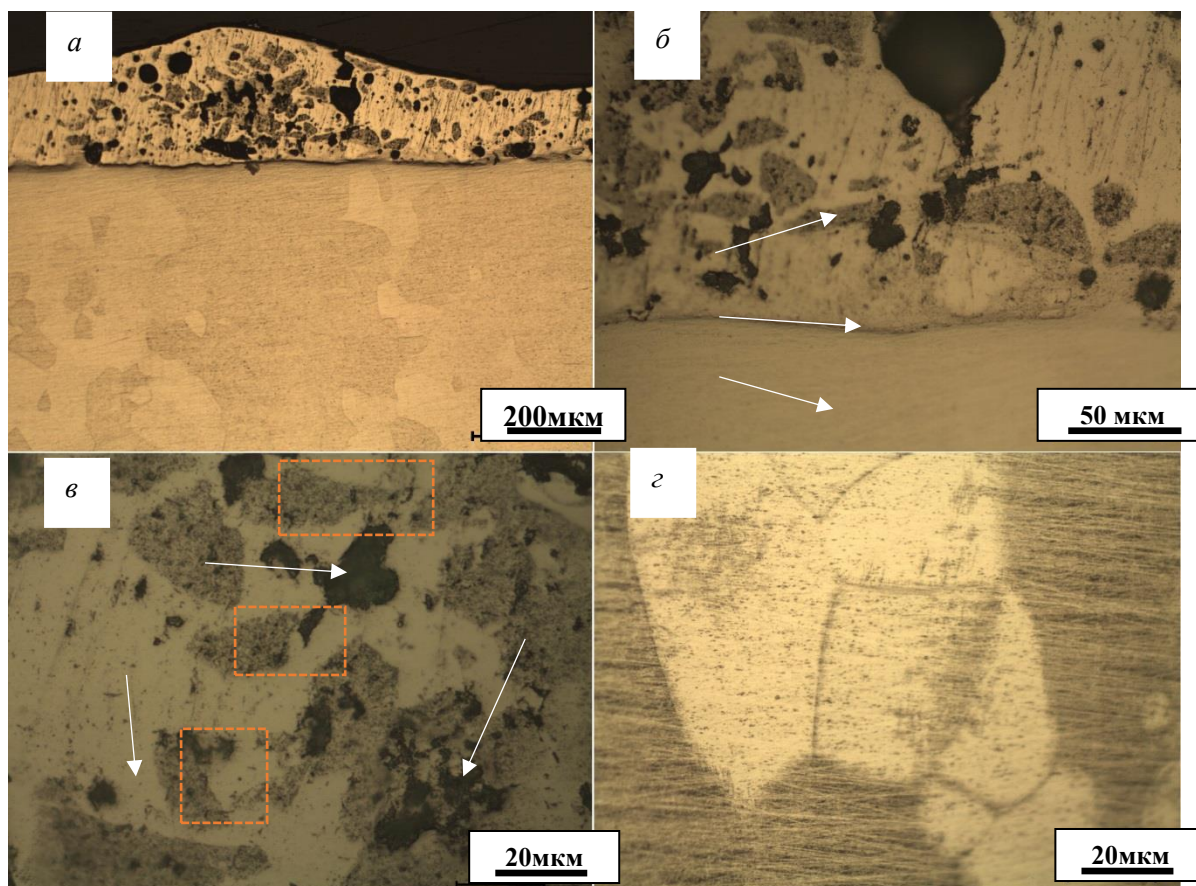


Рисунок 2. Оптическая металлографическая микроскопия шлифа биоинертного электровзрывного покрытия системы Ti-Nb на титановой подложке (образец 2): а) общий вид; б) увеличенный общий вид (граница раздела); в) – покрытие системы Ti-Nb; г) подложка Ti

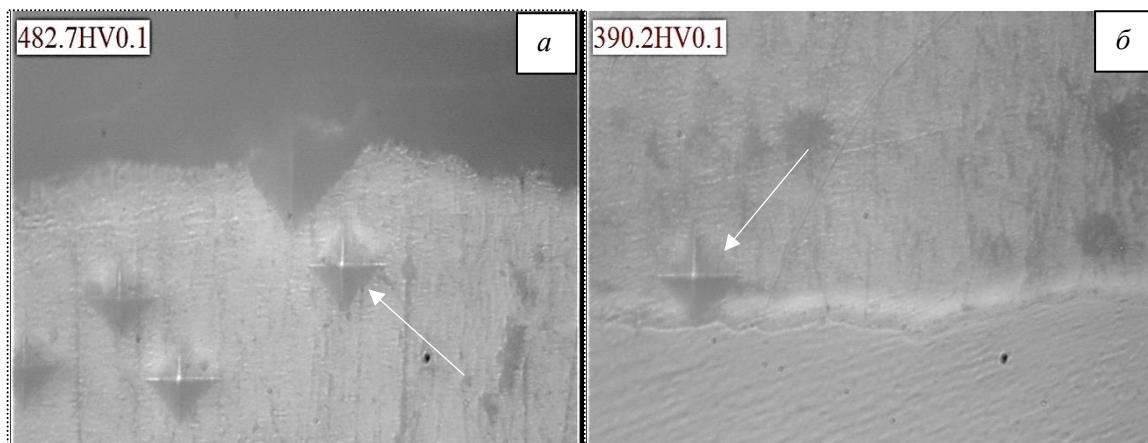


Рисунок 3. Фотографии отпечатков, полученных на покрытии системы Ti-Nb при индентировании пирамидой Виккерса: а) отпечаток, сделанный на поверхности покрытия; б) отпечаток, сделанный вблизи границы раздела

График зависимости микротвердости от глубины залегания покрытия системы Ti-Nb (Рисунок 4), представленный ниже, демонстрирует тот факт, что микротвердость по всему объему покрытия распределена неравномерно: покрытие вблизи переходного слоя имеет меньшие значения микротвердости ($390,2 \text{ кгс/мм}^2$), в отличие от верхней части покрытия ($482,7 \text{ кгс/мм}^2$) (Рисунок 3).

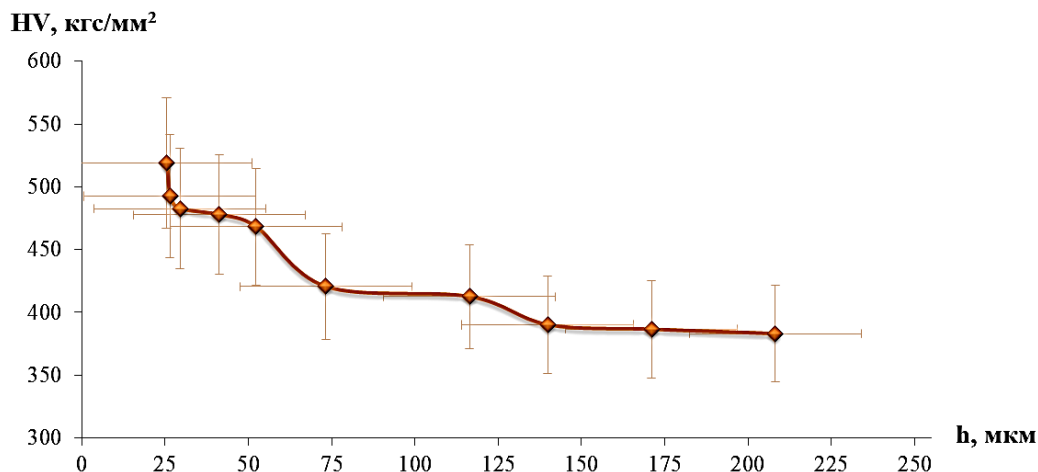


Рисунок 4. График распределения микротвердости по глубине залегания покрытия системы Ti-Nb

Выводы

1. Образцы, на которых было сформировано покрытие методом ЭВН имеют три характерных зоны (1 зона — покрытие системы Ti-Nb, 2 зона — переходный слой (граница раздела), 3 зона — титановая подложка).

2. Выявлено, что толщина покрытий системы Ti-Nb составляет 37... 225 мкм, такое существенное различие в толщине связано с разностью используемой массы порошка, а так же с методом, используемым для нанесения покрытия на подложку. А так же покрытие имеет пористую структуру, что характерно для биоинертных материалов.

3. Установлено, что микротвердость биоинертного покрытия системы Ti-Nb (443,3 кгс/мм²) во много раз превышает значения микротвердости переходного слоя (322,8 кгс/мм²) и титановой подложки (267,5 кгс/мм²). Так же обнаружено, что минимальное значение микротвердости покрытие имеет вблизи переходного слоя (границы раздела), а максимальное — ближе к краю покрытия. По всему вышеприведенному можно утверждать, что данное покрытие способно обеспечить хорошую механическую прочность и защиту от внешних воздействий, что является очень важным фактором для зубных имплантатов, применяемых в медицинской области.

Список литературы:

1. Catledge S. A., Fries M., Vohra Y. K. Nanostructured surface modifications for biomedical implants // Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology. 2004. Vol. 1. P. 741-762.
2. Родионов И. В. Научные подходы к созданию биосовместимых имплантационных материалов. Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2004. С. 9.
3. Конушкин С. В. Получение биоматериала Ti-Nb-Ta для медицинских изделий // Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии: материалы конференции, 7–10 апреля, 2015. Москва, МГТУ им. Н. Э.Баумана / отв. ред. Ю. А. Гладков. Москва: КванторФорм, 2015. С. 10.
4. Глухов И. А., Химич М. А., Майрамбекова А. М. Получение сплавов системы титан-ниобий методом высокоэнергетической электроннолучевой порошковой металлургии // Перспективы развития фундаментальных наук. Томск. 2014. С. 735-738.

5. Жмакин Ю. Д., Романов Д. А., Будовских Е. А., Громов В. Е., Кузнецов В. А. Автоматизированная электровзрывная установка для повышения эксплуатационных характеристик материалов // Промышленная энергетика. 2011. № 6. С. 22–25.

References:

1. Catledge, S. A., Fries, M., & Vohra, Y. K. (2004). Nanostructured surface modifications for biomedical implants. *Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology*, 1, 741-762.
2. Rodionov, I. V. (2004). Scientific approaches to the creation of biocompatible implant materials. Saratov: Publishing House Sarat. State Tech. University.
3. Konushkin, S. V. (2015). Obtaining the Ti-Nb-Ta biomaterial for medical products. In Student Science Spring: Engineering Technologies: Conference Materials Moscow.
4. Glukhov, I. A., Khimich, M. A., Mairambekova, A. M. (2014). Obtaining alloys of titanium-niobium system by of the high-energy beam powder metallurgy method. Prospects for the Development of Fundamental Sciences. Tomsk.
5. Zhmakin, Yu. D., Romanov, D. A., Budovskikh, E. A. Gromov, V. Ye., & Kuznetsov, V. A. (2011). Automated installation for electroexplosive enhance operational characteristics of the materials. *Industrial power engineering*, (6). 22–25.

*Работа поступила
в редакцию 11.10.2018 г.*

*Принята к публикации
16.10.2018 г.*

Ссылка для цитирования:

Лебедева К. К. Биоинертные электровзрывные покрытия системы Ti-Nb для медицинских имплантатов // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №11. С. 241-247. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/lebedeva> (дата обращения 15.11.2018).

Cite as (APA):

Lebedeva, K. (2018). Bioinert electronic coatings of the Ti-Nb system for medical implants. *Bulletin of Science and Practice*, 4(11), 241-247. (in Russian).