

**ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ АЛЮМИНИЯ НА ФОРМУ И РАЗМЕР ЗЕРЕН В
ИОННО-ЛЕГИРОВАННОМ СЛОЕ УМЗ-ТИТАНА**

А.В. Никоненко¹, Н.А. Попова^{2,3}, Е.Л. Никоненко^{2,4}, М.П. Калашников³

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. И.А. Курзина И.А.¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томскпл. Соляная, 2, 634003

³Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/1, 634021

⁴Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: kurzina99@mail.ru

GRAIN SHAPE AND SIZE MODIFIED BY ALUMINUM IONS IN ULTRAFINE TITANIUM LAYER

A.V. Nikonenko¹, N.A. Popova^{2,3}, E.L. Nikonenko^{2,4}, M.P. Kalashnikov³

Scientific Supervisor: Prof. Dr. I.A. Kurzina¹

¹National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin Ave., 36, 634050

²Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya Sq., 2, 634003

³Institute of Strength Physics and Material Science SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii Ave., 8/2, 634021

⁴National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30, 634050

E-mail: kurzina99@mail.ru

***Abstract.** The paper presents TEM investigations of the grain shape and size in the centre of titanium layer modified by aluminum ions depending on their implantation dosage. The average grain size is determined in the both longitudinal and transverse directions. The grain size distribution plots are constructed in this paper. Investigations show that the grain size decreases with the increase of the ion-implantation dosage. Also, the reduction of the grain anisotropy factor is observed.*

Цель настоящей работы – анализ и сравнение результатов исследования зеренной структуры ультрамелкозернистого (УМЗ) титана до и после имплантации ионами алюминия. Имплантация осуществлялась различными дозами, а именно: $1 \cdot 10^{17}$, $5 \cdot 10^{17}$ и $1 \cdot 10^{18}$ ион/см².

Материал и методика эксперимента

Объектом исследования являлись образцы титана марки ВТ1-0. УМЗ-состояние было получено комбинированным методом многократного одноосного прессования (*abc*-прессование) с последующей многоходовой прокаткой в ручьевых валках при комнатной температуре и дорекристаллизационным отжигом [1]. Ионная имплантация проведена на ионном источнике MEVVA-V.RU [2] при температуре 623К, ускоряющем напряжении 50 кВ, плотности тока ионного пучка 6,5 мА/см², расстоянии 60 см от ионно-оптической системы. Вариация дозы облучения ($1 \cdot 10^{17}$, $5 \cdot 10^{17}$ и $1 \cdot 10^{18}$ ион/см²) достигалась за счет изменения времени облучения (0,5 ч; 3 ч.; 5,25 ч.). Для анализа химического состава имплантированного ма-

териала использован оже-электронный спектрометр 09ИОС [3]. Изучение зеренной структуры проведено на просвечивающем электронном микроскопе ЭМ-125К при ускоряющем напряжении 120 кВ.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что в структуре УМЗ-титана перед имплантацией присутствуют сильно вытянутые элементы (зерна) с хорошо выраженной текстурой. Электронно-микроскопическое изображение тонкой структуры приведено на рис. 1а. Проведенные измерения поперечных и продольных размеров зерен показали, что их поперечный размер находится в интервале 0,05–0,30 мкм (рис. 1б). Около 75% объема в структуре занимают зерна с размерами менее 0,2 мкм. Функция распределения – одно-

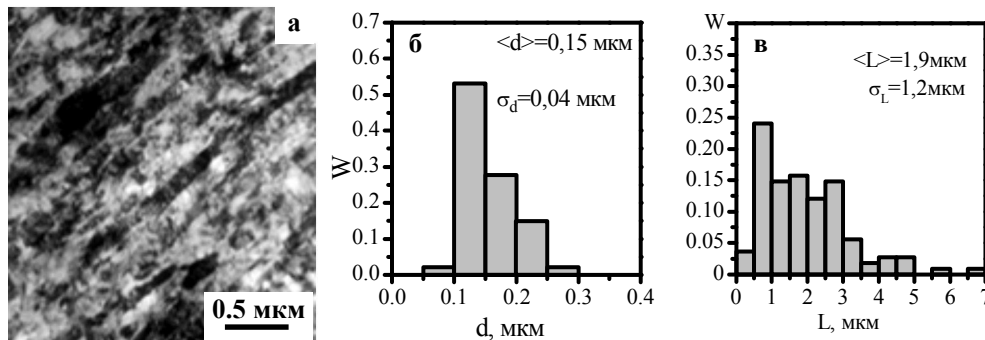


Рис.1. Электронно-микроскопическое изображение (а) и распределения зерен по размерам: б – поперечный размер d , в – продольный L до ионной имплантации

модальная. Средний размер составляет величину $\langle d \rangle = 0,15 \pm 0,04$ мкм. Максимум функции распределения находится вблизи среднего значения. Продольный размер зерен находится в интервале 0,1–7,0 мкм. Функция распределения – также одномодальная с максимумом вблизи среднего значения. Средний продольный размер составляет величину $\langle L \rangle = 1,9 \pm 1,2$ мкм. Коэффициент анизотропии зерен $K = L/d$ составляет величину 12,7. Таким образом, здесь уместно говорить о формировании полосовой фрагментированной структуры. Неоднородный дифракционный контраст внутри зерен и размытость границ свидетельствуют о высоких внутренних напряжениях и скалярной плотности дислокаций.

В результате ионного воздействия наблюдается значительное изменение зеренного состояния титана. Электронно-микроскопические изображения зеренной структуры и распределения зерен по размерам, полученные при разных дозах имплантации, представлены на рис.2. Хорошо видно, что с ростом дозы имплантации происходит уменьшение продольного размера зерен титана и при максимальной дозе его средняя величина составляет 0,7 мкм. Уменьшается и поперечный размер зерна, при максимальной дозе его величина составляет 0,12 мкм. При этом функции распределения как поперечных размеров, так и продольных остаются одномодальными. Максимумы функций, по-прежнему, находятся вблизи их средних значений. С изменением дозы имплантации наблюдается уменьшение коэффициента анизотропии, а именно, при дозе имплантации $1 \cdot 10^{17}$ ион/см² $K = 8,5$, при $5 \cdot 10^{17}$ ион/см² $K = 6,9$ и при $1 \cdot 10^{18}$ ион/см² $K = 5,8$. Это означает, что, во-первых, имплантация приводит к снижению анизотропии зерен и, во-вторых, по мере увеличения дозы имплантации зерна становятся все более изотропными. Значительное изменение структуры связано, в первую очередь, с энергетическим воздействием в условиях имплантации.

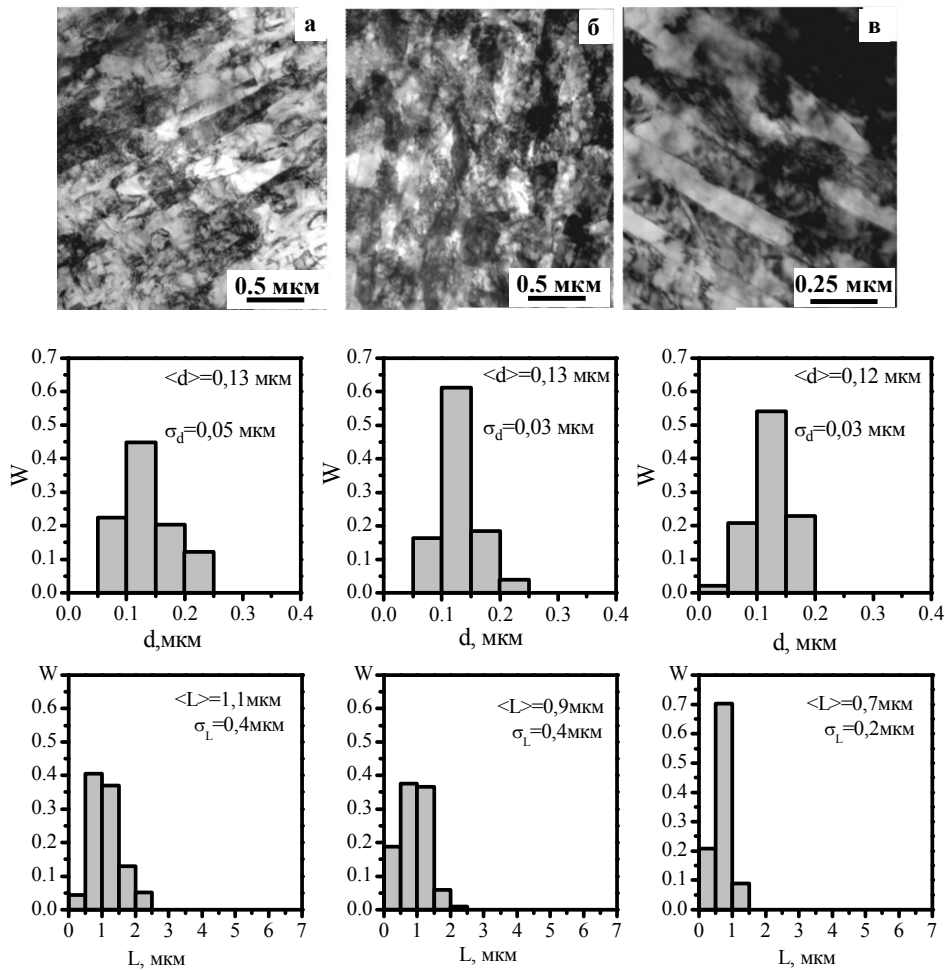


Рис.2. Электронно-микроскопические изображения и распределения зерен по размерам (d -поперечный и L -продольный размер) в УМЗ-титане после ионной имплантации с дозами облучения: а – $1 \cdot 10^{17}$, б – $5 \cdot 10^{17}$, в – $10 \cdot 10^{17}$ ион/см²

А так как увеличение дозы имплантации происходит за счет повышения её длительности, то реструктуризация материалов происходит как вследствие энергетического воздействия, так и в результате локального повышения температуры в условиях имплантации.

Работа выполнена в рамках гос. задания Минобрнауки России № 461 и при финансовой поддержке РФФИ № 16-48-700198.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерошенко А.Ю., Шаркеев Ю.П., Толмачев А.И. и др. Структура и свойства объемного ультрамелкозернистого титана, полученного *abc*-прессованием и прокаткой // Перспективные материалы. – 2009. – №7. – С.107-112.
2. Savkin K.P., Nikolaev A.G., Oks E.M., Yushkov G.Yu. Ion beam Mass and Charge Composition for the Vacuum Arc Mevva-V.RU Metal Ion Source with Compound Cathodes // Prock. 9th Int. Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. – Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2008. – P.68-71.
3. Курзина И.А., Попова Н.А., Никоненко Е.Л. и др. Влияние дозы ионного воздействия алюминием на структуру и фазовый состав ультрамелкозернистого титана // Изв. РАН. Серия физическая. – 2013. – Т.77. – №11. – С.1669-1672.