

УДК 537.5 539.5

**МОДЕФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА TI-NB-ZR-TA ИМПУЛЬСНЫМ
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

А.П. Волкова, Д. Храпов, И.Ю. Грубова

Научный руководитель: к.ф.-м.н М.А. Сурменева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

² Институт сильноточной электроники СО РАН

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/3, 634055

E-mail: anastasiavolkova17298@gmail.com

STUDY OF SURFACE MODIFICATION OF TI-NB-ZR-TA ALLOY BY A PULSED ELECTRON BEAM

A.P. Volkova, D. Khrapov, I.Yu. Grubova

Scientific supervisor: PhD M.A. Surmeneva

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

² Institute of High Current Electronics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Russia, Tomsk,

Academicheskyy Ave., 2/3, 634055

E-mail: anastasiavolkova17298@gmail.com

***Abstract:** In this study, the influence of the impulse electron-beam (IEB) technology on the physical and mechanical properties of the TNZT titanium alloy samples obtained by the electron beam melting (EBM) is evaluated. The roughness, hardness and Young's modulus were measured, and the microstructure of the sample surface was investigated. The highest roughness was observed for an untreated titanium alloy. It was revealed that the Young's modulus value of the TNZT alloy treated with IEB (65 GPa) investigated using the nanoindentation method is higher than the modulus of human bone (10–30 GPa), but nevertheless, it is 2 times lower than that of the biomedical Ti6Al4V alloy.*

Введение. В настоящее время разработка сверхупругих четырехкомпонентных титановых (Ti) сплавов является перспективной задачей в области создания биомедицинских материалов с заданными свойствами. В последние годы большой интерес вызывают сплавы системы Ti–35Nb–7Zr–5Ta (TNZT), которые обладают одним из самых низких модулей упругости, что является важным требованием, предъявляемым к конструкциям высоконагруженных ортопедических или стоматологических имплантатов. В связи с тем, что сплав TNZT имеет низкий модуль упругости, более близкий к костной ткани, появляется возможность обеспечения прочной фиксации имплантата в кости, что как следствие позволит уменьшить риск послеоперационных осложнений, и, как результат, позволит исключить повторные операции [1]. Среди всех методов получения титановых сплавов одним из самых широко используемых и показывающих хорошие физико-механические свойства получаемых образцов методов получения титановых сплавов, является метод электронно-лучевого плавления (ЭЛП). Однако в связи с тем, что при получении образцов Ti сплава методом ЭЛП из порошков разного диаметра – топография поверхности показывает большой разброс показателей шероховатости, который влияет на механические

свойства [2]. Для улучшения прочностных свойств материала и получения равномерной шероховатости поверхности TNZT необходимо проводить пост-обработку поверхности. В данной работе использовался импульсный электронный пучок (ИЭП), так как обработка поверхности ИЭП увеличивает динамическую прочность, повышает устойчивость к износу и коррозии. Цель работы заключается в оценке влияния обработки ИЭП на топографию и механические свойства поверхности четырехкомпонентной системы сплава Ti-Nb-Zr-Ta.

Материалы и методы исследования. Для изготовления сплавов Ti-35Nb-7Zr-5Ta вес % были использованы разработанные сферические порошки β -титанового сплава производимые Tosoh SMD Inc. (Grove City, США). Сплав системы TNZT изготавливался с помощью аддитивных технологий методом ЭЛП на установке ARCAMA2 EBM® (Швеция), после чего подвергался пост-обработке с помощью генератора ИЭП «СОЛО» по схеме, разработанной в Институте сильноточной электроники СО РАН (Томск, Россия). Параметры пучка при обработке: длительность ИЭП- 200 мкс, количество импульсов - 10, плотность энергии ИЭП- 20 Дж / см². Морфология и элементный состав полученных образцов до и после ИЭП обработки были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, Quanta 200D и JSM-7000, JEOL, Токио, Япония). Шероховатость поверхности измерялась с помощью контактного профилометра Hommel Tester t1000. Нанотвердость поверхности исследовалась с помощью системы Hysitron Nanotriboindenter TI-950 (HysitronInc., США).

Результаты. Перед изготовлением образцов было проведено исследование порошка TNZT, изготовленного методом газового распыления. Полученные СЭМ изображения (рисунок 1а) обрабатывались с помощью программы для вычисления среднего диаметра частиц. По данным программы строилось распределение порошка по диаметру рисунок 1б.

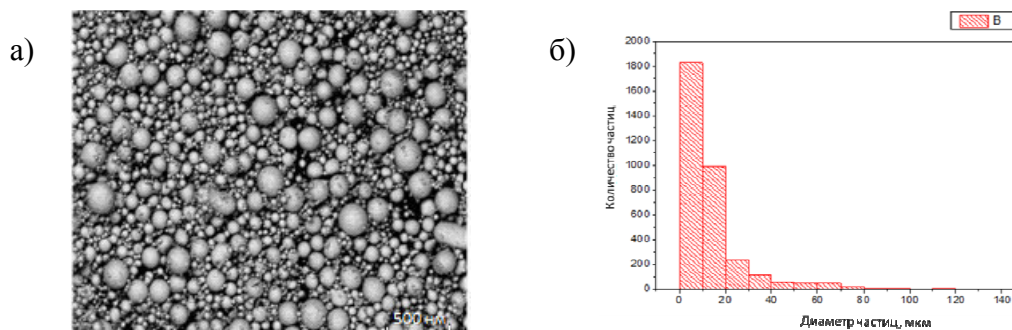


Рис. 1. а) СЭМ – изображения порошка титанового сплава TNZT, б) Распределение порошка по диаметру, d_a - средний диаметр порошка со стандартным отклонением

Исследование распределения частиц в исходном порошке показало, что в сплаве TNZT частицы показывают широкий диапазон распределения по размеру – от 1–120 мкм, средний размер частиц 14,7 мкм. Определены параметры характеризующие ширину диапазона размеров распределения: D10 = 115 мкм – 10 %, D50 = 45 мкм – 50 % и D90 = 9 мкм – 90 %, что свидетельствует о том, что доля мелких частиц (<10 мкм) примерно вдвое больше, чем доля частиц всех других размеров.

Далее проводилась оценка параметров шероховатости полученных с помощью ЭЛП образцов сплава TNZT. Основным параметром, по которому характеризовалась шероховатость поверхности, был параметр Ra, определяющий среднее значение шероховатости. До обработки шероховатость образцов Ti сплава была Ra=12±2 мкм, после обработки поверхности образцов ИЭП значение Ra снижается

приблизительно в 2 раза и в среднем равна $8,7 \pm 0,1$ мкм. Следовательно, обработка ИЭП позволяет значительно уменьшить шероховатость приповерхностного слоя, что в свою очередь, может привести к улучшению его механических свойств. В связи с этим, было принято решение исследовать механические свойства полученных образцов: образцы показали низкий модуль Юнга в диапазоне от 85 до 65 ГПа. Твердость при вдавливании для всех образцов находилась в диапазоне от 3,5 до 13 ГПа. Полученные значения модуля Юнга (E) и твердости (H) сплавов представлены на Рисунке 2. Наиболее, низкий $E = 65$ ГПа и $H = 3,5$ ГПа наблюдались в образце, обработанном ИЭП, на глубине 2300. Таким образом, в данной работе было достигнуто значение E для сплава TNZT (65 ГПа), в ~ 3 раза превышающее таковое для человеческой кости (10–30 ГПа), но при этом в ~ 2 раза меньше, чем у коммерческого биомедицинского сплава Ti6-Al4-V (120 ГПа) [3].

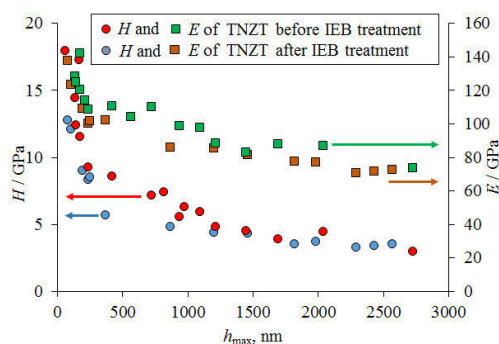


Рис. 2. График зависимости нанотвердости (H) и значения модуля Юнга (E) от глубины индентирования (h)

Заключение. В результате проведенных исследований рассчитано распределение частиц порошка TNZT по размерам. Определено, что доля мелких частиц (<10 мкм) в два раза выше, чем доля частиц всех других размеров. Шероховатость исследуемых образцов сплава TNZT при обработке снижается приблизительно в 2 раза. Мы видим, что исследование обработки Ti сплавов ИЭП позволяет получить имплантаты с улучшенными упругими свойствами, E уменьшается приблизительно на 20 ГПа и равна 65 ГПа, а H при вдавливании уменьшается в $\sim 1,5$ раза с 5,5 до 3,5 ГПа. Полученный E сплава TNZT в ~ 3 раза превышает значение E для человеческой кости (10–30 ГПа), но при этом он в ~ 2 раза ниже, чем показывают биомедицинские сплавы Ti6Al4V или VT6 (120 ГПа). Полученные данные свидетельствуют о том, что ИЭП может использоваться в качестве метода модификации поверхности и позволит улучшить фиксацию изделий на границе раздела «имплантат-кость», что приведет к снижению риска послеоперационных осложнений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ20-73-10223. Авторы благодарят Иванова Е. (Tosoh SMD Inc., GroveCity, Ohio, USA) за предоставленный порошок TNZT, Коптюга А.В. за изготовление образцов, Тюрина А.И., Коваля Н.Н. и Лидера А.М. за помощь в исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rehtin J. et al. Fabrication of titanium-niobium-zirconium-tantalum alloy (TNZT) bioimplant components with controllable porosity by spark plasma sintering // Materials. – 2018. – V. 11. – №. 2. – P. 181.
2. Chen Z. et al. Microstructures and wear properties of surface treated Ti-36Nb-2Ta-3Zr-0.35 O alloy by electron beam melting (EBM) // Applied Surface Science. – 2015. – V. 357. – P. 2347-2354.