

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и инновациям
Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники



н., доцент

А.Г. Лоцилов

« 4 » апреля

2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники»

Диссертация «Влияние имплантации ионами алюминия на формирование градиентных слоев сплава VT1-0 в различных структурных состояниях» выполнена на кафедре физики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

В период подготовки диссертации соискатель Никоненко Алиса Владимировна обучалась в ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». В настоящее время работает на кафедре физики.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Курзина Ирина Александровна, профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» по совместительству.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы:

Диссертационная работа Никоненко Алисы Владимировны является научно-квалифицированной работой, в которой исследуется структурно-фазового состояния градиентных модифицированных слоев сплава VT1-0' в субмикрористаллическом (СМК), ультрамелкозернистом (УМЗ) и мелкозернистом (МЗ) состояниях, полученных в условиях имплантации ионами алюминия (1×10^{17} ион/см² – 10×10^{17} ион/см²) на источнике MEVVA-V.RU и выявлены факторы, влияющих на упрочнение титановых сплавов.

Актуальность темы исследования

В настоящее время для получения материалов со специфическими эксплуатационными свойствами имеется ряд методов (легирование, термическая обработка, ионное облучение и др.), позволяющих улучшить поверхностные свойства, основанные на изменении элементного состава, образовании новых фаз и модификации микроструктуры сплава. Хорошо известно, что при одностороннем воздействии на материал образуются градиентные структуры, по мере удаления от поверхности изменяются структурные и эксплуатационные характеристики исследуемых материалов. Актуальным является исследование особенностей микроструктуры и химического состава модифицированных градиентных слоев, полученных в условиях ионной имплантации металлов и выявление особенностей структуры градиентных слоев в зависимости от параметров облучения.

Научная новизна диссертации:

1. Впервые получены и подробно исследованы особенности структурно-фазового состояния градиентных слоев сплава ВТ1-0 в СМК, УМЗ, МЗ-состояниях, модифицированных в условиях ионной имплантации на источнике MEVVA-V.RU.

2. Выявлены закономерности в формировании градиентных слоев. По мере удаления от облученной поверхности установлено формирование 5 слоев: 1 – оксидный слой; 2 – ионно-легированный слой; 3 – слой с измельченной зеренной структурой; 4 – слой остаточного влияния имплантации; 5 – слой с исходной зеренной структурой. Увеличение размера зерна титановой мишени и дозы ионной имплантации влияет на толщину слоев.

3. Впервые установлена локализация алюминий содержащих фаз по глубине градиентных слоев модифицированного титана. Установлено, что в первой половине слоя 2 весь Al находится в твердом растворе, образуя пересыщенный твердый раствор Ti-Al, во второй половине слоя 2 алюминий находится в твердом растворе и интерметаллидных фазах Ti_3Al и $TiAl_3$; в слоях 3, 4 весь Al находится в интерметаллидных фазах с максимальной объемной долей по мере роста дозы облучения; в слое 5 алюминий отсутствует.

4. Установлены структурные вклады в упрочнение сплава ВТ1-0. В СМК- и УМЗ-состоянии сплава ВТ1-0 основной вклад в упрочнение вносит зернограничные, твердорастворные и моментные напряжения; в МЗ-состоянии твердорастворные и моментные напряжения.

Научная и практическая значимость работы: состоит в углублении знаний о физических процессах формирования структуры, фазового состава, дислокационной

субструктуры в сплаве ВТ1-0, имплантированного ионами алюминия. Разработана методика исследования градиентных структур по слоям. Выявлен градиентный характер изменения структуры, фазового состава, дислокационной субструктуры сплава ВТ1-0 после имплантации ионами алюминия, что позволило количественно оценить механизмы упрочнения на разных расстояниях от поверхности сплава ВТ1-0. Результаты диссертации могут быть использованы для сравнительного анализа исследования градиентных структур при имплантации широкого спектра наноструктурных вкладов.

Личный вклад автора состоит в проведении экспериментов, обработке и анализе полученных результатов, сопоставлении их с литературными данными, представлении докладов на научных конференциях. Постановка цели и задач диссертационной работы, обсуждение полученных результатов, формулировка основных положений и выводов, а также подготовка статей, проведены совместно с научным руководителем.

Все результаты, составляющие научную новизну диссертации, получены автором. Соавторы, принимавшие участие в исследованиях указаны в списке публикаций по теме диссертации. Личный вклад автора состоит в исследовании качественного [2, 7-14, 16, 17] и количественного [1, 3-6, 8, 9, 12, 15,16] анализа градиентных слоев сплава ВТ1-0 в различных структурных состояниях, после имплантации ионами алюминия, методами просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, оже-спектроскопии [1–17].

Степень достоверности исследования. Достоверность исследования обеспечивается комплексным подходом к решению поставленных задач с использованием современных методик на сертифицированном структурно-аналитическом оборудовании; согласованием результатов, полученных различными методами; сопоставимостью их с данными других авторов.

Апробация результатов работы. По результатам диссертационных исследований были сделаны доклады на 21 следующих всероссийских и международных конференциях: IX, X, XI, XII, XIII, XVI, XVII, XIII Международные конференции студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» (Томск, 2012-2016 гг., 2019-2021 гг.); Международная конференция «Иерархически организованные системы живой и неживой природы» (Томск, 2013 г.); Международный симпозиум «Упорядочение в минералах и сплавах» (Ростов-на-Дону, 2014 г., 2019 г.); International seminar «Effect of external influences on the strength and plasticity of metals and alloys» (Барнаул, 2015 г.); 21st international conference on surface modification of materials by ion beams, (Томск, 2019 г.); 4-й научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летнему юбилею кафедры «Материаловедение, технология термической и лазерной

обработки металлов» (Пермь, 2019 г.); Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций» и VIII всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию основания института химии нефти «Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа» (Томск, 2019 г.); II Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию ООО «Кузбасский центр сварки и контроля». (Кемерово, 2019 г.); XVII Российской научной студенческой конференции «Физика твердого тела (Томск, 2020 г.); XVI Международной школы-семинара «Эволюция дефектных структур в конденсированных средах» (Барнаул, 2020 г.); Международной конференции посвященной 90-летию со дня рождения основателя и первого директора ИФПМ СО РАН Виктора Евгеньевича Панина в рамках международного междисциплинарного симпозиума «Иерархические материалы: разработка и приложения для новых технологий и надежных конструкций» (Томск, 2020 г.); Международной конференции «Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии» (Томск, 2021г.); 5-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Пермь, 2021 г.)

Полнота изложения материалов работы в публикациях автора:

По теме диссертации опубликовано 46 работа, из них 7 статей в научных журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналах и изданий ВАК РФ, 11 статей в журналах, включенных в библиографические базы данных цитирования Web of Science и Scopus, 2 коллективные монографии, 26 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийской с международным участием научных и научно-практической конференций

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ и международные реферативные базы данных цитирования Web of Science и Scopus:

1. Влияние дозы облучения на упрочнение ультрамелкозернистого титана / Курзина И.А., **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Калашников М.П. //Вестник ТГУ. – 2013. – Т.18, вып.4. – С.1703-1704.
2. Влияние размера зерна на механические свойства α -титана, имплантированного ионами алюминия / Курзина И.А., **Никоненко А.В.**, Калашников М.П., Попова Н.А. //Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2013. – Т.10, №1. – С.35-43.

3. Влияние размера зерна на упрочнение сплава VT1-0, имплантированного ионами алюминия / **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Калашников М.П., Никоненко Е.Л., Курзина И.А. // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2014. – Т.11, №4. – С.437-443.
4. Influence of the grain size on the dispersion strengthening of VT1-0 alloy implanted with aluminum ions / **Nikonenko A.**, Popova N., Kalashnikov M., Nikonenko E., Kurzina I. // *Advanced Materials Research*. – 2015. – V.1085. – P.294-298.
5. Влияние размера зерна на дисперсионное упрочнение α -Ti, имплантированного ионами алюминия / **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Калашников М.П., Никоненко Е.Л., Курзина И.А. // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2015. – Т.12, №1. – С.85-88.
6. Размер зерна и дисперсионное упрочнение альфа-титана, имплантированного ионами алюминия / **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Калашников М.П., Никоненко Е.Л., Курзина И.А. // *Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы*. – 2017. – №1. – С.13-16.
7. Структурно-фазовое состояние УМЗ титана, имплантированного ионами алюминия / **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Калашников М.П., Окс Е.М., Курзина И.А. // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2019. – Т. 21, №4. – С.17-25.
8. Influence of Implantation on the Grain Size and Structural-Phase State of UFG-Titanium / Nikonenko A., Popova N., Nikonenko E., Kalashnikov M., Kurzina I. // *AIP Conf. Proc.* – 2019. – V.2167. – P.020243 (1-4).
9. The effect of aluminum ion implantation on the grain size and structure of UFG titanium / **A.V. Nikonenko**, N.A. Popova, E.L.Nikonenko, I.A.Kurzina // *Surface & Coatings Technology*. – 2020. – V.393
10. Structural-phase state of UFG-titanium implanted with aluminum ions / **A.V. Nikonenko**, N.A. Popova, E.L. Nikonenko, M.P. Kalashnikov, I.A. Kurzina // *Solid state phenomena*– 2020. – V.303,. – P.161-168.
11. Influence of the aluminum ion implantation dose on the phase composition of submicricrystalline titanium / **A.V. Nikonenko**, N.A.Popova, E.L.Nikonenko, M.P.Kalashnikov, E.M. Oks, I.A.Kurzina // *Vacuum* – 2021. – V.189. – P. 110230.

Публикации в сборниках статей и трудах конференций:

12. **А.В. Никоненко**, Н.А. Попова, Е.Л. Никоненко, М.П.Калашников Влияние дозы облучения ионами алюминия на форму и размер зерен в ионно-легированном слое УМЗ-титана / *Сборник научных трудов XIII международной конференции студентов,*

аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», 26-29 апреля 2016г., Томск, Россия. – Томск: НИ ТПУ, 2016. – С.199-201.

13. **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Никоненко Е.Л. Влияние имплантации ионами алюминия на изменение размера зерна УМЗ-титана / сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» Томск, Россия. – Томск: НИ ТПУ, 2019. – С.253-255. 23-26 апреля 2019 г.

14. **Nikonenko A.**, Popova N.A., Nikonenko E.L., Kurzina I.A. Influence of Implantation by ions of aluminium on change of grain of UFG-titanium / Abstract book 21st international conference on surface modification of materials by ion beams, Tomsk, Russia. – 2019. – P. 125. 25-30 august 2019.

15. **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Калашников М.П., Курзина И.А. Влияние размера зерна на упрочнение УМЗ-титана, имплантированного ионами алюминия / Труды 22-го Международного междисциплинарного симпозиума «Упорядочение в минералах и сплавах» ОМА-22, Ростов-на-Дону – пос. Шепси, 9-14 сентября 2019 г. – Ростов н/Д: Изд-во Фонд науки и образования, 2019. – Вып.22. – Т.1. – С.114-116.

16. **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Калашников М.П., Окс Е.М., Курзина И.А. Влияние имплантации алюминия на структурно-фазовое состояние и упрочнение ультрамелкозернистого титана / Тезисы докладов International Workshap «Nultiscale biomechanics and tribology of inorganic and organic systems», международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций» и VIII всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию основания института химии нефти «Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа» 1-5 октября 2019 года, Томск, Россия, – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2019. – С.265.

17. **Никоненко А.В.**, Попова Н.А., Никоненко Е.Л. Курзина И.А. Влияние температуры отжига на размер зерна УМЗ-титана / Сборник тезисов Сборник тезисов XVI Международной школы-семинара «Эволюция дефектных структур в конденсированных средах». Под ред. М.Д. Старостенкова, Барнаул, 07-12 мая 2020 г. – Барнаул: Изд-во «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 2020. – с. 55.

Соответствие диссертации специальности:

Представленная Никоненко А.В. диссертация на тему «Влияние имплантации ионами алюминия на формирование градиентных слоев сплава ВТ1-0 в различных структурных состояниях» соответствует п. 3 паспорта специальности 1.3.5 – Физическая электроника по техническим наукам в части «...модификации свойств поверхности» ионами алюминия.

Заключение

Диссертационная работа Никоненко Алисы Владимировны «Влияние имплантации ионами алюминия на формирование градиентных слоев сплава ВТ1-0 в различных структурных состояниях» является самостоятельной, завершенной, научно-квалифицированной работой, в которой на основе проведенных исследований решена актуальная научная задача исследование структурного фазового состояния каждого слоя градиентной структуры, а также выявление факторов, влияющих на упрочнение сплава ВТ1-0 в СМК, УМЗ и МЗ-состояниях, полученных после имплантации ионами алюминия с различными дозами (1×10^{17} ион/см² – 10×10^{17} ион/см²).

Диссертационная работа Никоненко Алисы Владимировны «Влияние имплантации ионами алюминия на формирование градиентных слоев сплава ВТ1-0 в различных структурных состояниях» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5 – физическая электроника.

Присутствовало на заседании: 12 человек.

Результаты голосования: «за» – 12; «против» – 0; «воздержались» – 0.

Протокол №38 от 1.04.22.

Председатель заседания

д.т.н., профессор кафедры физики ТУСУРа

Бурдовицин В.А.

Секретарь заседания

д.т.н., профессор кафедры физики ТУСУРа

Климов А.С.