

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томский государственный архитектурно-строительный университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК**

Сборник научных трудов  
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

**21–24 апреля 2015 г.**

## **PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT**

XII International Conference of students and young scientists

**21–24 April, 2015**

Томск 2015

**СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT23 ПРИ  
ОБРАБОТКЕ ИОНАМИ МЕДИ**

А.В. Никоненко, М.П. Калашников, В.В. Нейфельд

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. М.В. Федорищева

Томский государственный университет, Ленина, 36, 634050

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, г.Томск, Академический 2/4, 634055

Томский политехнический университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

fed\_mv@mail.ru

**STRUCTURE OF THE SURFACE LAYERS OF THE VT23 TITANIC ALLOY UNDER TREATMENT  
BY COPPER IONS**

A.V. Nikonenko., M.P. Kalashnikov, V.V. Neyfeld

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Dr. M.V. Fedorischeva

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenina ave. 36

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050

Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Russia, Tomsk, av. Academicheskii, 2/4, 634055

fed\_mv@mail.ru

*Phase composition, structure and morphology of the surface of the VT23 titanium alloy modified by copper ions were investigated by X-ray, SEM. It was established that the phase structure and morphology of the surface layers of the VT23 alloys depend on time of treatment. Mechanical properties of layers change significantly.*

Перспективным направлением повышения эксплуатационных свойств конструкционных материалов является ионно-пучковая модификация [1]. С помощью обработки сильноточными потоками тяжелых ионов низкой энергии можно эффективно модифицировать структурно-фазовое состояние поверхностного слоя [2]. При этом могут улучшаться триботехнические, механические свойства, в том числе, усталостные характеристики конструкционных материалов [2]. Ионно-пучковая обработка может не только модифицировать структуру поверхностного слоя подложки, но и изменять его морфологию, химический и фазовый состав. Представляет интерес выявить роль каждого из этих факторов.

Обработку образцов проводили с помощью вакуумно-дугового источника ионов металлов с энергией 0,5...2,5кэВ и плотностью тока 2...20 мА/см<sup>2</sup> на вакуумной установке УВН-05МД «Квант». Образец помещался в камеру на предметный стол напротив ионного источника для ионной бомбардировки. Температура образцов в процессе ионной бомбардировки поднималась до 900-1000К.

Фазовый состав поверхностного слоя модифицированных подложек исследовали методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре ДРОН-7 (Буревестник, Россия) в Co-K $\alpha$ . Для расшифровки рентгенограмм использовали банк данных JCPDS. Морфологию обработанного потоком ионов титана поверхностного слоя медных подложек и изменение химического состава по его глубине исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO EVO 50XVP (Carl Zeiss, Германия), оснащенного EDXS и WLDS INCA-Energy, и комбинированного аналитического прибора с

электронным и сфокусированным ионным лучами Quanta-200 3D (FEI, USA). Микротвердость ионно-модифицированного слоя титанового сплава ВТ-23 определяли с помощью нанотвердомера NanoHardnessTester при нагрузке 20мН.

Целью работы было исследовать влияние длительности процесса предварительной обработки ионами меди на микроструктуру и фазовый состав поверхностного слоя сплава ВТ23.

Методом рентгеноструктурного анализа показано, что сплав ВТ-23 в исходном состоянии представляет собой смесь ( $\alpha+\beta$ ) фаз как видно из рис. 1. Установлено, что в зависимости от времени обработки ионами меди титанового сплава может существенно изменяться структурно-фазовое состояние поверхности титановой подложки. По равновесной диаграмме состояния в системе Cu-Ti возможно существование следующих фаз: TiCu, Ti<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>, Cu<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>, Cu<sub>2</sub>Ti и Cu<sub>3</sub>Ti [3].

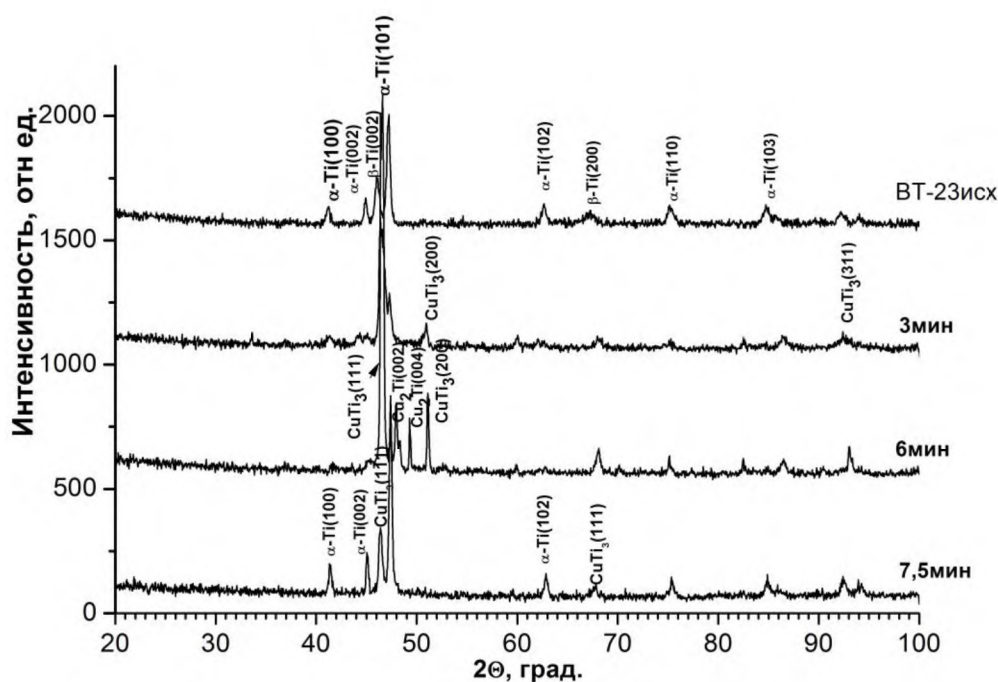


Рис.1. Рентгенограммы сплава ВТ23 при обработке ионами меди при разной продолжительности обработки

На рис.1. приведены рентгенограммы сплава ВТ23 при разном времени обработки. Видно, что фазовый состав образцов существенно меняется. При обработке ионами меди, кроме  $\alpha$  и  $\beta$ - титана появляются интерметаллидные фазы диаграммы состояния Cu-Ti, которые, как известно, имеют более высокие механические свойства, чем  $\alpha$ -Ti и  $\beta$ -Ti. Видно, что сначала появляются фазы, обогащенные Ti, такие как CuTi<sub>3</sub> с тетрагональной решеткой P4/mmm с параметрами a=4,258, c=3,594 Å, затем с увеличением продолжительности обработки появляются фазы обогащенные медью, такие как Cu<sub>2</sub>Ti с орторомбической решеткой Amm2 с параметрами a = 4,363, b = 7,977, c=4,478 Å. При максимальном значении времени обработки 7,5 мин. рефлексы фазы CuTi<sub>3</sub> становятся более интенсивными, чем рефлексы титановой подложки, т.е. практически вся поверхность состоит из интерметаллидного соединения. На рис.2 представлена морфология поверхности сплава ВТ-23, модифицированного ионами меди с разной продолжительностью обработки. Видно, что в процессе ионной обработки появляется рельеф поверхности. Это происходит за счет разных скоростей эрозии соседних участков поверхности,

отличающихся кристаллографической ориентацией и химическим составом, плотностью дефектов и примесей, исходной геометрией. Ионная обработка поверхности подложки приводит, с одной стороны, к более значительному углублению ямок травления, а, с другой стороны, к росту и укрупнению горизонтальных перемычек между вискерами за счет образования кристаллов интерметаллидов системы Cu-Ti в результате динамического перемешивания атомов титана из подложки с атомами меди из ионного потока.

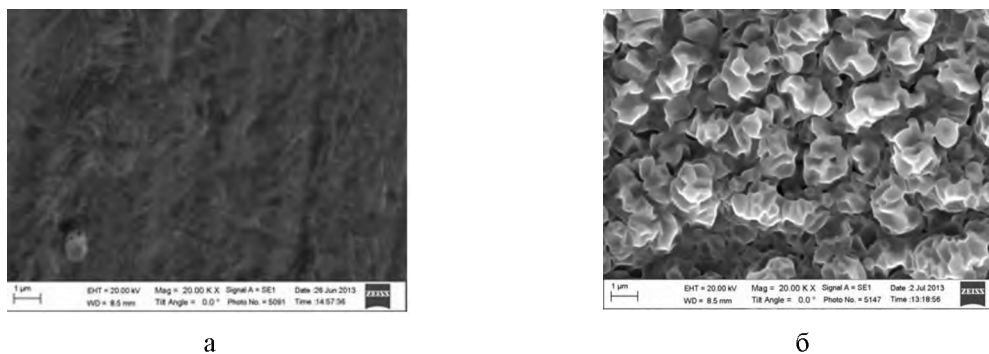


Рис.2. Морфология поверхности сплава ВТ-23 обработанного ионным пучком меди продолжительностью: 3 мин. (а) и 7,5 мин (б)

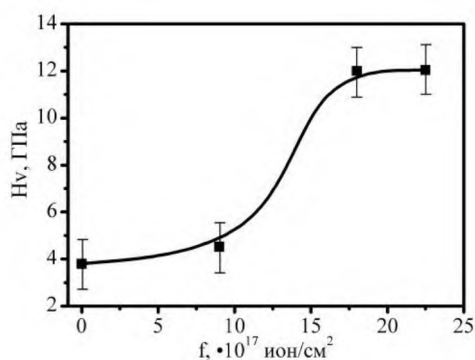


Рис.3. Зависимость микротвердости от флюенса облучения поверхностного слоя сплава ВТ-23 ионами меди

На рис. 3 приведена экспериментально установленная зависимость изменения микротвердости поверхностного слоя образцов ВТ23 от флюенса облучения. Видно, что в интервале флюенса 10-18 ион/см<sup>2</sup> наблюдается резкое возрастание микротвердости  $H_v$  в  $\sim 3$  раза.

Таким образом, обработка поверхности титанового сплава ВТ23 ионами меди приводит к изменению фазового состава, морфологии поверхности, к существенному увеличению микротвердости.

*Работа выполнена в рамках основной научной программы исследований академии наук за 2013-2020 годы и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №13-08-00616, и в рамках государственного задания Минобрнауки России №3.295.2014/к.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев В.П., Федорищева М.В., Сергеев О.В., Сунгатулин А.Р., Панин В.Е. // Изв. ВУЗов. Физика. -2012.- Т.55.- № 6/2.- С.139-146.
2. Sergeev V.P., Fedorischeva M.V., Neufeld V.V., Kalashnikov M.P. Influence of surface treatment of copper substrates by titanium ions on structure and thermomechanical properties of nanocomposite coatings on the basis of Si-Al-N // Advanced Materials Research. - 2014.- Vol.880.- С. 184-189.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник в 3 томах. Т. 2 / Под общ. ред. Н.П.Лякишева.- М.: Машиностроение, 1997.- 1024 с.