

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки 22.03.01 «*Материаловедение и технологии материалов*»

Кафедра *наноматериалов и нанотехнологий*

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| Разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия |

УДК 669.71-408-048.35

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 4Б22 | Шамиева Анастасия Радисовна | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Иванов Ю.Ф. | д.ф.-м.н., доц. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|--------------|---------------------------|---------|------------|
| Ассистент каф. МЕН | Грахова Е.А. | | | 06.06.2016 |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|---------------------------|---------|------------|
| Профессор | Назаренко О.Б. | д.т.н. | | 07.06.2016 |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав. кафедрой | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Наноматериалов и нанотехнологий | Хасанов О.Л. | д.т.н., проф. | | |

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) |
|-----------------------|---|
| P1 | Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов |
| P2 | Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов |
| P3 | Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов |
| P4 | Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов |
| P5 | Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде |
| P6 | Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий |
| P7 | Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования |
| P8 | Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов |
| P9 | Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство |
| P10 | Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов |

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Кафедра наноматериалов и нанотехнологий

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Хасанов О. Л.

(подпись) (дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------------------------|
| 4Б22 | Шамиевой Анастасии Радисовне |

Тема работы:

Разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ №2598/с от 05.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования в данной работе является система «пленка (сплав 12Х18Н10Т) / (алюминий марки А7) подложка, подвергнутая облучению интенсивным импульсным электронным пучком и азотированию в плазме газового разряда низкого давления.

Целью данной работы была разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия марки А7.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

1. Обзор литературы
 - 1.1 Алюминий – достоинства и недостатки, области применения;
 - 1.2 Методы повышения служебных характеристик алюминия (механические, трибологические и др. свойства);
 - 1.3 Насыщение поверхности алюминия азотом (азотирование различными методами);
 - 1.4 Азотирование в плазме газового разряда низкого давления – преимущества и недостатки
2. Материал, методы обработки и методы исследования
3. Результаты исследований
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность

| | |
|--|---|
| | и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность Заключение Список публикаций Список используемых источников |
| Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> | Слайд-презентация (17 слайдов) |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> | |
| Раздел | Консультант |
| Социальная ответственность | Назаренко О.Б., профессор кафедры ЭБЖ, НИИ ТПУ |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Грахова Е.А., ассистент кафедры МЕН, НИИ ТПУ |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Разделы на русском языке: | Литературный обзор; материал, методы обработки и методы исследования; результаты исследований; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность. |
| Разделы на английском языке: | Алюминий – достоинства и недостатки, области применения. |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Иванов Ю.Ф. | д.ф.-м.н., доц. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 4Б22 | Шамиева А.Р. | | |

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования бакалавриат
 Кафедра нанотехнологий и наноматериалов
 Период выполнения осенний/весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма предоставления работы

| |
|---------------------|
| Бакалаврская работа |
|---------------------|

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
Выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|---|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы | |
|---|--|

| Дата контроля | Название раздела | Максимальный балл модуля |
|---------------|--|--------------------------|
| 15.12.2015 | Модификация структуры и свойств поверхностного слоя технически чистого алюминия комбинированным методом (азотирование в плазме газового разряда; формирование системы пленка/подложка; облучение электронным пучком) | 20 |
| 16.03.2016 | Изучение структуры и свойств (микротвердость, нанотвердость, износостойкость, коэффициент трения) | 10 |
| 16.05.2016 | Систематизация и анализ результатов, полученных при исследовании структуры и фазового состава поверхностного слоя технически чистого алюминия, модифицированного комбинированным методом | 35 |
| 16.06.2016 | Систематизация и анализ результатов, полученных при исследовании свойств поверхностного слоя технически чистого алюминия, модифицированного комбинированным методом | 35 |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Иванов Ю. Ф. | д.ф.-м.н., доц. | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Зав. кафедрой | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Наноматериалов и нанотехнологий | Хасанов О. Л. | д.т.н., проф. | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа 113 с., 43 рис., 29 табл., 61 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: алюминий, сплав 12Х18Н10Т, модифицирование, электронный пучок, азотирование, плазма газового разряда низкого давления, структура, свойства.

Объектом исследования является система «пленка (сплав 12Х18Н10Т) / (алюминий марки А7) подложка», подвергнутая облучению интенсивным импульсным электронным пучком и азотированию в плазме газового разряда низкого давления.

Цель работы – разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия марки А7.

Проведены исследования структуры и свойств материала (микротвердость, нанотвердость, износостойкость, коэффициент трения).

В результате исследования выявлен режим обработки образцов технически чистого алюминия А7, позволяющийкратно повысить трибологические и механические характеристики технически чистого алюминия. Модифицированные материалы отличаются повышенной износостойкостью и твердостью, по сравнению с исходными образцами.

На данном этапе работы степень внедрения не очевидна.

Основные области применения разработки: аэрокосмическая промышленность, авиационная промышленность, машиностроение.

Экономическая эффективность и менеджмент показали, что общие затраты на проводимое исследование составят 335702 рублей. Вычислены отчисления в страховые, пенсионные и медицинские учреждения и это около 10% от всех затрат.

В будущем планируется продолжить оптимизировать процессы получения новых поверхностных сплавов и режимов их формирования с целью повышения служебных характеристик технически чистого алюминия и сплавов на его основе.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

модифицирование: Воздействие, при котором изменяются структура и свойства материала, и способствует появлению новых свойств материала.

азотирование: Химико-термическая обработка, при которой поверхность металлов или сплавов насыщают азотом в специальной азотирующей среде, для повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости.

электронный пучок: Поток электронов, движущихся по близким траекториям в одном направлении, имеющий размеры, значительно большие в направлении движения, чем в поперечной плоскости.

концентрированные потоки энергии (КПЭ): Средства, применяемые для термического воздействия на материалы, в целях проведения термической обработки, напыления, наплавки и т.д. (к таким средствам относят газовое пламя, электрический разряд, электрическую дугу, пучок электронов, поток ионов и т.д.).

наноиндентирование: Испытание материала, вдавливанием индентора в поверхность образца, применяемое к наноматериалам (тонким пленкам, покрытиям и т.д.).

микрошлиф: Образец с заранее обработанной поверхностью для исследования на микроскопе.

износостойкость: Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определённых условиях эксплуатации или лабораторного испытания.

твёрдость: Свойство материала не испытывать пластической деформации вследствие местного контактного воздействия (вдавливании индентора).

Оглавление

| | |
|--|----|
| Введение | 10 |
| 1 Обзор литературы | 12 |
| 1.1 Алюминий – достоинства и недостатки, области применения | 12 |
| 1.2 Методы повышения служебных характеристик алюминия (механические, трибологические и др. свойства) | 17 |
| 1.3 Насыщение поверхности алюминия азотом (азотирование различными методами) | 20 |
| 1.4 Азотирование в плазме газового разряда низкого давления – преимущества и недостатки | 21 |
| 2 Материал, методы обработки и методы исследования | 34 |
| 2.1 Формирование системы пленка/подложка | 38 |
| 2.2 Формирование поверхностного сплава | 39 |
| 2.3 Диффузионное насыщение поверхностного сплава азотом | 41 |
| 3 Результаты исследований | 43 |
| 3.1 Азотирование алюминия | 43 |
| 3.2 Азотирование системы «пленка (сталь 12Х18Н10Т) / (А7) подложка» | 52 |
| 3.3 Азотирование системы «пленка (сталь 12Х18Н10Т) / (А7) подложка», обработанной электронным пучком | 57 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 67 |
| 4.1 Оценка коммерческого потенциала проекта | 67 |
| 4.2 Планирование работ по НТП | 71 |
| 4.3 Составление сметы научного исследования | 74 |
| 4.4 Эффективность работы | 79 |
| 5 Социальная ответственность | 83 |
| 5.1 Производственная безопасность | 85 |
| 5.2 Экологическая безопасность | 91 |
| 5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 92 |
| 5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 94 |
| Заключение | 97 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| Список публикаций | 99 |
| Список использованных источников | 102 |
| Приложение А | 108 |

Введение

Общепризнанно, что для повышения долговечности, надежности и стойкости деталей машин и механизмов в агрессивных средах, при трении скольжения под большими давлениями в присутствии абразивных частиц оказывается целесообразным и достаточным упрочнять лишь поверхностные слои, а не всю деталь в целом [1-3].

Алюминий и его сплавы широко используются в промышленности благодаря достаточно большой удельной прочности, удовлетворительной коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости механическими методами [4]. Однако наряду с этими преимуществами алюминий обладает малой твердостью и невысокой износостойкостью. Диффузное насыщение поверхности алюминия ионами азота позволяет в той или иной мере минимизировать эти недостатки [5].

Комбинированные технологии модифицирования поверхности металлов и сплавов, сочетающие несколько взаимодополняющих методов воздействия, получили широкое развитие в последние десятилетия. К наиболее перспективным из них следует отнести электронно-ионно-плазменные технологии, сочетающие воздействие различных видов концентрированных потоков энергии (потоки плазмы, электронные и ионные пучки, и т.д.) [6].

Цель работы – разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия.

Научная новизна работы объясняется тем, что используемые в работе установки для электронно-ионно-плазменной модификации по совокупности параметров являются уникальными.

Практическая значимость результатов ВКР – результаты исследований могут быть использованы в областях промышленности и техники, где основные свойства детали обеспечиваются состоянием ее поверхности (пары трения, коррозия, циклические нагрузки и т.д.), а также удельными характеристиками (удельный вес, предел прочности и т.д.). К таким областям относятся

аэрокосмическая промышленность, авиационная промышленность, машиностроение, приборостроение.

Результаты, полученные в работе, были представлены на IV Всероссийском молодежном Форуме с международным участием "Инженерия для освоения космоса" (ТПУ, 2016 г.), на XIII Международной конференции «Перспективы развития фундаментальных наук» (ТПУ, 2016), на XV Российской научной студенческой конференции по физике твердого тела ФТТ-2016 (ТГУ, 2016), на VIII Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» (ТПУ, 2016); результаты были также представлены в виде постера на 2nd International Young Scientists School «Nanostructured materials» (ТПУ, 2016) и на IV Международной научно-практической конференции «Нanomатериалы и живые системы» (НИТУ «МИСиС», Москва, 2016).

Результаты работы опубликованы в сборниках трудов конференций:

1. IV Всероссийского молодежного форума с международным участием, г. Томск, 12-14 апреля 2016 г.
2. XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г. в 7 томах.
3. VIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016.
4. IV Международной научно-практической конференции. Россия, Москва, 2–3 июня 2016 г.

На данном этапе исследований внедрение результатов работы не очевидно.

1 Обзор литературы

1.1 Алюминий – достоинства и недостатки, области применения

Алюминий - серебристо-белый металл, 13-й элемент периодической таблицы Менделеева (элемент главной подгруппы III группы) (рис. 1). Обозначается латинскими буквами **Al**.



Рисунок 1 – Алюминий в периодической системе Д.И. Менделеева

Алюминий – один из самых распространенных металлов на Земле (третий по распространенности после кислорода и кремния), он составляет более 8% всей массы земной коры [7]. Производство алюминия в мире ежегодно увеличивается. В данный момент оно образует около 5 – 6 % от производства стали, если считать по объему, т.к. алюминий легче стали приблизительно в 3 раза. Алюминий смело вытеснил медь и другие цветные металлы на третьи и дальнейшие места и стал вторым металлом нашей эпохи.

Кристаллическая решетка этого элемента является разновидностью гранцентрированного куба (пространственная группа $Fm\bar{3}m$) (рис. 2). Расстояние между двумя соседними атомами составляет $2,863\text{Å}$. Период кристаллической решетки алюминия $a = 4,0414\text{Å}$ при комнатной температуре [8]. Кристаллическая решетка устойчива при изменении температуры от 4 К и до температуры плавления 933 К. Параметр решетки малозаметно меняется от присутствия примесей.

Атомный радиус алюминия – это расстояние между центрами двух атомов в кристаллической структуре и равен $1,43\text{Å}$. В кристаллической структуре алюминия существует металлическая связь [9].

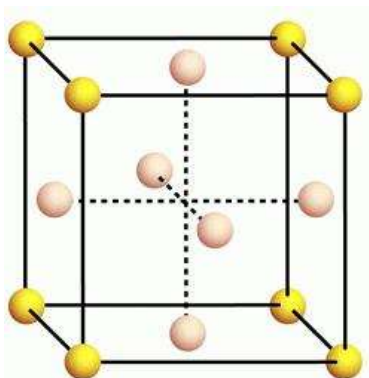


Рисунок 2 - Кристаллическая решетка алюминия

Отличительные особенности алюминия - это малая плотность, высокие тепло- и электропроводность, значительная коррозионная стойкость за счет присутствия на поверхности металла плотной оксидной пленки Al_2O_3 .

Алюминий очень пластичен и хорошо поддается обработке давлением, но в то же время при обработке резанием появляются затруднения, одной из причин которых является налипание металла на инструмент.

В соответствии с наличием примесей в алюминии, появляются изменения в его коррозионных, физических, механических и технологических свойствах. Многие примеси негативно сказываются на электропроводности алюминия. Самые распространенные примеси это железо и кремний. Железо уменьшает пластичность и коррозионную стойкость, также увеличивает прочностные свойства алюминия. Наличие железа в сплавах алюминия с кремнием и магнием негативно отражается на свойствах сплава.

В России первичный алюминий выпускается (ГОСТ 11069-74) трех сортов (табл. 1): особой чистоты (А999), высокой чистоты (А995-А95) и технической чистоты (А85-А0). В маркировке буква «А» указывает на алюминий, а последующие цифры обозначают десятые, сотые и тысячные доли процента содержания алюминия. К примеру, алюминий марки А995 содержит не менее 99,995% Al, марки А7 – 99,7% Al, марки А0 – 99,0% Al.

Таблица 1 – Марки и химический состав (%) первичного алюминия (ГОСТ 11069-74)

| Обозначение марок | Al, не менее | Примеси, не более |
|-------------------|--------------|-------------------|
|-------------------|--------------|-------------------|

| | | Fe | Si | Cu | Zn | Ti |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| <i>Алюминий особой чистоты</i> | | | | | | |
| A999 | 99,999 | - | - | - | - | - |
| <i>Алюминий высокой чистоты</i> | | | | | | |
| A995 | 99,995 | 0,0015 | 0,0015 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| A99 | 99,99 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,002 |
| A97 | 99,97 | 0,015 | 0,015 | 0,005 | 0,003 | 0,002 |
| A95 | 99,95 | 0,025 | 0,020 | 0,010 | 0,005 | 0,002 |
| <i>Алюминий технической чистоты</i> | | | | | | |
| A85 | 99,85 | 0,08 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,008 |
| A8 | 99,8 | 0,12 | 0,10 | 0,01 | 0,04 | 0,01 |
| A7 | 99,7 | 0,16 | 0,15 | 0,01 | 0,04 | 0,01 |
| A7E*** | 99,7 | 0,20 | 0,08 | 0,01 | 0,04 | 0,01* |
| A6 | 99,6 | 0,25 | 0,18 | 0,01 | 0,05 | 0,02 |
| A5E | 99,5 | 0,35** | 0,10 | 0,02 | 0,04 | 0,015* |
| A5 | 99,5 | 0,30 | 0,25 | 0,02 | 0,06 | 0,02 |
| A0 | 99,0 | 0,50 | 0,5 | 0,02 | 0,08 | 0,02 |

* Для суммы титана, ванадия, хрома и марганца.

** Допускается массовая доля железа не менее 0,18%.

*** «E» - в марках с гарантированными электрическими характеристиками.

Алюминий особой и высокой чистоты применяется в лабораторных и специальных целях, алюминий технической чистоты - для технических целей (выпуск деформируемого полуфабриката, получения сплавов и др.).

Алюминий имеет ряд преимуществ: доступность, высокие проводимость и удельная прочность, легкость, устойчивость к коррозии, пластичность, повышенная огнеустойчивость, хорошая устойчивость к различным температурам, экологичность, долговечность.

Теоретический удельный вес алюминия равен 2698,72 кг/м³. Экспериментальные же значения колеблются от 2696,6 до 2698,8 кг/м³.

Устойчивость к коррозии достигается присутствием оксидной пленки на поверхности алюминия, которая реконструируется, если нарушается ее целостность. В атмосфере сухого кислорода толщина оксидной пленки достигает максимального значения и составляет 2,5-3 нм. Толщина оксидной пленки может быть увеличена за счет присутствия паров воды. При комнатной температуре и 100 % влажности, толщина пленки почти вдвое больше, чем в сухом кислороде.

К недостаткам чистого алюминия можно отнести низкий модуль упругости (7100 кН/см^2), низкая механическая прочность при растяжении, значительная мягкость. Поэтому алюминий редко используется в чистом виде и все чаще подвергается легированию.

Еще Д.И. Менделеев писал, что «металлический алюминий, обладая большою легкостью и прочностью и малой изменчивостью на воздухе, очень пригоден для некоторых изделий» [10]. Алюминий – очень распространенный и недорогой металл. Алюминий спокойно поддается обработке: ковке, штамповке, прокату, волочению, прессованию. Чистый алюминий – довольно мягкий металл; из него изготавливают электрические провода, детали конструкций, фольгу для пищевых продуктов, кухонную утварь и «серебряную» краску. Так же он широко используется в строительстве и авиационной технике. Благодаря хорошему светоотражению алюминий используют для изготовления зеркал (методом напыления металла в вакууме).

В авиа- и машиностроении и при изготовлении строительных конструкций, используются более твердые сплавы алюминия. Самый распространенный – сплав алюминия с медью и магнием (дуралюмин, или просто «дюраль»). После закалки дуралюмин увеличивает свою твердость по сравнению с чистым алюминием приблизительно в 7 раз. Так же он почти втрое легче железа. Широко распространены силумины – литейные сплавы алюминия с кремнием.

Легкость и прочность алюминиевых сплавов нашли применение в авиационной технике. Например, из сплава алюминия, магния и кремния

изготавливают винты вертолетов. Недорогая алюминиевая бронза (до 11% Al) имеет высокие механические свойства, она стабильна в морской воде и в разбавленной соляной кислоте. В СССР с 1926 по 1957 из неё чеканили монеты номиналом 1, 2, 3 и 5 копеек.

В настоящий момент четвертая часть всего алюминия идет на строительство, такая же часть расходуется на транспортное машиностроение, около 17% – на упаковочные материалы и консервные банки, 10% – в электротехнике.

Также алюминий содержат горючие и взрывчатые смеси. Алюмотол (литая смесь тринитротолуола с порошком алюминия) – одно из самых мощных промышленных взрывчатых веществ. Аммонал – взрывчатое вещество, состоящее из аммиачной селитры, тринитротолуола и порошка алюминия. Зажигательные составы содержат алюминий и окислитель – нитрат, перхлорат. Пиротехнические составы «Звездочки» также содержат порошкообразный алюминий.

Смесь порошка алюминия с оксидами металлов (термит) используют для сварки рельсов, в зажигательных боеприпасах и т.д.

Алюминий также применяется в качестве ракетного топлива. Для полного сжигания 1 кг алюминия требуется почти вчетверо меньше кислорода, чем для 1 кг керосина.

Самое главное свойство алюминия как металла – это его легкость. Так как алюминий не токсичен, популярность приобрела посуда из алюминия. Алюминий используют в пищевой промышленности при изготовлении фольги.

1.2 Методы повышения служебных характеристик алюминия (механические, трибологические и др. свойства)

Для повышения служебных характеристик алюминия применяют методы объемной обработки алюминия (термическая обработка и т.д.).

Термическую обработку используют для модификации свойств алюминия, путем изменения их микроструктуры. Основные упрочняющие

механизмы для алюминия и его сплавов – это упрочнение за счет легирования твердого раствора и выделений вторичных фаз.

Твердый раствор получают при нагревании алюминия и его сплавов, при котором все имеющиеся в нем фазы растворяются с образованием одной гомогенной фазы – алюминия с растворенными в нем легирующими элементами. С увеличением температуры растворимость элементов повышается, с уменьшением – снижается. При быстром охлаждении алюминия и его сплавов растворенные элементы остаются в атомной решетке алюминия и искажают, упруго деформируют ее. Искаженная атомная решетка осложняет движение дислокаций и, следовательно, пластическую деформацию сплава, тем самым повышает его механическую прочность.

Для алюминия и его сплавов широкое применение в металлургическом производстве получили три основных вида термообработки: отжиг, закалка, старение.

Отжиг применяют в случаях, когда по тем или иным причинам возникает неравновесное состояние сплава и появляются нежелательные свойства (невысокая пластичность).

У алюминиевых сплавов распространены три вида неравновесных состояний:

1. Неравновесное состояние, свойственное литым сплавам. Скорость охлаждения сплавов при кристаллизации слитков значительно превышает скорости охлаждения, необходимые для равновесной кристаллизации.
2. Неравновесное состояние, вызванное пластической деформацией (чаще холодной).
3. Неравновесное состояние, результат предыдущей упрочняющей обработки (закалки и старения). Основная особенность такого состояния — присутствие в сплаве более или менее пересыщенного (легирующими компонентами) твердого раствора с дисперсными выделениями интерметаллидных фаз. Особенность этого неравновесного состояния по

сравнению с вышеизложенными состояниями в том, что оно получается только в сплавах, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии.

Рассмотренные виды неравновесных структур устраняются отжигом.

Закалку используют для сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии. В алюминиевых сплавах, применяемых в промышленности, отмечается только один вид фазовых превращений: при нагреве, интерметаллидные фазы растворяются в алюминии, а при охлаждении снова образуются из твердого раствора. Таким образом, закалка возможна только для алюминиевых сплавов, содержащих компоненты, растворимость которых в твердом алюминии возрастает с температурой, превышающих растворимость при комнатной температуре (Cu, Mg, Mn, Si, Zn, Li).

После проведения закалки сплавы, имеющие повышенную прочность, по сравнению с отожженным состоянием, сохраняют высокую пластичность. Роль закалки не обходится ее влиянием на свойства. Она предоставляет возможность дальнейшего повышения прочности при старении.

Алюминий и его сплавы, упрочняемые старением, содержат определенное количество растворимых легирующих элементов. При термической обработке растворенные атомы соединяются в виде мелких частиц, которые выделяются внутри зерен алюминия и его сплавов. Этот процесс называется старением, так он происходит произвольно при комнатной температуре.

Для улучшения служебных характеристик алюминия зачастую используются методы поверхностной модификации, такие как нанесение твердых, сверхтвердых и износостойких покрытий, обработка поверхности концентрированными потоками энергии, а также насыщение поверхности атомами металлов и газов [11-15]. Все эти методы модификации поверхности применимы для обработки изделий из алюминия и его сплавов, однако каждый из методов имеет как свои преимущества, так и свои недостатки.

Напыление покрытий позволяет получать на поверхности слои с заданным стехиометрическим составом, т.е. с прогнозируемыми

функциональными свойствами. Особенностью поверхностей, полученных таким методом, является структурно-фазовое состояние плоскости интерфейса между исходной поверхностью обрабатываемой детали и нанесенными слоями [15-20]. Наличие данного интерфейса указывает на вопрос об адгезии полученных слоев к подложке. В случае получения твердых слоев на поверхности изделий из алюминия и его сплавов вопрос адгезии покрытия к подложке становится крайне актуальным из-за оксидов, которые всегда присутствуют на поверхности алюминия. Следующей проблемой наличия плоскости интерфейса является резкая граница раздела между нанесенным твердым слоем и поверхностью подложки. Это означает, что даже в случае хорошей очистки поверхности от оксидов и нанесения слоев с заданным стехиометрическим составом и требуемыми физико-механическими характеристиками, эти характеристики будут существенно отличаться от характеристик подложки, полученный слой всегда будет тверже подложки; будет отличаться и коэффициент теплового расширения покрытия и подложки. Эти факторы являются основными, способствуя разрушению либо отслаиванию покрытия в процессе механических и тепловых нагрузок.

Использование концентрированных потоков энергии позволяет модифицировать обрабатываемую поверхность путем ее высокоскоростного расплавления и последующего высокоскоростного охлаждения. Использование данного подхода позволяет обеспечить уменьшение шероховатости поверхности материала и, формируя многофазную субмикронанокристаллическую структуру, увеличить его физико-механические, химические, электрофизические, трибологические характеристики [21-33]. Однако следует отметить, что данный эффект, особенно с точки зрения модифицирования механических, усталостных и трибологических свойств материала, имеющий место при обработке концентрированными потоками энергии, максимальным образом реализуется при обработке сложнолегированных материалов [25-30]. При обработке алюминиевых сплавов

и, тем более, технически чистого алюминия, рассмотренные выше эффекты проявляются в незначительной степени.

1.3 Насыщение поверхности алюминия азотом (азотирование различными методами)

Насыщение поверхности материалов и изделий ионами металлов и газов может проводиться как методами ионной имплантации [34-37], так и диффузионными методами [38, 39]. Реализация ионной имплантации позволяет решать проблему получения модифицированных слоев без выраженной плоскости интерфейса путем внедрения ионов в обрабатываемый материал. Основным недостатком ионной имплантации является малая глубина обработки материалов и изделий, в силу малости проективного пробега ионов, измеряемого единицами – десятками ангстрем и сложности набора высоких доз имплантированных ионов. Известны работы по совмещению ионной имплантации с диффузионного насыщения, применительно к обработке алюминия Plasma Source Ion Implantation –PSII [40], однако реализация ионной имплантации требует сложных высоковольтных систем, которые значительно усложняют конструкцию установок и ужесточают требования к обслуживающему персоналу.

Диффузионные методы насыщения поверхности позволяют получать модифицированные слои толщиной в сотни микрометров без явно выраженной плоскости интерфейса [38], что выгодно отличает такие методы, как от методов нанесения покрытий, так и от метода ионной имплантации.

1.4 Азотирование в плазме газового разряда низкого давления – преимущества и недостатки

Одним из наиболее распространенных методов диффузного насыщения является азотирование, то есть диффузное насыщение поверхности ионами азота. Этот метод применим и для алюминия и его сплавов, однако анализ литературных данных показывает, что для его реализации необходимо решить ряд специфических проблем. Первая проблема заключается в том, что

поверхность алюминия и его сплавов, как правило, покрыта оксидами, и для обеспечения надежного поступления азота на обрабатываемую поверхность необходима эффективная очистка поверхности в процессе азотирования. При этом наиболее распространенная химическая очистка поверхности водородом оказывается не эффективной, так как алюминий сам является восстановителем. Это вызывает необходимость интенсифицировать процесс ионной очистки в процессе азотирования или непосредственно перед ней.

При классическом азотировании в плазме тлеющего разряда, осуществление эффективной ионной очистки проблематично, так как требует значительного снижения рабочего давления. Кроме того, проблемой для такого метода азотирования является то, что при азотировании алюминия и его сплавов на его поверхности образуется пленка нитрида алюминия, которая с одной стороны препятствует поступлению азота вглубь образца, а с другой, являясь диэлектриком, осложняет подачу потенциала на обрабатываемые изделия в процессе ионного азотирования. Наличие диэлектрической пленки на азотируемой поверхности приводит к тому, что заряд ионов не может стекать во внешнюю цепь и накапливается на поверхности, что приводит к электрическому пробое пленки нитрида алюминия и ее разрушению с образованием катодного пятна на обрабатываемой поверхности. Во избежание данного эффекта ряд авторов используют импульсные методы азотирования [38], что позволяет заряду ионов на поверхности пленки оксида или нитрида алюминия компенсироваться электронами из плазмы в промежутке между импульсами.

Так в работе [41] авторы использовали импульсный тлеющий разряд с частотой 100 Гц. Особенностью данной работы было то, что авторы помимо азота вводили в рабочую камеру гелий. В работе [42] показано, что такая мера позволяет увеличить эффективность азотирования, за счет повышения содержания атомарного азота в плазме, что достигается благодаря диссоциативной перезарядке ионов гелия на молекулах азота. Изменение содержания гелия в газовой смеси действительно приводит к изменению

твердости поверхности алюминия (рис. 3). Видно, что добавление гелия в газовую смесь позволяет увеличивать твердость получаемого слоя нитрида алюминия, авторы показали, что это происходит как за счет роста толщины слоя (рис. 4), так и за счет изменения внутренних напряжений в получаемом слое и образования в некоторых случаях новых фаз (рис. 5).

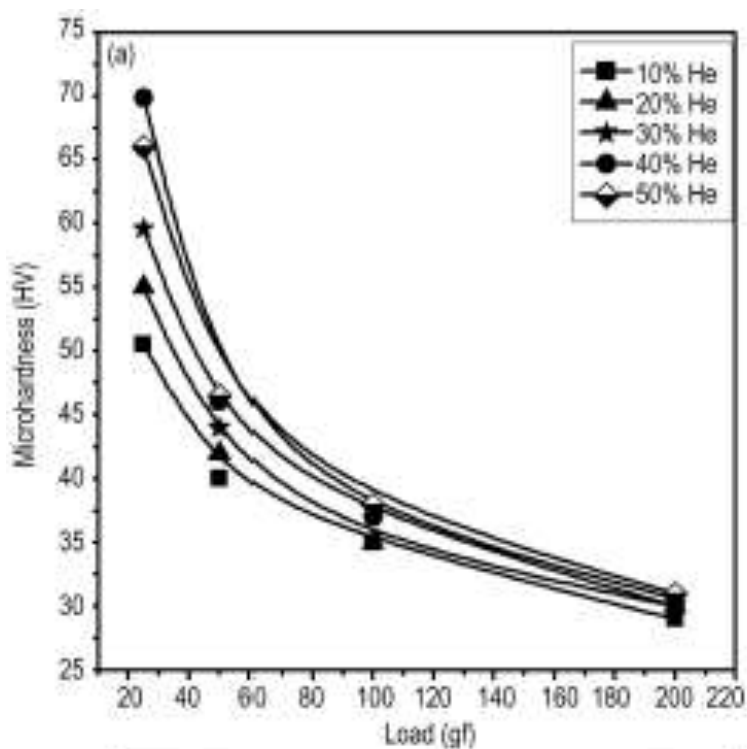


Рисунок 3 – Зависимость микротвердости поверхности азотированных образцов от нагрузки на индентор при разных соотношениях гелия и азота в газовой плазмообразующей смеси

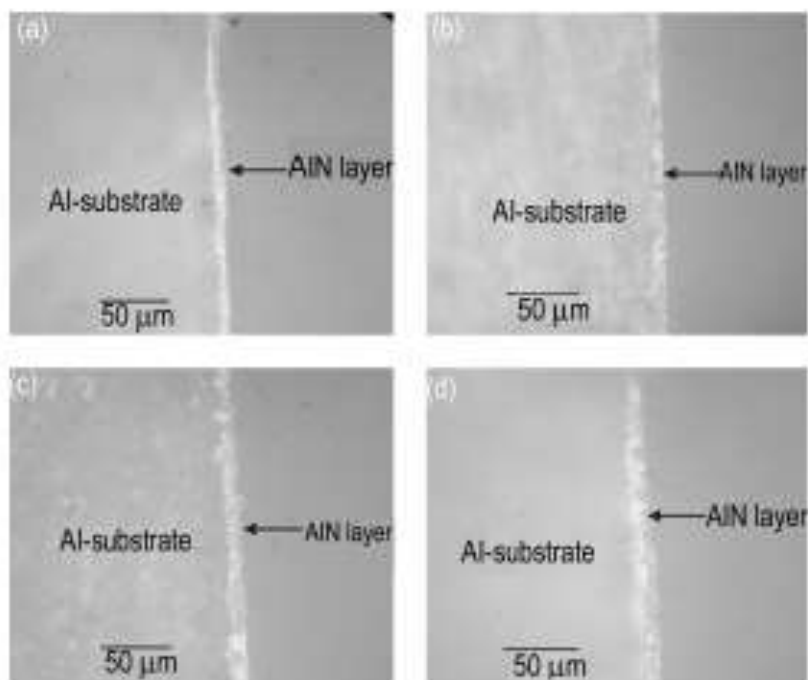


Рисунок 4 – Фотографии микрошлифов образцов подвергнутых азотированию при разных соотношениях гелия и азота в газовой плазмообразующей смеси: а - 30% He, 4 часа; б - 40% He, 4 часа; с - 50% He, 4 часа; д – 100% N₂, 12 часов

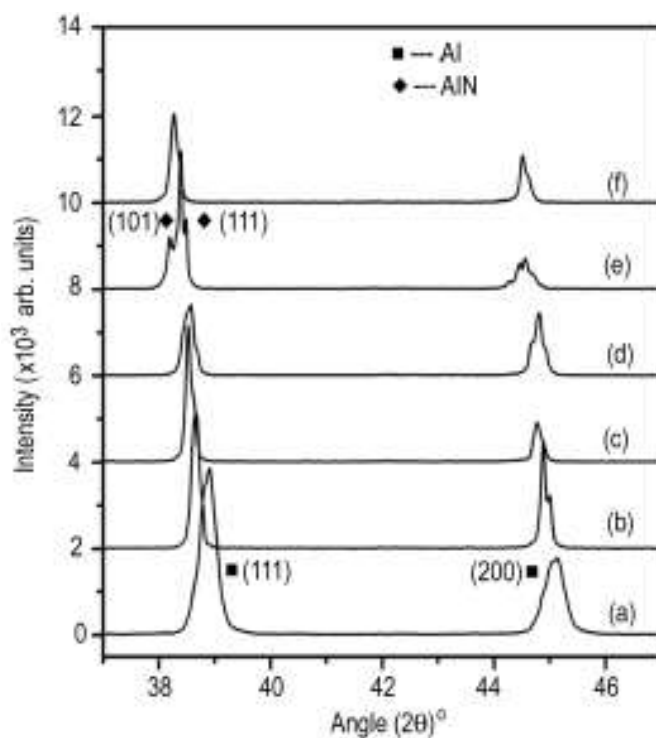


Рисунок 5 – Рентгенограммы образцов азотированных в течении 4 часов при разных соотношениях гелия и азота в газовой плазмообразующей смеси: а - 100% N₂; б - 10% He; с - 20% He; д - 30% He; е - 40% He; ф - 50% He

Особенностью работы тлеющего разряда, является то, что напряжение его горения составляет обычно не менее 200 В, что и делает эффективным добавку гелия при азотировании. Так как гелий обладает высоким потенциалом ионизации (24,5 эВ), эффективность его ионизации в разряде с низким напряжением горения (до 60 В) не высока. Однако важно то, что данный эксперимент показывает увеличение эффективности азотирования при увеличении концентрации атомарного азота, что может достигаться не только добавкой гелия в рабочий газ, но и увеличением плотности ионного тока на обрабатываемой поверхности.

Необходимо отметить, что авторы в работе [42] исследовали азотирование не чистого алюминия, а сплава $\text{AlFe}_{1.8}\text{Zn}_{0.8}$. Именно наличием добавок железа в алюминии может объясняться сравнительно быстрое образование слоя нитрида при обработке в чистом азоте и отсутствие предварительной ионной очистки в описанной методике азотирования. Вероятные механизмы влияния добавок в алюминий на азотирование будут рассмотрены ниже.

Еще одним примером использования ионного азотирования является работа [43]. Автор производил облучение поверхности алюминия ионами азота с помощью ионного источника Кауфмановского типа (рис. 6). Энергия ионов была до 1600 эВ, что не позволяет отнести описанный метод к имплантации, при этом температура облучаемых образцов составляла 500 °С, что обеспечивало диффузию атомов азота вглубь образца. Плотность тока ионов азота в экспериментах поддерживалась на уровне 0,2 мА/см², что достаточно мало для эффективной ионной очистки поверхности, так как скорости травления поверхности и образования слоя оксидов становятся близки. Это вызвало необходимость изучения автором работы [43] влияния парциального давления кислорода в камере на эффективность образования нитридов на поверхности образцов. Было показано, что при реализуемой в работе ионной очистке критическим становится давление кислорода в камере 3.5×10^{-5} Па. В работе [43] исследован процесс образования нитрида алюминия при облучении

поверхности алюминия ионами азота с помощью ионного источника Кауфмановского типа и сделан вывод, что преобладающим механизмом при образовании нитрида алюминия является диффузия алюминия, а не диффузия азота.

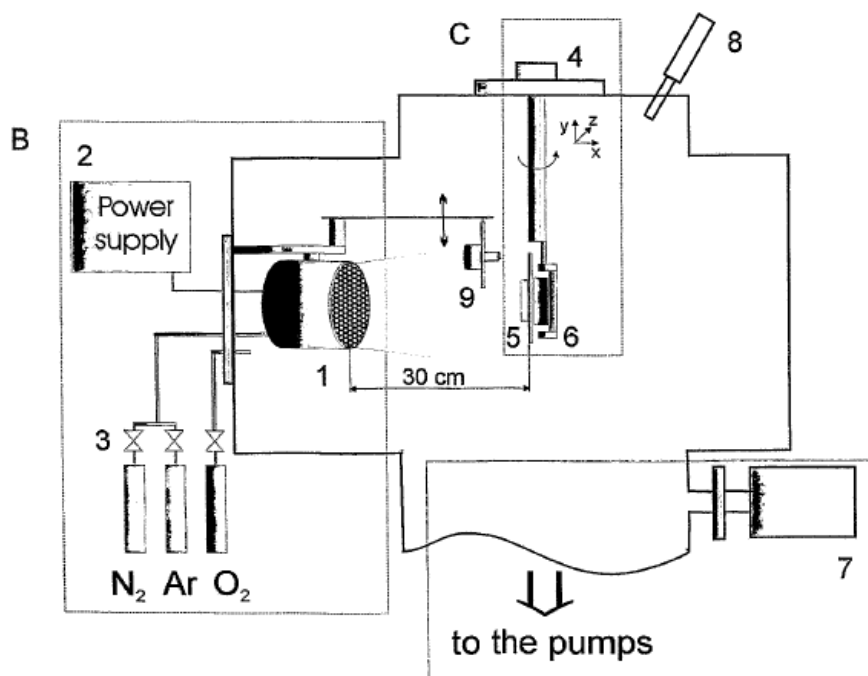


Рисунок 6 – Принципиальная схема реализации азотирования с использованием ионного источника: 1 – ионный источник; 2 - источник питания ионного источника; 3 - система контроля потока газа; 4 - манипулятор; 5 - держатель образцов; 6 - нагреватель; 7 - криогенный насос; 8 - квадрупольный анализатор парциальных давлений; 9 - цилиндр Фарадея

Описанный метод азотирования позволяет проводить насыщение поверхности алюминия атомами азота на глубину до 1 мкм при температуре 400 °С за 1 час, вероятно за счет стимулирования диффузии ионной бомбардировкой. Однако при превышении толщины слоя ≈ 1 мкм слой практически прекращает расти (рис. 7). Это можно объяснить тем, что энергии бомбардирующих поверхность ионов в 1,6 кэВ уже не хватает для эффективной стимуляции дальнейшей диффузии атомов азота вглубь образца, так как образовавшийся слой нитрида алюминия этому препятствует.

К недостаткам такого метода азотирования, помимо малой толщины получаемого слоя, можно отнести также ограничения, характерные для всех

ионно-пучковых методов: чувствительность метода к углу падения пучка на обрабатываемую поверхность, в связи с чем ограничены возможности при обработке деталей сложной формы; повышенные требования к вакуумной чистоте процессов, то есть к вакуумной системе и чистоте используемых газов.

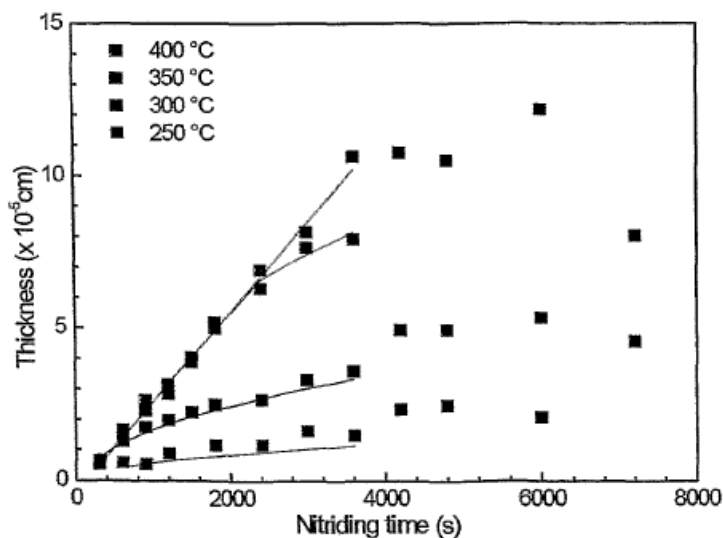


Рисунок 7 – Зависимость толщины слоя нитрида алюминия от времени азотирования

Важно отметить, что данные эксперименты показывают принципиальную возможность азотирования алюминия при температуре до 400 °C в условиях чистой от остаточного кислорода газовой среды и постоянной бомбардировки поверхности ионами азота с энергиями более 1,5 кэВ, что обеспечивает как ионную очистку обрабатываемой поверхности, так, вероятно, и радиационную стимуляцию диффузии, которой можно объяснить линейный рост толщины азотированного слоя в первый час азотирования при толщинах азотированного слоя до ≈ 1 мкм. Однако для получения более толстых азотированных слоев определяющими величинами все равно станут коэффициент диффузии, температура образца и время процесса азотирования.

Упомянутые выше особенности азотирования алюминия и его сплавов (образование оксидов и нитридов на поверхности) можно объединить одной проблемой – проблемой обеспечения доступа ионов азота непосредственно к алюминиевой поверхности. Эффективным методом решения данной проблемы является механическое разрушение существующей оксидной пленки и

образующейся пленки нитрида алюминия в процессе формирования интерфейса между азотосодержащей средой и поверхностью алюминия. Этот способ реализуется при так называемом «бочечном» (barrel) азотировании. Комбинация бочечного азотирования при температуре 630 °С в течение 5 часов с азотированием в пучковой плазме при давлении 0,38 Па при температуре 580 °С в течение 2 часов реализована в работе [44], что позволило получить слои нитрида алюминия толщиной до 300 мкм (рис. 8).

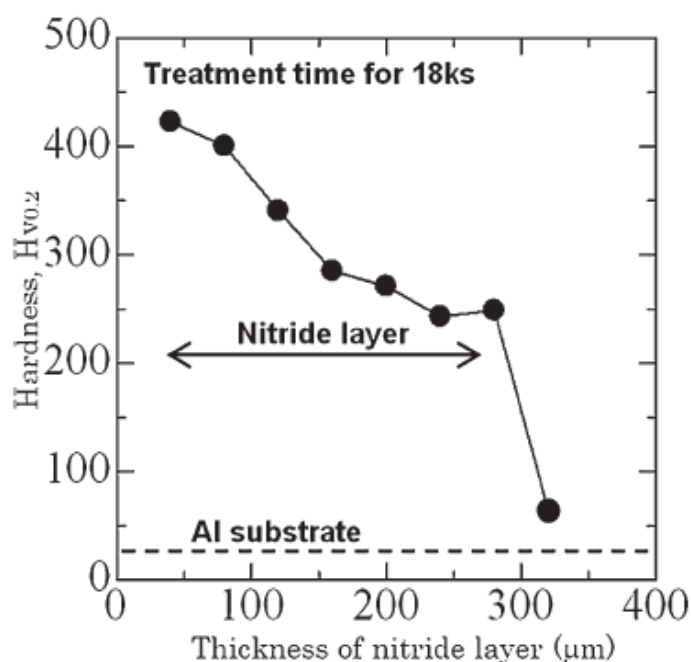


Рисунок 8 – Зависимость твердости азотированного слоя от расстояния от поверхности азотирования; температура азотирования 630 °С; время экспозиции 5 часов [44]

Помимо разрушения пленок оксида и нитрида на обрабатываемой поверхности механическое воздействие на первом этапе азотирования, используемое авторами работы [44], вероятно, обеспечивает высокое содержание дефектов структуры, как алюминия, так и его нитрида, что наряду с достаточно высокой температурой процесса азотирования существенно увеличивает скорость диффузии азота в подложку. Особенностью обработки, реализованной в работе [44], является то, что нитриды первоначально образуются не по всей поверхности образца, а островками, вероятно в местах

механического разрушения образующейся на первом этапе пленки нитрида и лишь через несколько часов экспозиции пленка становится сплошной (рис. 9).

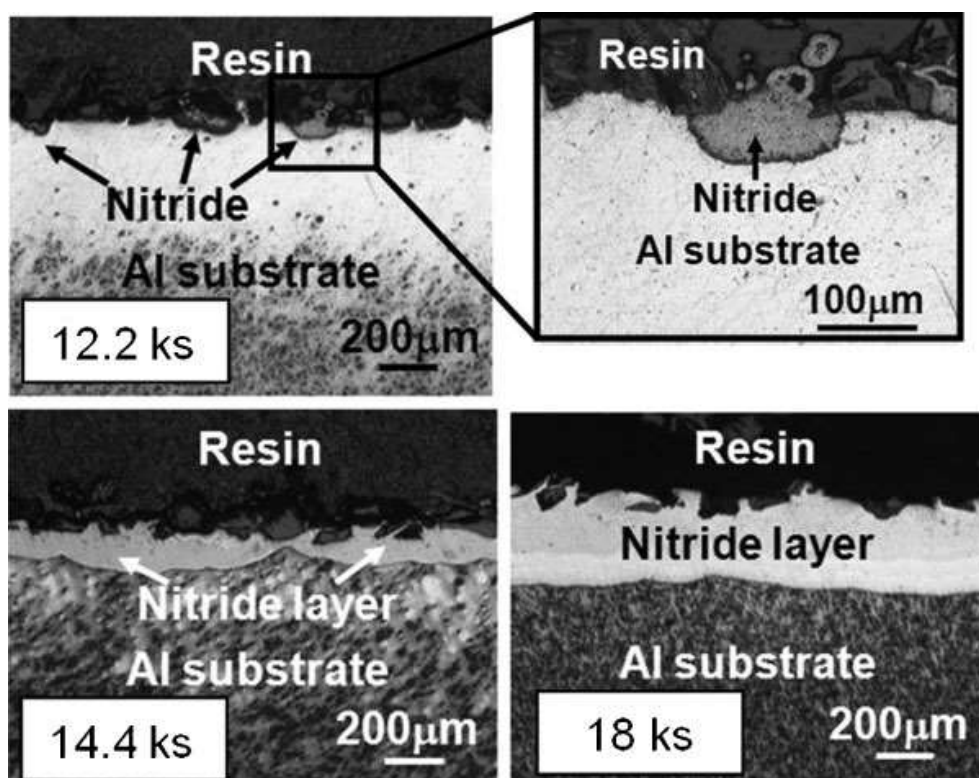


Рисунок 9 – Этапы формирования пленки нитрида алюминия при комбинированном методе азотирования [44]

Анализ данного метода азотирования алюминия показывает, что в случае облегчения доступа ионов азота к поверхности алюминия возможно получение толстых слоев нитрида алюминия, однако для этого необходимо увеличивать эффективность диффузии азота. В данном случае это достигалось как за счет повышения температуры образцов, так и за счет введения дефектов в получаемый слой нитрида алюминия и в подложку путем механического воздействия. Даже в таких условиях длительность процесса азотирования составляет не менее 4 – 5 часов.

Недостатком такого метода является существенное ухудшение шероховатости поверхности в результате рассмотренной обработки и высокая температура обработки (более чем 0,9 от $T_{пл}$), которая исключает сохранение геометрических размеров и формы обрабатываемых изделий, особенно в условиях механического воздействия на этапе бочечного азотирования.

Намеренное введение дефектов в структуру исходного алюминия перед его ионно-плазменным азотированием, что частично может объяснить высокие результаты азотирования, полученные в предыдущей работе, также исследовались различными авторами. Без принятия специализированных мер скорость роста нитридной пленки при азотировании в классическом тлеющем разряде на обычных алюминиевых образцах, полученных методом литья достаточно мала (рис. 10) [45, 46].

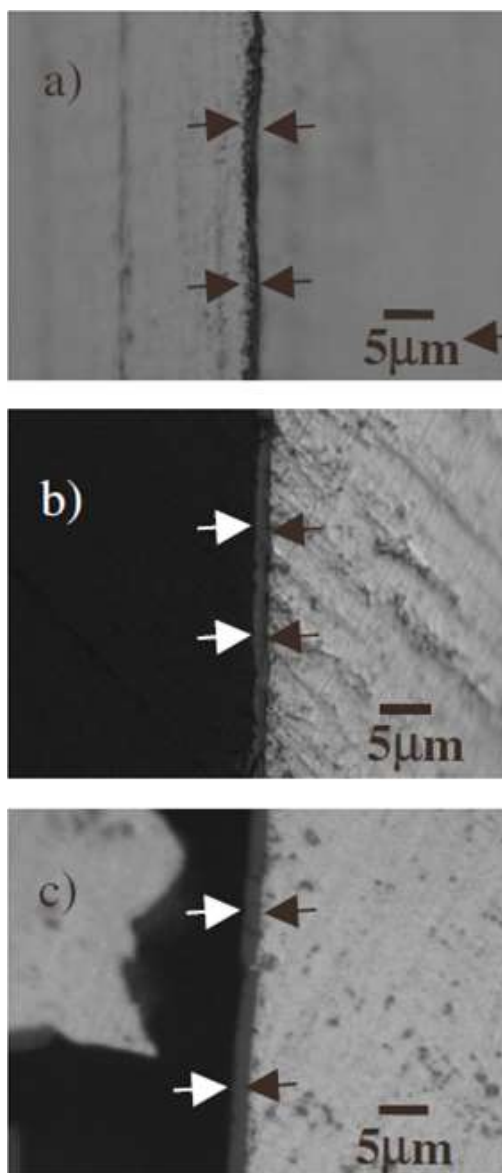


Рисунок 10 – Фотографии микрошлифов алюминиевых образцов, полученных методом литья и азотированных при температуре 550 °С, с предварительной ионной очисткой при температуре 550 °С в течении 3 часов: а – азотирование 20 ч; б – азотирование 40 ч; с – азотирование 70 ч

В работе производилось сравнение эффективности ионно-плазменного азотирования алюминиевых образцов, полученных различными методами: литьем, при этом средний размер зерен составлял ≈ 40 мкм; холодным прессованием алюминиевого порошка размером ≈ 33 мкм; и специально разработанным методом – Bulk Mechanical Alloying (BMA), который заключается в предварительном механической обработке порошка металла путем его многократного сжатия и экструзии перед его холодным прессованием, после механической обработки размер порошка составлял ≈ 15 мкм, а размер зерен ≈ 1 мкм. Предварительная механическая обработка порошка приводит к его измельчению и увеличению внутренних напряжений, что в свою очередь, увеличивает объемное содержание дефектов в полученном после холодного прессования образце. Холодно-прессованные образцы без BMA, в свою очередь, имеют повышенное объемное содержание дефектов, по сравнению с литыми образцами. Азотирование производилось в тлеющем разряде, и предполагало предварительную очистку ионами азота при давлении 133 Па в течение 3 часов, а затем собственно азотирование при давлении 533 Па в течение от 20 до 70 часов. Как ионная очистка, так и азотирование проводилось при температуре 550 °С. Повышенное содержание дефектов структуры, приводит к увеличению эффективности диффузии азота в алюминий и, соответственно, к увеличению толщины азотированного слоя (рис. 11).

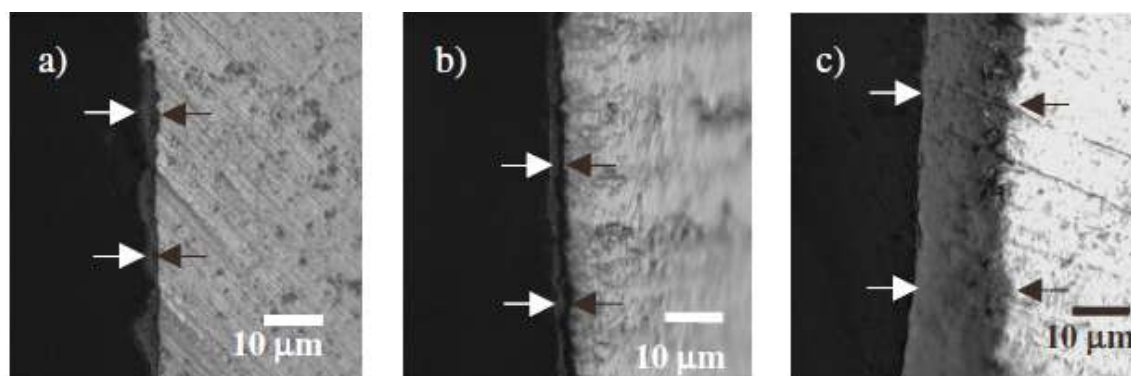


Рисунок 11 – Фотографии микрошлифов алюминиевых образцов, полученных разными методами и азотированных в течении 20 часов при температуре 550°С,

с предварительной ионной очисткой при температуре 550 °С в течении 3 часов:
а – литой образец; б – холодно-прессованный образец; с – образец, полученный по технологии ВМА

Значительное отличие толщины азотированного слоя на третьем образце свидетельствует о том, что измельчение структуры существенно влияет на эффективность азотирования в плане увеличения коэффициента диффузии азота. Но дефекты структуры материала могут быть связаны не только с характерными размерами зерен, но и с неоднородным химическим составом. В работе [40], авторы показали, что наличие небольшой добавки (1% весовой) Ti в алюминии, при изготовлении образцов по технологии ВМА, позволяет проводить азотирование образцов без предварительной ионной очистки, в то время как добавление одного весового процента Ti порошка с размерами ≈ 40 мкм в алюминий при холодном прессовании, не приводит к такому результату (рис. 12).

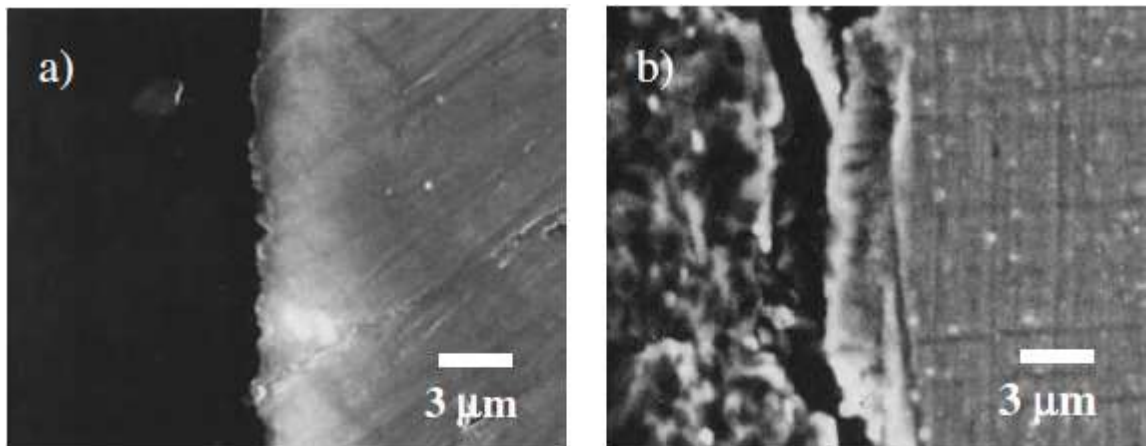


Рисунок 12 – Фотографии микрошлифов алюминиевых образцов, полученных разными методами и азотированными в течении 20 часов при температуре 550°С без предварительной ионной очистки: а – холодно-прессованный образец с Ti; б - образец полученный по технологии ВМА с добавкой Ti

Авторы объясняют такой эффект тем, что титан сам способен образовывать нитрид и выступает зародышем для образования кубического нитрида алюминия, однако кубическая форма нитрида алюминия нестабильна, и с увеличением времени азотирования нитрид алюминия переходит в

гексагональную форму – более стабильную. Важно отметить, что наличие включений нитридообразующего металла на азотируемой поверхности позволяет исключить этап предварительной очистки, при условии высокого содержания дефектов, как в образце, так и в титановом включении, возможно важную роль играет однородность распределения включений по объему и их характерный размер. Как уже говорилось выше, наличие нитридообразующих включений в алюминии - одно из наиболее вероятных объяснений высокой эффективности азотирования, полученного в работе [40].

Таким образом, из представленного выше краткого анализа литературных источников можно выделить несколько важных аспектов при проведении процессов азотирования алюминия:

1. необходимо минимизировать содержание остаточного кислорода в рабочей камере в процессе азотирования, для чего необходимо использовать газы особой чистоты и желателен получение высокого вакуума, получение которого без высоковакуумных насосов (при классическом азотировании в тлеющем разряде) затруднительно;
2. желателен проведение ионной очистки обрабатываемых поверхностей, перед проведением азотирования, а возможно и в процессе его проведения. Для этого целесообразно проводить азотирование при давлениях, когда такая очистка возможна (наиболее эффективно ~ 1 Па);
3. увеличение содержания атомарного азота позволяет увеличивать эффективность азотирования алюминия, для этого целесообразно добавлять в плазмообразующую смесь гелий (при напряжении горения разряда, обеспечивающем эффективную ионизацию гелия) и увеличивать плотность ионного тока на обрабатываемой поверхности;
4. проведение азотирования алюминия при температурах до 400 °С принципиально возможно, однако для получения слоев нитрида более 1 мкм необходимо предпринимать меры по увеличению скорости диффузии азота вглубь материала, для чего целесообразно увеличивать температуру

обрабатываемых изделий и (или) увеличивать содержание дефектов как на обрабатываемой поверхности, так и в приповерхностном слое;

5. увеличение содержания дефектов материала, например - измельчение структуры, позволяет существенно увеличить эффективность азотирования;

6. введение небольшого количества нитридообразующих элементов на поверхность и в объем обрабатываемого алюминия позволяет не только увеличить скорость его азотирования, но и облегчить поступление атомов азота в алюминий, облегчая тем самым решение вопроса ионной очистки поверхности и увеличивая скорость роста пленки.

2 Материал, методы обработки и методы исследования

Анализ литературных источников, представленный выше, показывает, что одним из основных недостатков алюминия и сплавов на его основе, являются низкие прочностные и трибологические свойства. Исходя из этого, *целью настоящей работы* являлась разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия, заключающаяся в облучении электронным пучком системы «пленка (сплав 12Х18Н10Т) / (А7) подложка» и последующем азотировании в плазме газового разряда низкого давления.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. провести напыление на поверхность образцов технически чистого алюминия марки А7 пленки сплава 12Х18Н10Т;
2. облучить высокоинтенсивным импульсным электронным пучком систему «пленка (сплав 12Х18Н10Т) / (А7) подложка»;
3. провести диффузионное насыщение поверхностного легированного слоя азотом;
4. исследовать структуру и фазового состава поверхностных слоев, модифицированных образцов технически чистого алюминия А7;
5. выполнить механические и трибологические испытания модифицированных образцов технически чистого алюминия А7;
6. выявить оптимальный режим модифицирования образцов технически чистого алюминия А7.

Проведены исследования дефектной структуры материала методами оптической (микроскоп «Микровизор металлографический μ Vizo - MET-221»), сканирующей (сканирующий электронный микроскоп "SEM-515 Philips") и просвечивающей дифракционной (прибор JEM-2100F JEOL) электронной микроскопии. Элементный состав поверхностного слоя определяли методами микрорентгеноспектрального анализа (микроанализатор EDAX ECON IV, являющийся приставкой к электронному сканирующему микроскопу SEM-515

«Philips»). Анализ фазового состава, состояния кристаллической решетки, величины микронапряжений, размера областей когерентного рассеяния поверхностного слоя выполняли методами дифракции рентгеновских лучей (дифрактометр XRD-7000s, Shimadzu, Япония). Механические испытания модифицированной поверхности осуществляли, определяя микротвердость (прибор ПМТ-3, метод Виккерса) при нагрузках на индентор 0,2 Н и 0,5 Н, нанотвердость и модуль Юнга (ультрамикротвердомер Shimadzu DUH-211S; нагрузка на индентор изменялась в интервале от 10 мН до 300 мН). Трибологические испытания модифицированной поверхности осуществляли на трибометре «CSEM Tribometer High Temperature S/N 07-142», CSEM Instruments, Швейцария; скорость износа оценивали по площади поперечного сечения трека износа, используя 3D-профилометр MICRO MEASURE 3D Station французской фирмы STIL.

В качестве модифицируемого материала использовали технически чистый алюминий марки А7 (0,16 Fe, 0,15 Si, 0,04 Zn, 0,01 Cu, 0,01 Ti, остальное Al, вес. %) [47]. Комбинированная обработка алюминия проводилась в три этапа:

- 1) напыление на поверхность образцов технического чистого алюминия марки А7 пленки сплава 12Х18Н10Т толщиной 0,5 мкм;
- 2) формирование поверхностного легированного слоя, облучением системы «пленка (сплав 12Х18Н10Т) / (А7) подложка» высокоинтенсивным импульсным электронным пучком;
- 3) диффузионное насыщение поверхностного легированного слоя азотом, температура азотирования 540 °С, длительность азотирования 8 часов.

Перед модифицированием поверхность образцов шлифовали и полировали на шлифовально - полировальном станке «Полилаб» (рис. 13).

Структуру поверхности модифицирования изучали методами металлографии на оптическом микроскопе «Микровизор металлографический μ Vizo -МЕТ-221» (рис. 14).

Микротвердость модифицированной поверхности определяли на приборе ПМТ-3 по методу Виккерса (рис. 15).

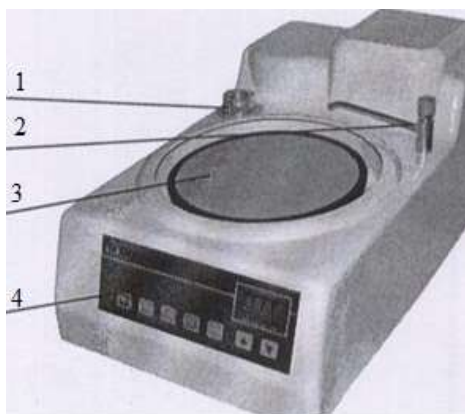


Рисунок 13 – Шлифовально - полировальный станок «Полилаб»



Рисунок 14 – Микроскоп «Микровизор металлографический μVizo - MET-221P»



Рисунок 15 – Микротвердомер ПМТ-3

Трибологические свойства модифицированного материала характеризовали параметром износа при испытаниях в условиях сухого трения. Испытания на износостойкость модифицированной поверхности проводили в геометрии диск-штифт с помощью трибометра PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000 (CSEM, Швейцария) при комнатной температуре (рис. 16). В качестве контр-тела использовали шарик из твердого сплава ВК-8 диаметром 3 мм, диаметр трека равнялся 6 мм, скорость вращения – 2,5 см/с, нагрузка - 1 Н, длина пройденного контр-телом пути до остановки – 56 м, количество оборотов – 5000.



Рисунок 16 – Внешний вид высокотемпературного трибометра: 1 - персональная электронно-вычислительная машина, отвечающая за интерфейс управления и обработку, визуализацию и хранение данных исследования; 2 - блок управления обработкой сигналов с измерительных датчиков; 3 - высокотемпературный трибометр

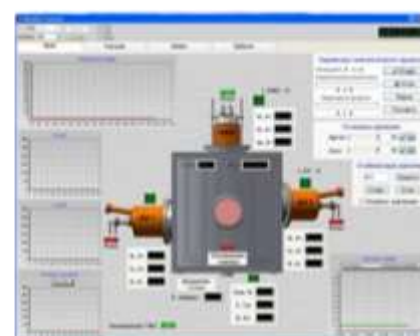
Объем износа материала покрытия определялся после проведения профилометрии образовавшегося трека с помощью лазерного оптического профилометра MICRO MEASURE 3D Station (Stil, Франция) (рис. 17).



Рисунок 17 – Внешний вид профилометра MICRO MEASURE 3D Station французской фирмы STIL

2.1 Формирование системы пленка/подложка

Напыление пленки проводили на автоматизированной вакуумной ионно-плазменной установке КВИНТА (рис. 18) [48-51].



Окно программного обеспечения



Технологическая карта

Рабочие параметры установки:

| | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Размеры вакуумной камеры | 750x600x600 мм ³ ; |
| Манипулятор | 12 позиций; |
| Рабочий вакуум | 0,1-1 Па; |
| Ток плазмодгенератора | до 120А; |
| Ток дуги испарителя | до 200А; |
| Ускоряющее напряжение | до 1000 В; |
| Скорость напыления | до 1-20 мкм/ч; |
| Потребляемая мощность | до 50 кВт; |
| Расход охлаждающей воды | 2 м ³ /ч. |

Рисунок 18 – Внешний вид автоматизированной вакуумной ионно-плазменной установки «КВИНТА»

Автоматизированная вакуумная ионно-плазменная установка «КВИНТА» предназначена для дугового азотирования и напылении наноструктурных упрочняющих и защитных покрытий на образцы и детали

машин большой протяженности. Установка автоматизирована и позволяет проводить технологические процессы по технологической карте в автоматическом режиме, что обеспечивает высокую повторяемость результатов процессов.

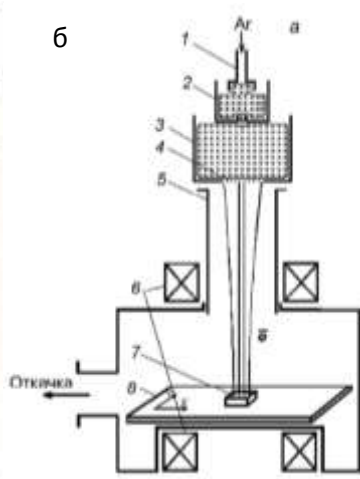
В составе программы управления присутствует технологическая карта для осуществления сотен различных шагов в едином технологическом цикле. Каждый из шагов характеризуется своим набором параметров, которые можно установить с помощью меню управления шагами технологического процесса. Технологическая карта позволяет производить технологические процессы полностью в автоматическом режиме, вести учет проведенных экспериментов и мгновенно выполнять повторный запуск нужного техпроцесса, тем самым обеспечивая повторяемость экспериментов, исключая ошибки оператора.

Области применения: научно-исследовательские, опытно-конструкторские, учебные учреждения, где разрабатываются и изучаются новые технологии; авиакосмическая промышленность, медицина, все отрасли машиностроения и т.д.

Установка «КВИНТА» позволяет проводить равномерную ионно-плазменную обработку изделий, обладает высокой энергетической эффективностью.

2.2 Формирование поверхностного сплава

Формирование поверхностного сплава осуществляли, облучением системы пленка/подложка высокоинтенсивным импульсным электронным пучком на установке «СОЛО» (установка Института сильноточной электроники СО РАН), в основе работы которой лежит электронный источник с плазменным катодом на основе импульсного дугового разряда низкого давления с сеточной стабилизацией катодной границы плазмы [52] (рис. 19).



| <u>Основные параметры источника электронов с сеточной стабилизацией границы плазмы:</u> | |
|---|------------|
| Ток пучка | 20 - 300 А |
| Энергия электронов | 5 - 25 кэВ |
| Длительность | |

Рисунок 19 – Внешний вид установки «СОЛО» (а) и схема эксперимента (б) по модификации поверхности твердого тела высокоинтенсивным импульсным электронным пучком; 1 – полый анод поджигающего разряда; 2 – полый катод; 3 - полый анод основного разряда; 4 – эмиссионная сетка; 5 – труба дрейфа; 6 – катушки магнитного поля; 7 – обрабатываемый образец; 8 – двухкоординатный стол-манипулятор

Электронный пучок является эффективным источником сверхбыстрого нагрева поверхности материалов и изделий.

Назначение данной установки: сглаживание поверхности за счет ее оплавления, поверхностное легирование материалов путем импульсного нагрева, плавления, кристаллизации и самозакалки.

Установка включает импульсный источник электронов; рабочую камеру с системой вакуумной откачки; шкаф высоковольтного электропитания; стойку управления и контроля.

Области применения: научно-исследовательские, технологические, опытно-конструкторские, учебные учреждения, где разрабатываются и изучаются новые технологии; промышленные предприятия, где используется металлообработка.

Использование установки «СОЛО» позволяет существенно уменьшить шероховатость поверхности изделий; многократно повысить микротвердость поверхности металлических деталей и изделий; производить модификацию поверхностного слоя металлических изделий глубиной до сотни микрон.

2.3 Диффузионное насыщение поверхностного сплава азотом

Эксперименты по диффузионному насыщению поверхностного слоя образцов технически чистого алюминия марки А7 азотом, проводили на установке ННВ-6.6-И1, оснащенной турбомолекулярным насосом ТМН-500, с производительностью 500 л/с и плазмогенератором ПИНК (рис.20). Вакуумная камера установки имела размеры $(600 \times 600 \times 600)$ мм³. Обрабатываемые образцы алюминия, предварительно полированные и промытые ацетоном, помещались на держателе в центре камеры. На образцы подавалось импульсное отрицательное смещение с частотой 50 кГц и регулируемой амплитудой и коэффициентом заполнения импульса. Температура измерялась с помощью хромель-алюмелевой термопары, укрепленной на держателе образцов. В качестве плазмообразующего газа использовался азот.



Рисунок 20 – Внешний вид установки ННВ-6.6-И1, дооснащенной плазмогенератором «ПИНК»

Для проведения экспериментов по азотированию устанавливался ток разряда плазмогенератора 120 А, давление азота 0,9 Па. Азотирование проводилось при температуре 540 °С в течении 8 часов, для этого выставлялись соответствующие амплитуда напряжения смещения и коэффициент заполнения

импульса. Условия выполнения экспериментов по азотированию: напряжение смещения 240 В; коэффициент заполнения импульса 90 %; образец повернут к источнику плазмы.

Параметры азотирования образца были выбраны таким образом, чтобы увеличить плотность ионного тока, максимально снизив при этом напряжение смещения и обеспечив заданную температуру процесса. Импульсный характер смещения был продиктован тем, что образующаяся на поверхности образцов пленка AlN является диэлектриком, что исключает стекание заряда ионов с ее поверхности в условиях постоянного смещения и может приводить к образованию микродуг на поверхности образца. Импульсное смещение большой частоты позволяет осуществлять перезарядку образующейся на поверхности образца диэлектрической пленки AlN электронами из плазмы в промежутках между импульсами. Плазмогенератор «ПИНК» позволял увеличивать концентрацию плазмы при сравнительно невысоких напряжениях горения разряда, регулировать ток разряда независимо от напряжения его горения и давления в рабочей камере, обеспечивать генерацию плазменного потока без микрокапель.

Данная установка может применяться в научно-исследовательских, технологических, учебных учреждениях, где разрабатываются и изучаются новые технологии.

Диффузное насыщение поверхности алюминия ионами азота позволяет в некоторой степени минимизировать его недостатки, такие как малая твердость и невысокая износостойкость.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| | |
|-----------------------|--|
| Группа 4Б22 | ФИО Шамиевой Анастасии Радисовне |
|-----------------------|--|

| | | | |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|---|
| Институт | ИФВТ | Кафедра | НМНТ |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|---|--|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | НИ проводится в лабораториях ИСЭ СО РАН. В исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель. Приблизительная стоимость на реализацию НИ составит около 400000 рублей. |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность». |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ. |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| 1 <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | Определение потенциальных потребителей результатов исследования SWOT-анализ позволил провести оценку потенциала и перспективности реализации научно-исследовательского проекта. |
| 2 <i>Планирование и формирование бюджета НИ</i> | Определение трудоемкости выполнения работ, как дипломника, так и руководителя. Построение графика выполнения работ НИ. Формирование бюджета научно-исследовательского проекта. |
| 3 <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> | Оценка научно-технического уровня исследования. |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. SWOT-анализ
2. График Ганта
4. Бюджет проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Ассистент кафедры МЕН, НИИ ТПУ | Грахова Е.А. | | | 29.04.2016 |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 4Б22 | Шамиева Анастасия Радисовна | | 29.04.2016 |

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной научно-исследовательской работе проводится разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия.

В современном мире высокой конкуренции ценность научного исследования определяется коммерческой ценностью и конкурентоспособностью. Оценка коммерческой составляющей научного проекта – это востребованное условие при поиске людей, заинтересованных в инвестировании данной работы.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научного исследования.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала проекта и выявление потенциальных потребителей результатов научных исследований;
- составление календарного плана и графика работ;
- планирование бюджета научно-исследовательских работ;
- оценка научно-технического уровня исследования [55].

4.1 Оценка коммерческого потенциала проекта

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В качестве потенциальных потребителей результатов исследования могут выступать научно-исследовательские институты и лаборатории, работающие с электронно-ионно-плазменной модификацией материалов, также машиностроительные, судостроительные и авиастроительные предприятия.

4.1.2 SWOT-анализ метода ионно-электронно-плазменного легирования

SWOT-анализ — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) [56].

Цель этого метода определение сильных, слабых сторон данного метода, определение возможностей и угроз. Сам метод заключается в нанесении покрытий с последующим расплавление поверхностного слоя, быстрым охлаждением образца. Матрица SWOT приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица SWOT

| | | |
|--|--|--|
| | Сильные стороны проекта: S1. Уникальность метода S2. Квалифицированная команда. S3. Наличие оборудования и материалов для исследования S4. Получение высококачественных изделий S5. Малое время изготовления детали | Слабые стороны проекта: W1. Сложное оборудование W2. Дороговизна процесса W3. Малая площадь обрабатываемой поверхности W4. Сложность подбора режима W5. Нет возможности поставить «на конвейер» |
| Возможности: O1. Использование инновационной инфраструктуры НИИ СО РАН. O2. Возможность получение грантов. O3. Появление дополнительного спроса на технологию. | O1S1S2S3S4 O2 S1S2S3S4 O3 S1S2S3S4S5 | O1W5 O2W2W4 O3W1W4 |
| Угрозы: T1. Отсутствие спроса на технологии производства T2. Ограничения на экспорт технологии. T3. Нехватка производственных мощностей, большое количество заказов T4. Возможный рост стоимости сырья T5. Не подбор режима облучения | T2 S1 T3 S1S5 T4S3 T5 S1S4S5 | T1W2W3W4 T3W3W4W5 T4W2 T5W1W3W4W5 |

Установка с помощью, которой это осуществляется и является первой в мире из двух. Таким образом, при планировании заказов необходимо понимать, что существует возможность осуществлять малосерийные частные заказы.

В таблице применяется следующая система сокращений:

S – сильные стороны; W – слабые стороны; O – возможности; T – угрозы.

После этого необходимо построить матрицу возможностей и угроз, позволяющую определить эффективность проекта. Выявить взаимосвязи сильных и слабых сторон проекта с возможностями и угрозами. Интерактивная таблица построена на основании таблицы 7, swot-анализа.

Таблица 8 – Интерактивная матрица возможностей

| | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Возможности (O) | Сильные стороны проекта | | | | | |
| | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
| | O1 | + | + | + | + | - |
| | O2 | + | + | + | + | - |
| | O3 | + | + | + | + | + |
| | Слабые стороны проекта | | | | | |
| | | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 |
| | O1 | - | - | - | - | + |
| | O2 | - | + | - | + | - |
| | O3 | + | - | - | + | - |

Таблица 9 – Интерактивная матрица угроз

| | | | | | | |
|------------|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Угрозы (T) | Сильные стороны проекта | | | | | |
| | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
| | T1 | - | - | - | - | - |
| | T2 | + | - | - | - | - |
| | T3 | + | - | - | - | + |
| | T4 | - | - | + | - | - |
| | T5 | + | - | - | + | + |
| | Слабые стороны проекта | | | | | |
| | | W1 | W2 | W3 | W4 | W5 |
| | T1 | - | + | + | + | - |
| | T2 | - | - | - | - | - |
| | T3 | - | - | + | + | + |
| T4 | - | + | - | - | - | |
| T5 | + | - | + | + | + | |

На основе SWOT-анализа можно сделать выводы, что данное научное исследование обладает весомыми сильными сторонами: уникальность метода, получение высококачественных заготовок и образцов, малое время получения одной детали. К главным недостаткам же можно отнести сложность режима подбора или не существования режима для получения необходимых эксплуатационных, механических требований, малая величина обрабатываемой поверхности. Главной возможностью метода, применяемого в научном исследовании, является появление дополнительного спроса, а так же получения грантов, за счет уникальности установки и метода. Также возможны значительные угрозы не подбор режима и в случае увеличения количества заказов, они не будут выполняться в срок, что повлечет за собой отток заказов.

4.2 Планирование работ по НТП

4.2.1 Разработка графика проведения научно-исследовательского проекта

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости инновационной разработки. Поэтому необходимо определить трудоемкость работ каждого участника научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения графика работ, необходимо построить диаграмму Ганта, представляющая из себя столбчатую диаграмму (гистограмму), которая используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту. Первый формат диаграммы был разработан Генри Л. Гантом в 1910 году.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого используется следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478, \quad (4)$$

где $k_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году. В России в 2015-2016 годах было 118 праздничных и выходных дней.

Результаты расчетов представлены в таблице 9.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 10.

На основе анализа составленной диаграммы Ганта можно сделать вывод, что продолжительность работ составляет 11 декад, начиная с первой декады марта и заканчивая второй декадой июня. Можно предположить, что объем

работ, в ходе исследования, может быть увеличен или наоборот сокращен, в зависимости от полученных результатов.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

| Номер этапа | Название работы | Трудоемкость работ | | | Исполнители | Длительность работ в рабочих днях, T_{pi} | Длительность работ в календарных днях, T_{ki} |
|-------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------|---|---|
| | | t_{min} , чел.-дни | t_{max} , чел.-дни | $t_{ож}$, чел.-дни | | | |
| 1 | Составление ТЗ | 3 | 5 | 3,8 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | Изучение литературы | 12 | 20 | 15,2 | 1 | 20 | 30 |
| 3 | Составление этапов проекта | 1 | 2 | 1,4 | 1 | 2 | 3 |
| 4 | Проверка оборудования | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | Выполнение работы | 1 | 2 | 1,4 | 1 | 1 | 2 |
| 6 | Проведение исследований | 3 | 7 | 4,6 | 1 | 20 | 30 |
| 7 | Составление пояснительной записки | 16 | 20 | 17,6 | 1 | 20 | 30 |
| 8 | Проверка проекта | 3 | 6 | 4,2 | 2 | 6 | 9 |
| 9 | Сдача проекта | 2 | 4 | 2,8 | 2 | 1 | 2 |
| Итого | | | | | | | 110 |

Далее по диаграмме Ганта можно рассчитать время работы для каждого исполнителя. Занятость исполнителей представлена в таблице 12.

Таблица 11– Диаграмма Ганта

| Номер этапа | Этап работы | Исполнители | $T_{kj,k}$ ал. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|--------------|--------------------|------------------------------------|---|---|------|---|---|-----|---|---|------|---|--|
| | | | | Март | | | Апр. | | | Май | | | Июнь | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| 1 | Составление ТЗ | Руководитель | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Изучение литературы | Дипломник | 30 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Составление этапов проекта | Руководитель | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Проверка оборудования | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|--------------|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 5 | Выполнение работ | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Проведение исследований | Дипломник | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Составление пояснительной записки | Дипломник | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Проверка проекта | Дипломник | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Руководитель | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Сдача проекта | Дипломник | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Руководитель | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Далее по диаграмме Ганта можно рассчитать время работы для каждого исполнителя. Занятость исполнителей представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Показатели рабочего времени исполнителей проекта

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Дипломник |
|--|--------------|-----------|
| Календарное число дней работы | 19 | 101 |
| Количество нерабочих дней за период выполнения проекта | 6 | 30 |
| Продолжительность выполнения проекта, в рабочих днях | 13 | 71 |

Календарная продолжительность выполнения научного исследования составит 150 дней. Из них:

101 дней – занятость дипломника; 19 дней – занятость руководителя;

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 103 дня. Из них:

13 дней – продолжительность выполнения работ дипломником; 71 день – продолжительность выполнения работ руководителем.

4.3 Составление сметы научного исследования

Составление сметы научного исследования является необходимым условием. Она должна отражать все расходы связанные с выполнением данного исследования. В процессе формирования бюджета НИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1) амортизация; 2) электроэнергия; 3) полная заработная плата; 4) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления); 5) накладные расходы.

4.3.1 Амортизация

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$Z_{об} = (Ц \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс}) \quad (5)$$

где Ц – цена оборудования, руб.; $F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч; $F_{сс}$ – срок службы оборудования, год; $F_{ф}$ – фактическое время занятости оборудования, ч. $F_{н} = 250$ дней = 6000 ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 13. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Основная статья амортизационных отчислений приходится на микровизор, в связи с его постоянным использованием.

Таблица 13 – Амортизационные расчеты

| Номер | Наименование оборудования | Ц, руб. | $F_{сс}$, год | $F_{ф}$, ч. | $Z_{об}$, руб. |
|--------|---|---------|----------------|--------------|-----------------|
| 1 | Установка «Соло» | 9 млн. | 20 | 200 | 15000 |
| 2 | Установка «Квинта» | 10 млн. | 20 | 200 | 16667 |
| 3 | Установка ННВ-6.6-И1 | 400000 | 15 | 400 | 1778 |
| 4 | Микротвердомер ПМТ-3 | 50000 | 10 | 1000 | 833 |
| 5 | Шлифовально-полировальный станок | 230000 | 15 | 1000 | 2556 |
| 6 | Компьютер | 15000 | 5 | 500 | 250 |
| 7 | Микровизор металлографический μ Vizo - MET-221P | 270000 | 5 | 900 | 8100 |
| Итого: | | | | | 45184 |

4.3.2 Электроэнергия

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = Ц \cdot N \cdot n \cdot t_{зан.ч}, \quad (6)$$

где Ц — стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб; N — мощность оборудования, кВт; n — количество единиц оборудования одного вида, ед.; $t_{зан.ч}$ — время занятости оборудования, ч.;

Вычисленные затраты на электроэнергию представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Затраты на электроэнергию

| | Наименование оборудования | Цена, Ц, р. | N, кВт | n | t _{зан.ч.} , ч. | Затраты, р. |
|---|---|----------------|-----------|---|-----------------------------|-------------|
| 1 | Установка «Соло» | 4,36 | 15 | 1 | 200 | 13080 |
| 2 | Установка «Квинта» | 4,36 | 30 | 1 | 200 | 26160 |
| 3 | Установка ННВ-6.6-И1 | 4,36 | 40 | 1 | 400 | 69760 |
| 2 | Микротвердомер ПМТ-3 | 4,36 | 1 | 1 | 1000 | 4360 |
| 3 | Шлифовально-полировальный станок | 4,36 | 3 | 1 | 1000 | 13080 |
| 4 | Компьютер | 4,36 | 0,3 | 1 | 500 | 654 |
| 5 | Микровизор металлографический μVizo - МЕТ-221Р | 4,36 | 3 | 1 | 900 | 11772 |
| | Итого: | | | | | 138866 |

4.3.3 Полная заработная плата исполнителей

Заработная плата (оплата труда работника) — вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные выплаты и стимулирующие выплаты [57]. Или другими словами денежное поощрение труда работника.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

где $Z_{осн}$ — основная заработная плата; $Z_{доп}$ — дополнительная заработная плата (12-15 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (8)$$

где $Z_{осн}$ — основная заработная плата одного работника; T_p — продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ — среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \times M}{F_d}, \quad (9)$$

где Z_m -месячный должностной оклад работника в рублях. M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб.дн. $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб.дн. $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при шести дневной рабочей неделе, 22 при пяти дневной рабочей неделе), раб. д.;

$$Z_m = Z_{тс} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p, \quad (10)$$

$Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5. k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | $Z_{тс}$, руб. | $k_{пр}$, руб | k_d , руб | k_p , руб | Z_m , руб. | $Z_{дн}$, руб. | T_p , раб. дн. | $Z_{осн}$, руб. |
|------------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|
| Руководитель | 20000 | 6000 | 4000 | 26000 | 39000 | 1773 | 13 | 23049 |
| Дипломник | 8000 | 2400 | 1600 | 10400 | 15600 | 709 | 71 | 50339 |
| Итого $Z_{осн}$, руб. | | | | | | | | 73388 |

Расчет дополнительной заработной платы, размер которой составляет 12 – 15% от основной, представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

| Исполнители | $k_{доп}$ | $Z_{осн}$, руб. | $Z_{доп}$, руб. | $Z_{зп}$, руб. |
|------------------------|-----------|------------------|------------------|-----------------|
| Руководитель | 0,15 | 23049 | 3457 | 26506 |
| Дипломник | 0,12 | 50339 | 6041 | 56380 |
| Итого $Z_{осн}$, руб. | | 73388 | 9,498 | 82886 |

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В соответствии с законодательством Российской Федерации обязательными являются отчисления в фонды: пенсионные, социального и медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$Z_{внеб} = 0,271 \cdot (23049 + 3457) = 7183$ рублей для научного руководителя;

$Z_{внеб} = 0,271 \cdot (50339 + 6041) = 15279$ рублей для дипломника.

4.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр} = 289398 \cdot 0,16 = 46304, \quad (12)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таким образом, величина равняется 46304 рублей.

4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Еще на этапе планирования проекта должна быть составлена смета затрат. Это станет основой для формирования договора с заказчиком и является минимальным в рамках данного исследования.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Смета научного исследования

| Наименование статьи | Сумма, руб. |
|----------------------------|-------------|
| 1. Амортизационные расчеты | 45184 |
| 2. Электроэнергия | 138866 |

| | |
|--|---------------|
| 3. Затраты по полной заработной плате исполнителей | 82886 |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды | 22462 |
| 5. Накладные расходы | 46304 |
| Бюджет затрат НИ | 335702 |

Исходя из данных таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию научно-исследовательского проекта составят 335702 рублей, из которых 184050 руб. приходится на амортизацию оборудования и затраты на электроэнергию, 82886 руб. на заработную плату исполнителей научного проекта, 46304 руб. на накладные расходы и 22462 руб. на отчисления в пенсионный и страховой фонды.

4.4 Эффективность работы

4.4.1 Оценка научно-технического уровня НТИ

Важнейшим результатом проведения НТИ является его научно-технический уровень, который характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области. В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НТИ, получил распространение метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР. Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$N_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i$$

где N_T — показатель научно-технического уровня, определенный по трем признакам;

R_i — весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i — количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах (таблицы 19, 20).

Таблица 18 - Весовые коэффициенты признаков НТУ

| Признак НТУ | Примерное значение весового коэффициента |
|---------------------------|--|
| 1. Уровень новизны | 0,5 |
| 2. Теоретический уровень | 0,3 |
| 3. Возможность реализации | 0,2 |

Таблица 19 - Баллы для оценки уровня новизны

| Уровень новизны | Характеристика уровня новизны | Баллы |
|----------------------|---|-------|
| Принципиально новая | Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, способ | 8-10 |
| Новая | По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты | 5-7 |
| Относительно новая | Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами | 2-4 |
| Не обладает новизной | Результат, который ранее был известен | 0 |

Таблица 20 - Баллы значимости теоретических уровней

| Теоретический уровень полученных результатов | Баллы |
|---|-------|
| 1. Установка закона, разработка новой теории | 10 |
| 2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений | 8 |
| 3. Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.) | 6 |
| 4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций) | 2 |
| 5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений | 0,5 |

Результаты оценок признаков отображены в таблице 21.

Таблица 21 – Количественная оценка признаков НИОКР

| Признак научно- | Характеристика признака НИОКР | | |
|-----------------|-------------------------------|--|--|
|-----------------|-------------------------------|--|--|

| | | | |
|---------------------------|---|-------|---------|
| технического эффекта НИР | | K_i | Π_i |
| 1. Уровень новизны | По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия | 0,5 | 6 |
| 2. Теоретический уровень | Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.) | 0,3 | 7 |
| 3. Возможность реализации | Время реализации в течение первых лет | 0,2 | 8 |
| 4. Масштабы реализации | Одно или несколько предприятий | 0,2 | 2 |

Используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности, определяем показатель научно - технического уровня:

$$H_m = 0,5 \times 6 + 0,3 \times 7 + 0,2 \times 8 + 0,2 \times 2 = 7,1$$

Таблица 22 – Оценка уровня научно-технического эффекта

| Уровень НТУ | Показатель НТУ |
|----------------------|----------------|
| Низкий | 1 - 4 |
| Средний | 4 - 7 |
| Сравнительно высокий | 7 - 10 |
| Высокий | 10 - 13 |

Таким образом, данная НИР имеет сравнительно высокий уровень НТУ, равный 7,1.

SWOT анализ научного исследования выявил сильные и слабые стороны научно-исследовательской работы. Исследование имеет ряд значительных преимуществ, угрозы для выполнения исследования не ставят под угрозу возможность его реализации.

При планировании исследования была построена ленточная диаграмма Ганта, которая позволяет скоординировать работу исполнителей в ходе выполнения исследования.

Составлена смета научного исследования, с помощью которой можно оптимизировать затраты при проведении исследований. Сумма для выполнения НИР составила 335702 рублей.

В ходе разработки данной главы были решены следующие задачи:

1. Проведена оценка коммерческого потенциала научного исследования при помощи SWOT-анализа. Выявлены потенциальные потребители результатов НИ. Было показано, что наше НИ обладает рядом преимуществ: уникальность метода, получение высококачественных заготовок и образцов, малое время получения одной детали.
2. Составлен план научного исследования, разработан календарный план-график. Согласно разработанному плану объем запланированных работ реализуем за указанные сроки.
3. Рассчитан бюджет научного исследования. Стоимость исследования составляет 335702 руб., из которых 184050 руб. приходится на амортизацию оборудования и затраты на электроэнергию, 82886 руб. на заработную плату исполнителей научного проекта, 46304 руб. на накладные расходы и 22462 руб. на отчисления в пенсионный и страховой фонды.
4. Определен показатель научно – технического уровня НИР, который является сравнительно высоким, что говорит о том, что выполненная работа обеспечивает научно-технический прогресс.

Таким образом, задачи, поставленные для осуществления цели раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», выполнены. Показано, что проведенное исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности.

Список публикаций

1. Толкачев О. С., Шамиева А. Р., Кузичкин Е. Е., Тересов А. Д., Иванова О. В., Иконникова И. А., Иванов Ю. Ф. Модификация керамики на основе диоксида циркония высокоинтенсивным электронным пучком: моделирование температурных полей; структура, свойства. ПМТС-2015 [Электронный ресурс]: сборник трудов II Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием/ТГАСУ. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2015. – 546 с.
2. Толкачев О. С., Шамиева А. Р., Кузичкин Е. Е., Иванов Ю. Ф. Модификация поверхности спеченной керамики на основе стабилизированного иттрием диоксида циркония интенсивным электронным пучком: свойства, структура//Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых, г. Томск, 21-24 апреля 2015 г./ТПУ; ТГУ; ТГАСУ; ТУСУР; ред. кол. И. А. Курзина; Г. А. Воронова; С. А. Поробова. — Томск: Изд-во ТПУ, 2015. — [с. 1103-1105].
3. Шамиева А. Р., Кузичкин Е. Е.; Иванов Ю. Ф. Структура и свойства титана, подвергнутого азотированию в плазме газового разряда низкого давления //Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов докладов III Всероссийского конкурса научных докладов студентов, г.Томск, г.Тамбов, 26-27 мая 2015 г. — Томск; : Изд-во ТПУ , 2015 . — [С. 82] .
4. Шамиева А. Р., Годымчук А. Ю. Применение ультратвердых фуллеритов//Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: сборник тезисов докладов III Всероссийского конкурса научных докладов студентов, г.Томск, г.Тамбов, 26-27 мая 2015 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2015. — [С. 44].
5. Шамиева А. Р., Лопатин И. В., Петрикова Е. А., Тересов А. Д., Толкачев О. С., Шугуров В. В., Иванов Ю. Ф. Разработка комбинированного метода упрочнения поверхности алюминия//Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного форума с международным

участием, г. Томск, 12-14 апреля 2016 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 113-115].

6. Шамиева А. Р., Толкачев О. С., Петрикова Е. А., Иванов Ю. Ф. Структура и свойства технически чистого алюминия, подвергнутого комбинированной обработке//Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г. в 7 т./ Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. И. А. Курзиной, Г. А. Вороновой . — 2016 . — Т. 1: Физика . — [с. 332-334] .

7. Кузичкин Е. Е., Шамиева А. Р., Иванов Ю. Ф. Модификация структуры и свойств технически чистого титана марки ВТ1-0 импульсным электронным пучком// Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016. – [с. 163] .

8. Шамиева А. Р., Толкачев О. С., Петрикова Е. А., Иванов Ю. Ф. Модификация структуры и свойств технически чистого алюминия комбинированным методом// Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016. – [с. 170-171] .

9. Шамиева А. Р., Толкачев О. С., Петрикова Е. А., Лопатин И. В., Иванов Ю. Ф. Синтез наноразмерного нитрида алюминия на поверхности алюминия в плазме газового разряда низкого давления//Наноматериалы и живые системы 2016 [Электронный ресурс]: труды молодых ученых IV Международной научно-практической конференции. Россия, Москва, 2–3 июня 2016 г. / под ред. А.А. Гусева. – Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2016. – [с. 12-13] .

Список конференций, на которых докладывались результаты дипломной работы

1. IV Всероссийский молодежный Форум с международным участием "Инженерия для освоения космоса" (ТПУ, 2016 г.).
2. XIII Международная конференция «Перспективы развития фундаментальных наук» (ТПУ, 2016).
3. XV Российская научная студенческая конференция по физике твердого тела ФТТ-2016 (ТГУ, 2016).
4. VIII Международная научно-практическая конференция «ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В НАУКЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МЕДИЦИНЕ» (ТПУ, 2016).
5. 2nd International Young Scientists School «NANOSTRUCTURED MATERIALS» (ТПУ, 2016).
6. IV Международная научно-практическая конференция «Наноматериалы и живые системы» (НИТУ «МИСиС», Москва, 2016).