

**Министерство науки и высшего
образования Российской Федерации**
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования

**«Алтайский государственный
технический университет им.
И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**

пр-т Ленина, 46, г. Барнаул, 656038

Телефон: (3852) 29-07-10

Факс: (3852) 36-78-64

E-mail: altgtu@list.ru ;

ntsc@desert.secna.ru

ОКПО 02067824

ОГРН 1022201517854

ИНН/КПП 2224017710/222401001

03.06.2022 № ДекД-46-1258

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор Алтайского
государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
д.т.н., профессор
Марков Андрей Михайлович



2022г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» на диссертационную работу Никоненко Алисы Владимировны «Влияние имплантации ионами алюминия на формирование градиентных слоев титана VT1-0 в различных структурных состояниях»; представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5 «Физическая электроника»

Актуальность работы

Технологии ионной имплантации металлов и сплавов находят широкое применение в современных наукоемких отраслях промышленности для улучшения характеристик изделий, зависящих от свойств поверхностного слоя. Для повышения качества, прочности и долговечности материалов требуется непрерывное совершенствование оборудования, технологий модификации и методов исследований полученных материалов, их

поверхностных и целостных характеристик. Работа Никоненко А.В. посвящена исследованию влияния ионной имплантации на формирование градиентных слоев в титане - материала с высокой удельной прочностью в широком интервале рабочих температур и коррозионной устойчивостью в агрессивных средах. При изменении свойств исходного титана образованные градиентные слои изменяют свои свойства по мере удаления от поверхности, изменяется концентрация основных элементов и примесей, плотность дефектов, размеры зерен, и.т.д., что в свою очередь приводит к изменению и основных эксплуатационных характеристик материала. Поэтому получение, и детальное исследование свойств и характеристик этих слоев является весьма актуальной задачей, решение которой позволит расширить понимание о структуре и свойствах новых материалов.

Краткое содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и заключения. Во введении показана актуальность темы диссертации, сформулирована цель исследования, научная новизна и защищаемые положения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы основные цели и задачи работы, определен объект исследований, показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Изложены основные научные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации работы, личном вкладе автора, структуре и объеме диссертации.

Первая глава является обзорной, рассмотрены основные характеристики титана и его сплавов, методы модификации структуры, поверхностное упрочнение, диаграмма состояния Ti-Al и формирование градиентной структуры при имплантации ионами алюминия в титан марки ВТ1-0. В заключении главы формулируются основные задачи диссертационной работы.

Во второй главе рассмотрены основные объекты исследования, представлено описание метода ионной имплантации с помощью ионного источника на основе дугового разряда Mevva-5.RU, а также методы подготовки образцов. Детально описаны методы исследования структуры и фазового состава полученных в результате имплантации градиентных слоев исследуемого сплава.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию температуры отжига на размер зерна титана VT1-0. Представлены результаты по структурно-фазовому состоянию титана VT1-0, после abs – прессования и прокатки.

В четвертой главе представлены результаты по влиянию имплантации ионами алюминия на образование градиентной структуры в титане в ультрамелкозернистом (УМЗ) и субмикроструктурном (СМК) состояниях, влияние на фазовый, элементный состав и размеры зерна от дозы имплантации. Представлено подробное описание фазовых состояний градиентной структуры каждого из полученных в результате модификации слоев. Также представлена дефектная структура титана VT1-0 и внутренние напряжения после имплантации ионами алюминия.

В пятой главе рассмотрена дефектная и градиентная структура титана VT1-0 в мелкозернистом (МЗ) -состоянии после имплантации ионами алюминия. Представлены изменение размера зерна и расположение фаз в каждом слое градиентной структуры. Показано как структурные характеристики изменяются в зависимости от дозы ионной имплантации.

В шестой главе рассмотрены механизмы упрочнения титана VT1-0 в различных структурных состояниях до и после имплантации ионами алюминия различными дозами.

В выводах сформулированы основные результаты диссертации. Список литературы (159 источников) содержит обширную и вполне достаточную библиографию по всем вопросам, рассмотренным в диссертации.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что:

1. Подробно исследованы особенности структурно-фазового состояния градиентных слоев титана марки ВТ1-0 в различных модификациях, при имплантации ионами алюминия на источнике Mevva-5.RU, выявлены факторы, влияющие на упрочнение этого сплава.

2. Установлено, что в различных состояниях в титане ВТ1-0 после ионной имплантации алюминием, по мере удаления от поверхности образуется градиентная структура, представляющая собой 5 различных по фазовому составу и зеренной структуре слоев, детально исследованы их параметры.

3. Установлена локализация алюминий-содержащих фаз по глубине градиентных слоев модифицированного титана и структурные вклады в упрочнение титанового сплава.

Научная и практическая значимость

состоит в углублении знаний о физических процессах формирования структуры, фазового состава, дислокационной субструктуры в титан ВТ1-0, имплантированного ионами алюминия. Разработана методика ПЭМ-исследований градиентных структур по слоям, которая может быть применена для изучения широкого спектра сплавов. Выявлен градиентный характер изменения структуры, фазового состава, дислокационной субструктуры титана ВТ1-0 после имплантации ионами алюминия, что позволило количественно оценить механизмы упрочнения на разных расстояниях от поверхности имплантированного материала. Результаты диссертации могут быть использованы для сравнительного анализа исследования градиентных структур при имплантации широкого спектра наноструктурных и мелкозернистых сплавов.

Достоверность научных результатов работы подтверждается систематическим характером исследований, использованием современных методик на сертифицированном структурно-аналитическом оборудовании,

согласованием результатов, полученных различными методами, сопоставимостью их с уже известными данными.

Диссертация Никоненко А.В. выполнена на достаточно высоком уровне. По результатам исследований по теме диссертации опубликовано 46 работ, из них 7 статей в научных журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов 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.

Таким образом, актуальность работы и новизна результатов не вызывает сомнений. Однако работа не лишена недостатков, на которые мы считаем необходимым остановиться.

Замечания по диссертационной работе

1. Из текста диссертации и автореферата не понятно каким образом проводилась финальная очистка образцов для имплантации после их приготовления, отсюда возникает вопрос об образовании верхнего оксидного слоя. Какие причины его образования? Есть ли основания полагать что оксидный слой возник в результате ионной имплантации? тем более, что на странице 69 диссертации автор пишет: «...следует, что толщина имплантированного слоя оказалась равной ~ 200 нм. Концентрация кислорода оказывается существенно выше концентрации алюминия.... Это объясняется тем, что ионная имплантация выполняется в вакуумной камере, в которой присутствует остаточная атмосфера, что и приводит к увеличению концентрации кислорода по сравнению с состоянием сплава перед имплантацией (исходное состояние)». В то же время на стр. 36 диссертации автор пишет, что «Имплантация на ионном источнике MEVVA-V.RU проводилась в атмосфере аргона».

2. В работе автор неоднократно заявляет, что методы ионной имплантации позволяют существенно повысить технические характеристики металлических материалов: прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, микротвердость и др., однако данных об измерении этих параметров на полученных образцах из титана VT1-0 в тексте диссертации нет. Измерялись ли эти характеристики и сравнивались ли они с уже полученными ранее представителями других научных групп?

3. В работе автор проводит несколько стадий модификации исходного сплава VT1-0, стр. 33 диссертации: «Для формирования УМЗ состояния к заготовкам технически чистого титана применяли комбинированный метод многократного одноосного прессования (abc - прессование) в сочетании с прокаткой», затем полученные образцы подвергались ионной имплантации с разными дозами. Из работы не понятно измерялись ли свойства титана VT1-0, после каждой проведенной стадии модификации?

4. В первом положении, выносимом на защиту автор утверждает, что «Выявлены закономерности в формировании градиентных слоев титана в условиях ионной имплантации. По мере удаления от облученной поверхности установлено формирование 5 слоев... 5 – слой с исходной зеренной структурой, толщина слоя от 1500 мкм до 1987 мкм). Не совсем понятно, что имеет в виду автор под этим «пятым слоем», возник ли он в результате модификации титана или это исходный слой, который не был подвержен модификации?

5. В тексте диссертационной работы и автореферата отсутствует информация о параметрах ионного пучка, который использовался для имплантации образцов, в частности: какое было радиальное распределение ионного пучка в месте где располагались образцы? какой был средний заряд ионов в пучке? отсутствие этих данных несколько затрудняют понимание экспериментального процесса.

6. В работе автор для получения разного размера зерна отжигал образцы в атмосфере аргона при температурах 573; 673; 723; 743; 773; 823 К в течение

1 часа. Не совсем понятно, каким образом и на основании каких данных были выбраны температурные режимы.

7. На стр.167 диссертационной работы, рис 6.4. представлены результаты изменения величины предела текучести имплантированного с различными дозами сплава ВТ1-0 в СМК-состоянии по мере удаления от поверхности образца. Автором сделан вывод о том, что «величина предела текучести в сплаве ВТ1-0 в СМК-состоянии, слабо зависит от дозы имплантации...»). Однако возможные объяснения этого в диссертационной работе отсутствуют.

8. В тексте диссертации присутствуют стилистические и грамматические ошибки:

Стр. 6 автореферата «доклады на 21 следующих всероссийских...»,

В подписях к рис. 4.42 и 4.43 дважды используется обозначение « 1×10^{17} ион/см²»;

Стр. 93 диссертации «Выше мы отмечали, это объясняется тем, что...»;

Стр.109 диссертации «Выше мы отмечали, что для определения элементного состава в поверхностном слое ...»;

Стр. 117 «Выше мы отмечали, что слой 2 следует за слоем 1.»;

Стр. 119 «Выше мы отмечали, что кроме интерметаллидных фаз Ti3Al и TiAl3 в слое 2...»;

Стр.120 «Выше мы отмечали, что в слое 2 кроме частиц фазы TiO2 присутствуют частицы»;

Стр. 126 «Выше мы отмечали, что независимо от дозы...»;

Стр.127 «Выше мы отмечали, что в сплаве как в СМК-, так...».

Хотелось бы прояснить, когда автор употребляет местоимение «мы» о ком идет речь? Хочется надеяться, что о научном руководителе работы.

Сделанные замечания не снижают общей научной и практической ценности диссертационной работы. Диссертационная работа четко структурирована, по каждой главе сформулированы содержательные выводы, что облегчает понимание материала. Автореферат соответствует основному

содержанию диссертационной работы, включает постановку цели и задач, основные результаты и выводы.

В целом, диссертация Никоненко А.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Основные результаты, представленные в диссертационной работе, обладают научной и практической значимостью. Результаты работы прошли широкую апробацию на международных конференциях.

Считаем, что диссертационная работа «Влияние имплантации ионами алюминия на формирование градиентных слоев сплава ВТ1-0 в различных структурных состояниях» соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 11.09.2021), а ее автор, Никоненко Алиса Владимировна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5 – Физическая электроника.

Отзыв на диссертационную работу и автореферат после доклада соискателя обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры «Физика» от «05» апреля 2022 г., протокол № 5.

«03» июня 2022 г.

 М.Д. Старостенков

Подпись Старостенкова М.Д. заверяю:



Сведения об организации:
656038, Сибирский федеральный округ,
Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина 46
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Алтайский
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
8 (3852) 29-07-06, 8 (3852) 29-07-10
altgtu@list.ru
genphys@mail.ru