



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Влияние длительности азотирования в плазме высокочастотного разряда на свойства стали 40x13

УДК 621.785.532:669.15-155.3

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A95	Крайнова Елизавета Олеговна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Дмитрий Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Селиваникова О.В.			

Компетенции выпускников ООП «Ядерные физика и технологии» по направлению 14.03.02
Ядерные физика и технологии,
специализация «Пучковые и плазменные технологии»
(2019 года приёма)

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах).
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять её в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий.
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны.
ПК(У)-1	Готов принимать участие в теоретических исследованиях в различных областях физики, связанных с современными высокотехнологическими способами энергетического воздействия на материалы, основанными на использовании радиационных и плазменных потоков, разрабатывать адекватные физические и математические модели изучаемых процессов.
ПК(У)-2	Способен участвовать в экспериментальных исследованиях в различных областях физики, связанных с воздействием плазмы и пучков заряженных частиц на вещество, самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую и технологическую аппаратуру, применять современные методы исследования свойств материалов и различных структур, проводить стандартные и сертификационные испытания технологических процессов, оборудования и изделий.
ПК(У)-3	Способен осуществлять самостоятельный поиск, изучение и использование научно-технической информации по тематике исследования, применять современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области.
ПК(У)-4	Способен проектировать плазменно-пучковые технологические процессы и оборудование для применения в научных исследованиях и промышленности.

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-5	Готов к участию в производственно-технологической деятельности, связанной с применением плазменных и пучковых технологий для обработки материалов и синтеза новых материалов (в том числе нанесению функциональных покрытий), определению основных параметров технологических процессов, анализу физических и механических свойств изделий и материалов.
ПК(У)-6	Способен применять современные цифровые технологии и пакеты прикладных программ для расчёта технологических параметров, обосновывать принятие конкретного технического решения при разработке технологических процессов.
ПК(У)-7	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ 03.10.2022 г. Селиваникова О.В.
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
0A95	Крайнова Елизавета Олеговна

Тема работы:

Влияние длительности азотирования в плазме высокочастотного разряда на свойства стали 40x13	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№34-109/с от 03.02.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2023 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(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.).</i></p>	<p>Объектом исследования является сталь 40x13, предметом исследования является совокупность структурных, механических и функциональных свойств поверхности стального изделия после азотирования в плазме высокочастотного разряда.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(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).</i></p>	<p>Анализ литературных источников по теме ионно-плазменного азотирования сталей; постановка задачи исследования; исследование структурных, механических и функциональных свойств стали после азотирования в плазме высокочастотного разряда; раздел «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение»; раздел «Социальная ответственность».</p>

<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Титульный лист. 2. Введение 3. Актуальность работы. 4. Цель и задачи работы. 5. Материалы и оборудования. 6. Методика эксперимента. 7. Кристаллическая структура образцов. 8. Микроструктура поперечного сечения. 9. Морфология поверхности. 10. Твёрдость стали по глубине. 11. Износостойкость поверхности образцов. 12. Коррозионная стойкость поверхности. 13. Заключение.
--	---

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А., д.экон.наук, профессор отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	Передерин Ю.В., к.т.н., доцент отделения ядерно-топливного цикла

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	03.10.2022 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Дмитрий Владимирович	к.т.н.		03.10.2022 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A95	Крайнова Елизавета Олеговна		03.10.2022 г.

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

Обучающемуся:

Группа	ФИО
0А95	Крайновой Елизавете Олеговне

Школа	<i>ИЯТШ</i>	Отделение школы (НОЦ)	<i>НОЦ Б.П. Вейнберга</i>
Уровень образования	<i>бакалавр</i>	Направление/специальность	<i>14.03.02 Ядерные физика и технологии</i>

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент – 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы – 1,15; - накладные расходы – 16 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей результатов исследования. Сегментирование рынка. Исследование конкурентных технических решений. Проведение SWOT-анализа и технологии QuaD.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоёмкости работ. Разработка графика проведения научного исследования. Формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка, сравнение конкурентных решений, технология QuaD, матрица SWOT.
2. Структура работ, календарный план-график (диаграмма Ганта) и бюджет научного исследования.
3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2023 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.экон.наук		13.03.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А95	Крайнова Елизавета Олеговна		13.03.2023 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
0А95	Крайновой Елизавете Олеговне

Школа	<i>ИЯТШ</i>	Отделение школы (НОЦ)	<i>НОЦ Б.П. Вейнберга</i>
Уровень образования	<i>бакалавр</i>	Направление/специальность	<i>14.03.02 Ядерные физика и технологии</i>

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Объект исследования: сталь 40х13. Область применения: машиностроение, автомобилестроение. Рабочая зона: НОЦ Б.П. Вейнберга, лаборатория 101. Размеры помещения: 138 м². Наименование оборудования рабочей зоны: ПЭВМ, спиральный насос, турбомолекулярный насос, криогенный насос, вакуумная камера. Рабочие процессы осуществляющиеся в зоне экспериментальной ионно-плазменной установки.</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>– ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р ИСО 6385-2016. Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем.</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации: – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов.</p>	<p>Вредные производственные факторы: – Отсутствие естественного света; – Повышенный уровень шума; – Отклонение показателей микроклимата; Опасные производственные факторы: – Электрический ток; – Химическое воздействие на организм; – Пожаровзрывобезопасность.</p>
<p>3. Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях при эксплуатации.</p>	<p>Возможные ЧС: – пожар, поражение электрическим током, удушение человека вследствие разгерметизации газовых баллонов.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2023 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н		13.03.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А95	Крайнова Елизавета Олеговна		13.03.2023 г.

Реферат

Настоящая выпускная квалификационная работа содержит 96 страниц, 29 рисунков, 33 таблицы и 40 источников.

Ключевые слова: ионно-плазменное азотирование, азотирование в плазме высокочастотного разряда, механические и функциональные свойства поверхности, модифицирование поверхности.

Работа содержит введение, литературный обзор, экспериментальные методы и оборудование, экспериментальную часть, экономическую эффективность НТИ, социальную ответственность, заключение и список использованных источников литературы.

Объектом исследования является сталь 40х13, **предметом** – механические и функциональные свойства стали после азотирования в плазме высокочастотного разряда.

Цель работы – получение данных о влиянии длительности азотирования в плазме высокочастотного разряда на структурные и функциональные свойства стали 40х13.

В результате работы показано, что обработка поверхности ионно-плазменным азотированием в высокочастотном разряде способствует изменению механических и функциональных свойств поверхности. Выявлено время обработки, при котором достигаются оптимальные параметры твёрдости, шероховатости и износостойкости модифицированной поверхности.

Оглавление

Введение	12
1 Азотирование стальных изделий	14
1.1 Общий принцип метода азотирования	18
1.2 Ионно-плазменное азотирование	19
1.3 Схема оборудования	21
1.4 Типовые параметры процесса азотирования	24
1.5 Преимущества и недостатки ионно-плазменного азотирования	26
1.6 Применение технологии азотирования	27
1.7 Сталь 40х13: свойства, параметры, применение	28
1.8 Типовые режимы, параметры азотирования	30
2. Экспериментальные методы и оборудование	32
2.1 Вакуумная ионно-плазменная установка	32
2.2 Радиочастотный плазменный генератор РПГ-128	34
2.3 Методика пробоподготовки образцов	34
2.4 Изучение кристаллической структуры	35
2.5 Определение морфологии поверхности	37
2.6 Анализ микроструктуры поперечного сечения	38
2.7 Измерение твёрдости поверхности по глубине	39
2.8 Трибологические испытания	40
2.9 Методика коррозионных испытаний	41
3. Экспериментальная часть	42
3.1 Выбор режима азотирования	42
3.2 Кристаллическая структура образцов стали 40х13 после азотирования	43
3.3 Микроструктура поперечного сечения образца после 20 мин азотирования	44
3.4 Морфология поверхности образцов после азотирования	45
3.5 Твёрдость поверхности образцов по глубине	47

3.6	Износостойкость поверхности образцов стали 40x13 после азотирования	48
3.7	Коррозионная стойкость стали 40x13 в зависимости от длительности азотирования	49
4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	53
	Введение	53
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	53
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	53
4.1.2	Анализ конкурентных решений	55
4.1.3	Технология QuaD	56
4.1.4	SWOT-анализ	57
4.2	Планирование научно-исследовательских работ	59
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	59
4.2.2	Определение трудоёмкости работ	60
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	61
4.2.4	Бюджет научно-технического исследования	64
4.3	Определение ресурсной эффективности исследования	69
	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	73
5.	Социальная ответственность	74
	Введение	74
5.1	Правовые вопросы обеспечения безопасности	74
5.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	74
5.1.2	Организация рабочей зоны исследователя	75
5.2	Производственная безопасность	77
5.2.1	Опасные и вредные производственные факторы	78

5.2.2 Снижение воздействия опасных и вредных факторов	86
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
Вывод по разделу «Социальная ответственность»	91
Заключение	92
Список использованной литературы	93

Введение

В современной промышленности существуют такие проблемы, как преждевременный износ деталей и инструментов. Так, сталь 40х13, используемая в промышленности для производства различных изделий, обладает хорошей коррозионной стойкостью, но её низкая твёрдость и износостойкость сильно ограничивают область её применения.

Существует множество методов нанесения покрытий, однако при нанесении покрытия на более мягкую подложку в системе «покрытие–подложка» возникают высокие микронапряжения, вызывающие растрескивание и локальное отслоение этого покрытия. Решением данной проблемы может быть предварительное упрочнение поверхности подложки посредством азотирования, чтобы компенсировать разницу в твёрдости между подложкой и покрытием и уменьшить возникающие в системе микронапряжения.

Различают следующие виды азотирования: газовое, азотирование в солевых ваннах и ионно-плазменное азотирование. Последнее наиболее выгодно отличается от остальных методов азотирования и характеризуется высокой производительностью, экологичностью, незначительными деформациями обрабатываемого изделия и управляемостью.

Важным недостатком ионно-плазменного азотирования, препятствующим применению данного метода совместно с нанесением покрытий в едином технологическом процессе, является изменение (обычно повышение) шероховатости поверхности с увеличением времени обработки. Увеличение шероховатости происходит вследствие ионной бомбардировки и изменения структуры поверхности, вследствие чего ухудшаются адгезионные свойства поверхности, изменяется морфология поверхности конечного изделия, что недопустимо для ряда практических применений.

Решением данной проблемы может являться подбор оптимальной длительности азотирования, при которой параметр шероховатости остаётся на

допустимом уровне для последующего нанесения покрытий, но твёрдость модифицированного слоя будет достаточной для обеспечения требуемых механических свойств.

Проблема исследования заключается в недостатке данных исследований в открытой литературе, связанных с влиянием длительности азотирования в плазме высокочастотного разряда на механические и функциональные свойства поверхности.

Актуальностью исследования является поиск оптимальной длительности азотирования в плазме высокочастотного разряда при сохранении функциональных свойств поверхности. В дальнейшем это позволит создать технологию модифицирования стальных изделий, включающую в себя их азотирование в плазме высокочастотного разряда и последующее нанесение покрытий в едином технологическом процессе, так называемую дуплексную технологию модифицирования.

Цель работы – получение данных о влиянии длительности азотирования в плазме высокочастотного разряда на структурные и функциональные свойства стали 40х13.

Объект исследования – сталь 40х13.

Предметом исследования является совокупность структурных, механических и функциональных свойств поверхности стального изделия после азотирования.

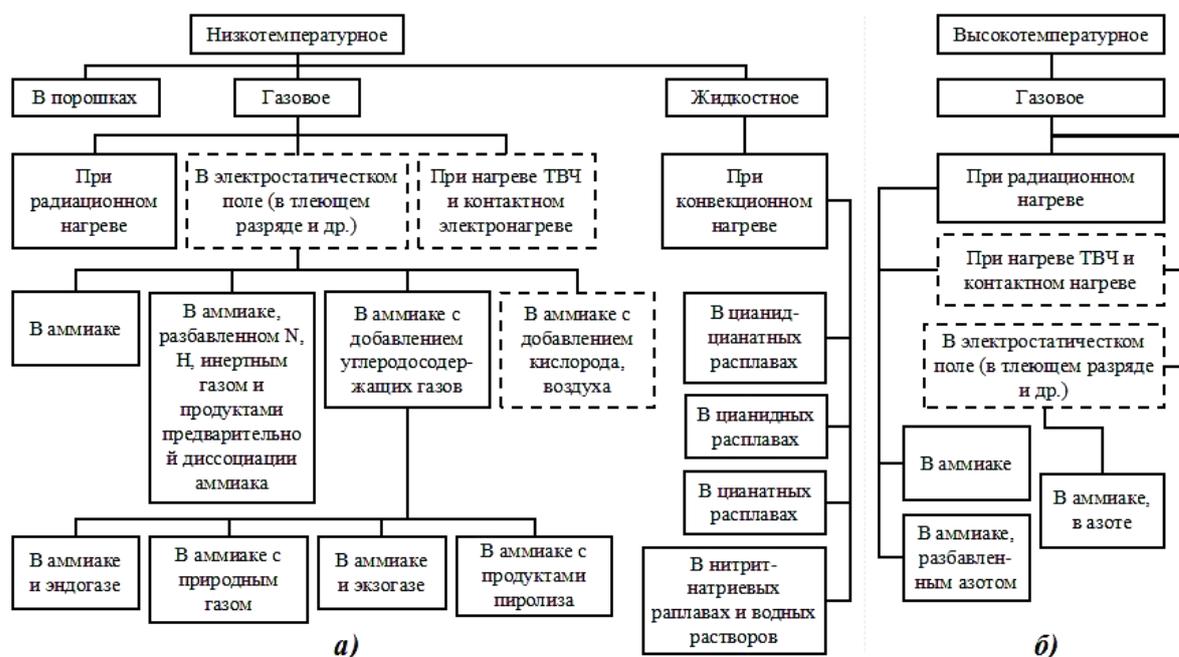
Для решения проблемы исследования поставлены следующие **задачи**.

1. Анализ научной литературы по вопросам методики азотирования сталей и влиянию параметров данного процесса на свойства стали 40х13.
2. Подбор режимов азотирования стали 40х13.
3. Проведение процесса азотирования в плазме высокочастотного разряда при различной длительности (2, 5, 10 и 20 мин).
4. Изучение структурных и функциональных свойств модифицированных образцов.
5. Анализ полученных результатов.

1 Азотирование стальных изделий

Азотирование применяют для изменения таких свойств поверхности, как твёрдость, износостойкость и коррозионная стойкость для разнообразных сталей и сплавов, деталей машин и инструментов, работающих в различных условиях эксплуатации. Азотирование относится к поверхностным методам упрочнения материалов, суть которого состоит в процессе диффузии атомов азота вглубь различных металлов и сплавов.

На рисунке 1.1 показана классификация процессов азотирования в зависимости от температуры проведения процесса, способа нагрева и агрегатного состояния насыщающей среды.



а) низкотемпературное азотирование, б) высокотемпературное азотирование

Рисунок 1.1 – Классификация процессов азотирования [1]

В настоящее время существует множество вариантов процесса, самыми распространёнными из которых являются следующие.

Азотирование в соляной ванне – это термохимический процесс, при котором происходит диффузия азота в поверхность материала. Источником азота является расплавленная соль, представляющая опасность для

окружающей среды. Основным преимуществом данной технологии процесса является быстрота обработки.

Газовое азотирование с использованием аммиака. Сталь размещают в печи, куда запускают аммиак и нагревают до заданной температуры, после чего аммиак частично распадается на атомарный азот и водород. Преимущественный состав получаемой поверхности – нитриды.

Ионно-плазменное азотирование. В данном процессе происходит диссоциация азота на ионы в газовом разряде. Ионно-плазменное азотирование реализуется в среде пониженного газового давления, где к обрабатываемой детали прикладывается отрицательный заряд, а к рабочей камере положительный. Подробнее о данном методе пойдёт речь в следующих разделах.

Таким образом, в процессе азотирования главным механизмом является диффузия азота вглубь материала детали. Концентрация азота уменьшается от поверхности вглубь металла, вследствие этого изменяются структура и свойства азотированной поверхности по глубине.

Структуру поверхностного слоя стальных изделий после азотирования возможно определить с помощью диаграммы состояния железо–азот, представленная на рисунке 1.2. В соответствии с диаграммой состояния в системе образуются следующие фазы, кристаллические решётки которых показаны на рисунке 1.3.

Азотистый феррит (α -фаза) с объёмно-центрированной кубической (ОЦК) решёткой образуется при низком содержании азота в железе. Азот занимает позиции междуузельных атомов в решётке α -железа (рис. 1.3, а), его растворимость при комнатной температуре до 0,004 масс. %.

Азотистый аустенит (γ -фаза) с гранецентрированной кубической (ГЦК) решёткой существует при температуре выше 590 °С и характеризуется неупорядоченным расположением атомов азота в междуузлиях (рис. 1.3, б). При температуре ниже 590 °С распадается на фазы α -фазу и γ' -фазу.

Твёрдый раствор на базе нитрида Fe_4N (γ' -фаза) имеет ГЦК-решётку из атомов железа с упорядоченным расположением азота в центрах элементарных кубов (рис. 1.3, в). Эта фаза обладает повышенной твёрдостью и устойчива только до 670°C , при более высокой температуре она превращается в ε -фазу.

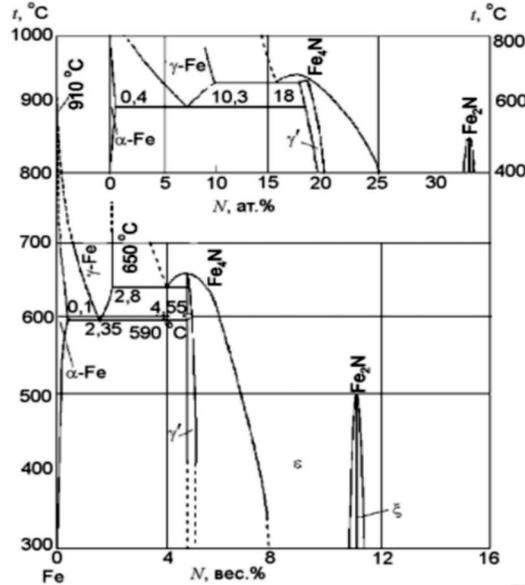
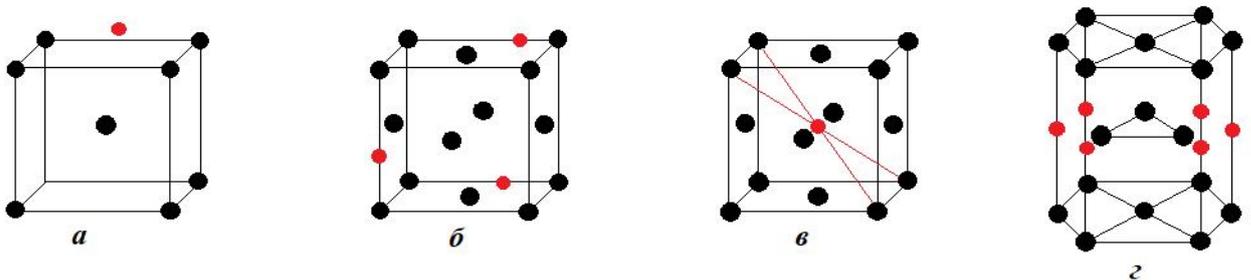


Рисунок 1.2 – Диаграмма состояния железо–азот [2]

Твёрдый раствор на базе нитрида Fe_{2-3}N (ε -фаза) имеет гексагональную плотноупакованную (ГПУ) решётку атомов железа, в междоузлиях которых располагаются атомы азота (рис. 1.3, г). Данная фаза обладает повышенной твёрдостью и является ферромагнитной [2].



а – α -фаза, б – γ -фаза, в – γ' -фаза, г – ε -фаза

Рисунок 1.3 – Типы кристаллических решёток, образующихся после азотирования в системе железо–азот, где чёрным цветом показаны атомы железа, а красным – атомы азота

Таким образом, при увеличении концентрации азота в железе (азотировании) последовательно образуются в виде слоёв фазы $\alpha \rightarrow \gamma' \rightarrow \varepsilon$.

Основной характеристикой диффузионного слоя является его толщина, при этом различают следующие виды толщин диффузионного слоя:

- общая толщина диффузионного слоя (кратчайшее расстояние от поверхности стали до нижней границы диффузионного слоя),
- эффективная толщина диффузионного слоя (часть общей толщины, определяемая кратчайшим расстоянием от поверхности стали до участка с определённой концентрацией азота).

Толщина диффузионного слоя зависит от:

- состава обрабатываемого металла или сплава,
- температуры обработки,
- продолжительности процесса обработки,
- концентрации диффундирующего элемента [3].

Чем выше концентрация диффундирующего элемента на поверхности, тем больше толщина слоя при данной температуре. Образующие с обрабатываемым материалом твёрдые растворы внедрения элементы имеют более высокую скорость диффузии по сравнению с элементами, образующими твёрдые растворы замещения. Присутствие хрома в сталях позволяет повысить твёрдость азотированного слоя на поверхности [3].

Азотирование стали проводится с целью изменения следующих свойств.

1. Повышения трибологических свойств.
2. Повышения износостойкости.
3. Повышения коррозионной стойкости.
4. Повышения статической прочности.
5. Повышения усталостной прочности.
6. Получения минимального уровня деформации при упрочнении.

На коррозионные и трибологические свойства, такие как трение и износ, в основном оказывает влияние «белый» слой (поверхностный слой нитридов

железа в азотированных изделиях), а на усталостную прочность – толщина и твёрдость диффузионной зоны [3].

1.1 Общий принцип метода азотирования

Общая технология процесса обработки сталей и металлов азотом включает следующие этапы:

- предварительная термическая обработка;
- механическая обработка, включая шлифование и полирование;
- защита мест, не подлежащих обработке;
- активация поверхности и азотирование;
- окончательное шлифование до необходимых параметров шероховатости [4].

Пример параметров процесса азотирования стали приведён в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Химическая обработка азотом (азотирование) [3]

Температура, °С	Продолжительность, ч	Глубина упрочнённого слоя, мм	Твёрдость поверхности, HV
500-550	5-100	0,05-0,8	350-1300

Обычно процесс азотирования (рис. 1.4) включает три стадии.

1. Начальный период, при котором происходит нагрев деталей до получения температуры, при которой необходимо провести процесс азотирования.

2. Выдержка при температуре азотирования и создание обрабатывающей среды. В этот период преимущественно происходит процесс диффузии азота вглубь поверхности.

3. Охлаждение деталей после азотирования осуществляется в печи, но может проводиться и в атмосфере водяного пара [4].



Рисунок 1.4 – Процесс азотирования

Длительность выдержки в среде азота или азотосодержащих газов и жидкостей сильно зависит от типа азотирования (газовое, в электролитах или ионно-плазменное). Так, время газового азотирования может составлять несколько часов, в то время как высокая скорость диффузии азота при ионно-плазменном азотировании позволяет сократить длительность до десятков минут.

1.2 Ионно-плазменное азотирование

В последние годы получил распространение метод ионно-плазменного азотирования, которое проводят в азотсодержащей атмосфере при подключении обрабатываемых деталей к отрицательному электроду – катоду. Анодом является рабочая камера. Между катодом (изделием) и анодом возбуждается тлеющий разряд, и ионы газа, бомбардируя поверхность катода, нагревают её до температуры насыщения – процесс активации поверхности.

Процесс ионного азотирования реализуется в две стадии.

1. Очистка поверхности катодным распылением проводится до часу при напряжении 1100-1400 В и низком давлении, температура поверхности детали не должна превышать 250 °С.

2. Насыщение происходит при температуре 470-580 °С, диапазоне напряжений от 400 до 1100 В и продолжительности процесса в несколько часов [5].

Ионно-плазменное азотирование сокращает общую длительность процесса, позволяет получить диффузионный слой необходимого состава и структуры, не приносит значительных деформаций и обладает большой экономичностью.

Ионное азотирование включает в себя несколько основных взаимосвязанных процессов (рис. 1.5):

- 1) получение активных частиц, то есть диссоциация и ионизация насыщающего элемента в результате превращений в газовой фазе;
- 2) доставка активизированных частиц к поверхности обрабатываемого металла;
- 3) скопление атомов и ионов насыщающего элемента на поверхности металла (адсорбция), электронное взаимодействие этих ионов с металлом (хемосорбция) и внедрение их в металл (абсорбция), то есть массоперенос на границе системы «металл–газовая среда»;
- 4) перемещение внедрённых атомов и ионов от поверхности вглубь металла (диффузия), то есть внутренний массоперенос, который возможен только при условии растворимости диффундирующего элемента в металле [2].

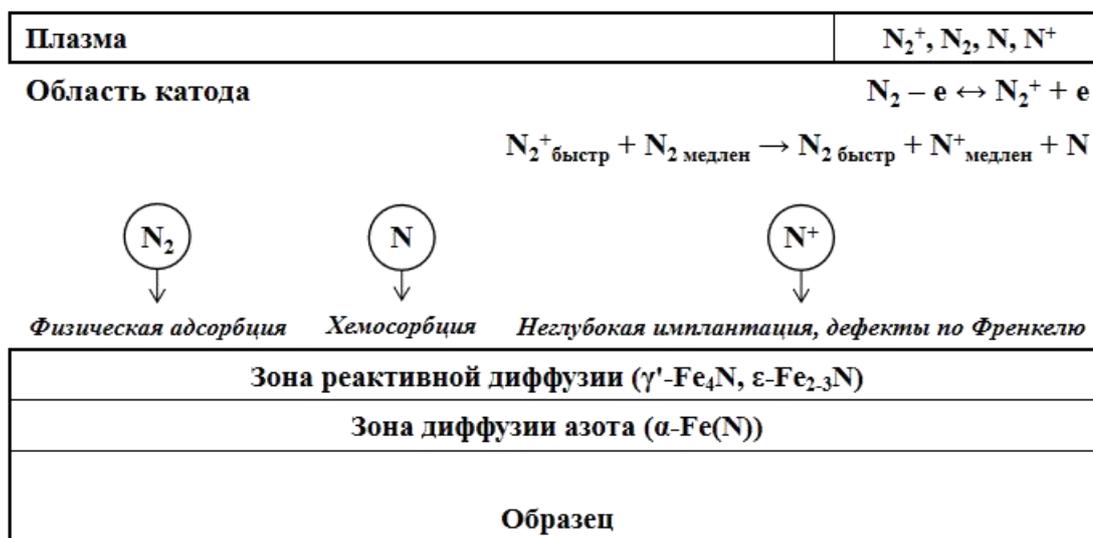


Рисунок 1.5 – Основные механизмы плазменного азотирования [6]

Показанные на рисунке 1.5 процессы взаимосвязаны друг с другом и комплексно влияют на эффективность азотирования. Самые сложные из них протекают на поверхности металла при его взаимодействии с диссоциированной и ионизированной газовой фазой, однако именно они определяют формирование высокого градиента концентраций насыщающего элемента. Это обеспечивает высокую интенсивность обработки. Процесс диффузии находится в зависимости от свойств газовой плазмы, её атомного и ионного состава и массопереноса активных частиц к обрабатываемой детали. Азот, попадая в область газового разряда, диссоциирует с последующей ионизацией. Образовавшиеся ионы азота сталкиваются с поверхностью изделия, количество таких ионов и их энергию можно регулировать давлением в системе, мощностью источника плазмы и величиной потенциала смещения. Ионная бомбардировка изделий в среде атомарного азота вызывает их нагрев и, соответственно, диффузию азота вглубь материала. Дефекты, формирующиеся на поверхности изделий, дополнительно ускоряют процесс диффузии [6]. На рисунке 1.6 продемонстрирована схема поперечного сечения образцов после азотирования.



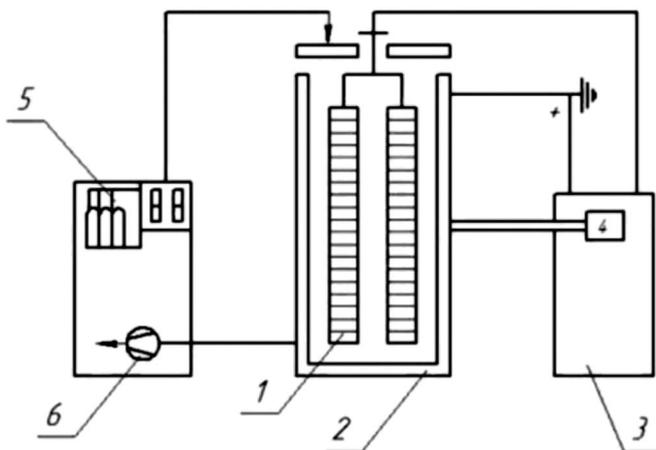
Рисунок 1.6 – Схема поперечного шлифа образца после азотирования [6]

1.3 Схема оборудования

Для азотирования используются разнообразные конструкции печей. Разработаны печи периодического и непрерывного действия. К печам периодического действия относятся шахтные муфельные и безмуфельные печи,

а также камерные печи. К печам, работающим по непрерывному циклу, относятся толкательные и карусельные печи [3]. Наиболее интересующими видами оборудования для азотирования в данной работе являются схема установки для ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде и с использованием высокочастотного источника.

В случае ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде (рис. 1.7) в пространстве между катодом и анодом возбуждается тлеющий разряд. При возбуждении тлеющего разряда к поверхности детали устремляется поток положительно заряженных ионов азота. При ударах ионов о поверхность изделий выделяется значительная часть энергии ионов передаётся в качестве тепла. Низкое давление обеспечивает однородную плотность тока по всей детали.



1 – деталь, 2 – вакуумный контейнер, 3 – блок электропитания, 4 – прибор регулирования температуры, 5 – газовая гребенка, 6 – вакуумный насос
Рисунок 1.7 – Схема установки для плазменного азотирования в тлеющем разряде [7]

Для повышения интенсивности диффузии ионов азота в поверхность стали используют источники индуктивно-связанной плазмы (ИСП) – такой тип источника плазмы, в котором энергия передаётся за счёт электрических токов, которые создаются электромагнитной индукцией. Схема установки для высокочастотного плазменного азотирования показана на рисунке 1.8.

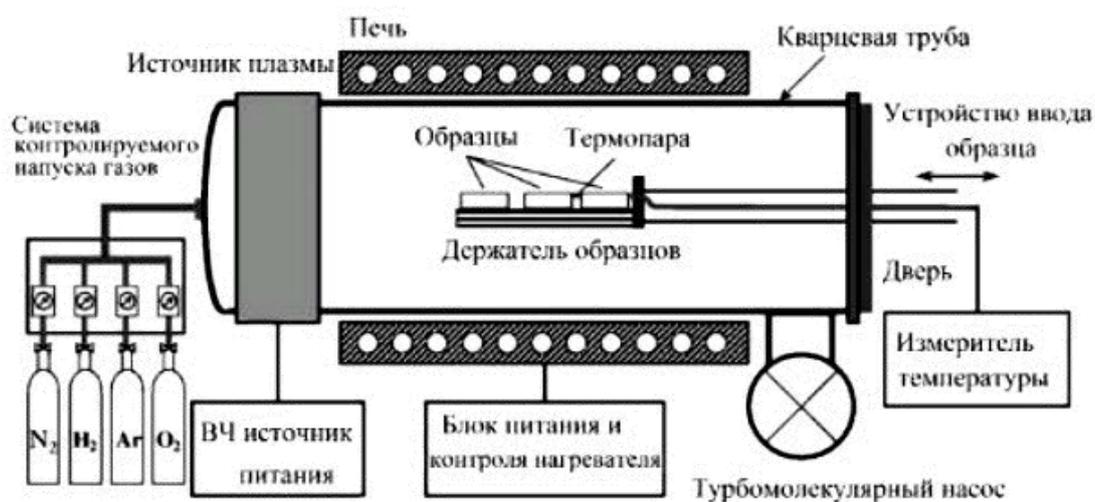


Рисунок 1.8 – Установка для высокочастотного плазменного азотирования [2]

На рисунке 1.9 показана схема индуктивно-связанного источника плазмы. Электрическое поле в устройстве возбуждается как поле индукции, возбуждаемое антенной в виде плоской или цилиндрической катушки индуктивности. К антенне подводится высокочастотная мощность от генератора 5. Подложка 3 размещается на подложкодержателе 2, представляющем собой плоский электрод. Для независимого управления энергией ионов, бомбардирующих подложку, к 2 подводится напряжение смещение от дополнительного источника питания 5', частота которого может не совпадать с частотой основного генератора.

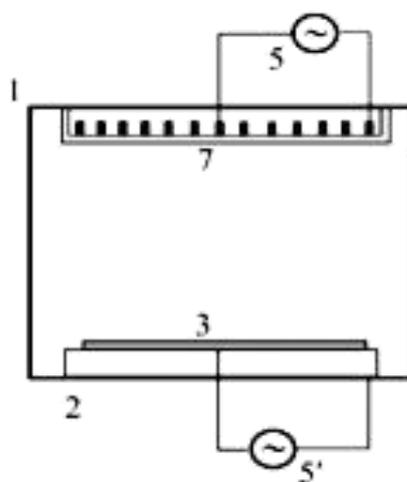


Рисунок 1.9 – Индуктивно-связанный источник плазмы (ICP) [2]

- К преимуществам азотирования при использовании ИСР можно отнести:
- управление энергией ионов, бомбардирующих обрабатываемое изделие путём подведения к нему источника напряжения смещения;
 - возможность осуществления низкотемпературного азотирования при малой длительности азотирования;
 - создание плотной плазмы, усиливающей диффузию азота вглубь изделия;
 - работа при сравнительно низких давлениях;
 - возможность обработки изделий большой площади.
- К основным недостаткам метода относится:
- повышение стоимости оборудования;
 - неравномерная толщина азотированного слоя.

1.4 Типовые параметры процесса азотирования

Ранее в работе рассматривался общий типовой режим азотирования с диапазоном параметров. Для более детального рассмотрения ниже приведены режимы азотирования для аустенитных сталей марок AISI-302 и AISI-304.

В справочном обзоре [2] представлены данные исследования влияния концентрации водорода на свойства и состав плазмы и полученной азотированной поверхности. Образцы предварительно зеркально полировали и отмывали, отжигали в воздухе при температурах от 1025 °С до 580 °С, получая объёмную твёрдость $7,5 \pm 0,4$ ГПа. Параметры процесса приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Параметры ионно-плазменного азотирования AISI-304 [2]

Частота импульсов, кГц	Амплитуда импульсов, В	Ток разряда, А	Температура образца, °С	Длительность азотирования, час
50	636-644	1,19-1,27	540	4
100	631-636	1,20-1,27		
200	618-622	1,30		

Далее для сравнения провели азотирование в плазме смеси азота и водорода образцов из сталей AISI-302 и AISI-304. Эти образцы сначала очищались ионным распылением в течение 30 минут при температуре 150 °С ионами аргона и водорода. Режимы азотирования и твёрдость обработанных образцов показаны в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Свойства и параметры обработки образцов AISI-302 и AISI-304 [2]

Образец	Давление, Па	Температура образца, °С	Амплитуда импульсов, В	Коэффициент нагрузки, %	Максимальная поверхностная твёрдость, HV
AISI 304	480	540	580	90	1221
AISI 302	705	540	580		842
AISI 302	760	830	779		657

Максимальная твёрдость была меньше у образцов, обработанных при более высокой температуре, по сравнению с образцами, обработанными при более низкой (табл. 3), при этом равномерность распределения поверхностной твёрдости была выше. Азотированные в смеси азота и водорода образцы стали AISI-304 содержали фазы Fe₃N и Fe₄N, которые не образовывались при азотировании в чистом азоте. То есть азотирование в плазме одного азота сравнительно малоэффективно.

В исследовании [8] проводилось низкотемпературное (LTPN) и обычное плазменное азотирование (CPN) для сравнения влияния полученных азотированных слоёв на абразивную износостойкость феррит-мартенситной стали AISI 410S. Низкотемпературное плазменное азотирование (LTPN) – это обработка поверхности, которая способствует упрочнению поверхности без ущерба для коррозионной стойкости. Образцы подвергали азотированию в плазме в течение 20 часов в газовой смеси N₂ (75 %) и H₂ (25 %) при 250 Па. Низкотемпературное азотирование проводили при 400 °С, обычное плазменное азотирование было проведено при 530 °С. Результаты испытаний на износ показали, что азотирование плазмой улучшает износостойкость ферритно-мартенситной стали. Рисунок 1.10 суммирует результаты объём износа.

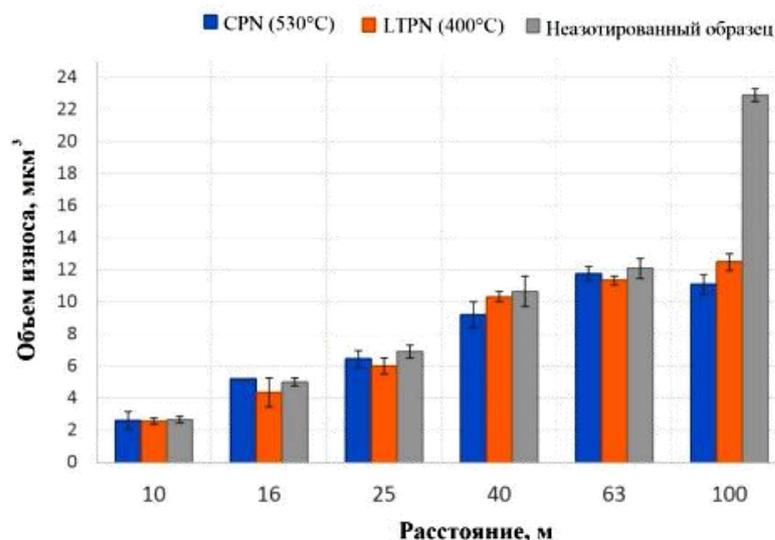


Рисунок 1.10 – Изменение объёма износа в зависимости от расстояния [8]

Потери объёма изнашивания были одинаковыми при разных методах азотирования. На диаграмме видно, что существенные различия между азотированными и не азотированными образцами обнаруживаются вследствие различий в твёрдости. Хотя более твёрдые образцы, обработанные низкотемпературным азотированием, не имеют составного слоя, они теряют почти тот же объем износа, который показали образцы после обычного плазменного азотирования. Соответственно, сходные характеристики износа образцов нельзя объяснить наличием составных слоёв на поверхности обоих образцов.

1.5 Преимущества и недостатки ионно-плазменного азотирования

Ионно-плазменное азотирование по сравнению с другими методами азотирования имеет следующие преимущества:

- возможность проведения регулируемых процессов азотирования;
- значительное сокращение общего времени процесса за счёт диссоциации газа в плазме и, как следствие, увеличение скорости насыщения;
- экономичность процесса, повышение коэффициента использования электроэнергии, сокращение расхода насыщающих газов;

– процесс не токсичен и отвечает требованиям по защите окружающей среды [4].

Минусом ионно-плазменного азотирования считается высокое энергопотребления, так как необходимо подавать высокое напряжение на катод. Также ионно-плазменное азотирование, как и другие методы азотирования, влияет на механические характеристики поверхности. В работе [9] показано, что с ростом времени ионно-плазменного азотирования увеличивается шероховатость поверхности. Это объясняется подачей потенциала электрического смещения на подложку, при которой происходит бомбардировка поверхности высокоэнергетическими ионами и, соответственно, её распылением в процессе азотирования.

1.6 Применение технологии азотирования

Ионное азотирование может использоваться для следующей номенклатуры изделий.

1. Оси, зубчатые колеса и другие детали, требующие высокую износостойкость и усталостную прочность.

2. Кованые и штампованные инструменты, для которых необходимо уменьшить износ и получить высокое сопротивление термической усталости.

3. Инструмент для изготовления листов, для которого требуется уменьшить износ и трение между листом и инструментом.

4. Детали из коррозионно-стойкой стали, требующие хорошей износостойкости.

5. Детали гидравлических устройств, требующие хорошую износостойкость и сопротивление коррозии [3].

Также при помощи ионно-плазменного азотирования можно получить:

– диффузионные зоны с развитым нитридным слоем, обеспечивающим высокую сопротивляемость коррозии и износу;

– диффузионные зоны без нитридного слоя – для режущего, штампового инструмента или деталей, работающих при высоких давлениях со знакопеременными нагрузками [6].

1.7 Сталь 40х13: свойства, параметры, применение

Сталь 40х13 является хромистой коррозионностойкой сталью мартенситного класса и применяется для изготовления деталей работающие при температуре до 400-450°C, а также деталей, работающие в коррозионных средах, например:

- режущий инструмент,
- измерительный инструмент,
- пружины для работы до 400-450°C,
- карбюраторные иглы,
- предметы домашнего обихода,
- клапанные пластины компрессоров и другие детали.

Сталь 40х13 выплавляется в индукционных или дуговых печах, склонна к образованию горячих трещин при больших скоростях нагрева и охлаждения. При нагреве металл сажают в печь при температуре 500-540 °С, далее вместе с печью медленно нагревают до 830 °С.

Цифра 40 в названии стали указывает среднюю массовую долю углерода в стали сотых долях процента, т.е. среднее содержание углерода в стали 40Х13 составляет 0,40%. Буква Х указывает, что сталь легирована хромом (Cr), цифра 13 после буквы указывает, что средняя массовая доля хрома составляет 13%. Более подробный массовый состав указан в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Массовая доля элементов в стали 40х13 [10]

C	Не более		Cr	Fe	Не более	
	Si	Mn			S	P
0,36 -0,45	0,80	0,80	12,00-14,00	Ост.	0,025	0,030

Эта марка стали из группы ферромагнетиков, поэтому она магнитится. Материал отличается пластичностью, он легко поддаётся вальцеванию. В ходе дополнительной термообработки изменяется структура стали. Как следствие, она приобретает новые механические характеристики, некоторые из которых указаны в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Механические свойства стали 40х13 при комнатной температуре и после закалки с 1050 °С и отпуска при 600 °С [7]

Предел прочности (при растяжении), МПа	Предел текучести 0.2, МПа	Относительное удлинение, %	Твёрдость, МПа
1140	910	13	460-550

Физические свойства данной марки стали показаны в таблице 1.6. После проведения закалки и низкотемпературного отпуска материал приобретает повышенную устойчивость к коррозии.

Таблица 1.6 – Физические свойства 40х13 при разных температурах

Физические свойства	Температура, °С	Значение
Плотность, кг/см ³	20	7650
Температура плавления, °С	-	1200
Ударная вязкость, Дж/см ²	-	59
Удельная теплоёмкость, Дж/кг*К	20-100	452
Коэффициент линейного расширения, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	20-100	10,7
	20-300	11,9
	20-600	12,8
Электрическое удельное сопротивление, нОм*м	20	-
	100	786
Модуль упругости, МПа	20	2,18

Таким образом, сталь 40х13 целесообразно использовать после температурного отпуска в 200-400 °С в целях получения высоких коррозионной стойкости и твёрдости или после высокого отпуска при температуре 600-650 °С

для получения конструкционного материала. Для примера рассмотрим микроструктуру (рис. 1.11), полученную путём закалки с 980°C в течение 15 минут и охлаждением в масле, затем отпуска при 400°C в течение 2 часов и охлаждением на воздухе. Диаметр образца составлял 7 мм, длина 10 мм. Измеренная твёрдость – 545 HV.

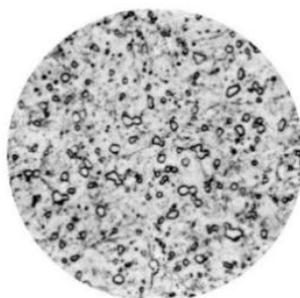


Рисунок 1.11 – Микроструктура стали марки 40x13:
аустенит, карбиды, мартенсит [11]

В матрице исходного мартенсита выделились мелкие частицы карбидов. Границы первичных аустенитных зёрен ещё можно распознать благодаря выделениям карбидов. Крупные частицы представляют собой карбид Me_{23}C_6 , где основными карбидообразующими элементами являются железо и хром.

Хром – очень твёрдый и устойчивый к коррозии металл, а его карбиды в сталях улучшают её износостойкость и коррозионную выдержку и сохраняет эти свойства при повышенных температурах. Однако карбиды обладают хрупкостью, поэтому температурный режим при обработке выставляется таким образом, чтобы часть карбидов растворилась. Это позволяет сохранить износостойкость, коррозионную стойкость и твёрдость и избежать охрупчивания.

1.8 Типовые режимы, параметры азотирования

Ранее были рассмотрены различные типы азотирования, среди которых ионно-плазменное азотирование обладает рядом достоинств, которые выделяют этот метод из числа остальных. В этом разделе подробнее рассмотрим типовые

режимы ионно-плазменного азотирования, используемых для сталей марки 40х13.

В работе [9] авторы проводили исследование влияния электрического потенциала смещения на свойства стали 40х13 при ионно-плазменном азотировании в высокочастотном разряде при параметрах из таблицы 1.7. Проведённые исследования показали, что при увеличении потенциала смещения более -40 В в образцах обнаружено выпадение осадка нитрида хрома, а толщина диффузионного слоя максимальная при смещении -60 В [9]. Измерения микротвёрдости образцов по поперечному шлифу продемонстрировали увеличение в 7 раз по сравнению с исходной [9]. Также ионно-плазменное азотирование способствует увеличению износостойкости поверхности стали 40х13 (максимум при -80 В). Это объясняется преобладанием в кристаллической структуре твёрдых фаз $\alpha\text{N-Fe}$ и $\gamma\text{N-Fe}$ и повышением количества фазы CrN в образцах [9].

Таблица 1.7 – Параметры ионно-плазменного азотирования [9]

Параметры		Значение
Рабочее давление, Па		0,8
Температура, °С		470
Время азотирования, минуты		30
Потенциалы смещения, В		-20
		-40
		-60
		-80
Соотношение компонентов в рабочей газовой смеси:	Аргон (Ar)	4
	Азот (N ₂)	2
	Водород (H ₂)	1

Таким образом, авторами [9] показано, что ионно-плазменное азотирование в высокочастотном разряде способствует улучшению износостойкости и микротвёрдости поверхности, а регулирование величины электрического потенциала смещения помогает минимизировать изменение морфологии поверхности.

2 Экспериментальные методы и оборудование

В данном разделе рассматриваются методы и оборудование, используемые в исследовании.

2.1 Вакуумная ионно-плазменная установка

Эксперимент по азотированию проведён на вакуумной ионно-плазменной установке, разработанной в научно-образовательном центре Б.П. Вейнберга Томского политехнического университета. Экспериментальная установка (рис. 2.1) состоит из вакуумной камеры, оборудованной высокочастотным источником плазмы (радиочастотный плазменный генератор РПГ-128), системой нагревателей, термопарами для регистрации температуры на поверхности и системой подачи рабочих газов (Ar, O₂, H₂ и N₂).

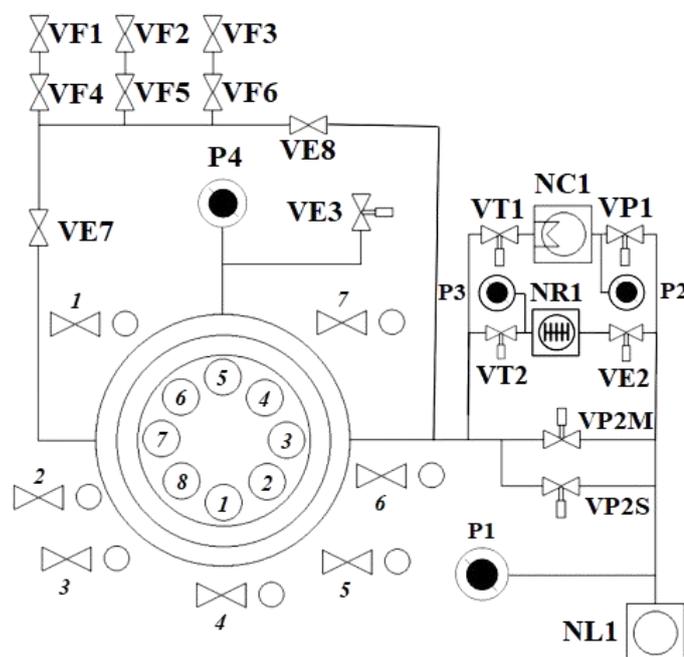


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной установки: NL1 – спиральный насос; NR1– турбомолекулярный насос; NC1– криогенный насос; VP2S, VP2M, VE2, VP1 – вакуумные клапаны; VT2, VT1 – вакуумные затворы, P1, P2, P3, P4 – датчики давления, VE3 – клапан напуска атмосферы

Система откачки установки основана на базе криогенного насоса (NC1), турбомолекулярного насоса (NR1) с использованием безмасляного спирального насоса (NL1) в качестве вспомогательного насоса.

Для корректного запуска установки и её работы требуется привести порядок получения высокого вакуума.

1. Подготовленные образцы загрузить в камеру, спиртом протереть резинку на входе. Закрывать вакуумная камера.

2. Убедиться на схеме, что все клапаны закрыты. Запустить форвакуумный насос NL1. Открыть клапан мягкой откачки VP2S и дождаться, пока давление внутри камеры не достигнет порядка 10^4 Па.

3. Затем открыть клапан VP2M и дождаться, пока давление в камере не будет равно 50 Па. Большого вакуума форвакуумный насос обеспечить не может, поэтому закрыть клапаны VP2S и VP2M.

4. Далее подключить турбомолекулярный насос NR1, открывая клапаны VE2 и VT2 и подавая воду на насос. Дождаться давления в камере 10^{-1} Па. Затем можно отключить турбомолекулярный насос и клапаны VE2 и VT2 или продолжить откачку с помощью него и другого высоковакуумного насоса.

5. Для получения большего вакуума в камере открыть клапан VT1 для откачки криогенным насосом NC1. Дожидаемся давления порядка $3 \cdot 10^{-3}$ Па. Затем закрыть клапан VT1, и клапаны VT2 и VE2 должны быть открыты.

Порядок для перезагрузки образцов следующий.

1. Закрывать высоковакуумные затворы VT2 и VT1.

2. Открыть клапан напуска атмосферы VE3.

При завершении технологического цикла и выключении установки требуется следующее.

1. Закрывать затвор VT2.

2. Выключить турбомолекулярный насос NR1.

3. Закрывать клапан VE2.

После полной остановки турбомолекулярного насоса выключить спиральный насос NL1.

2.2 Радиочастотный плазменный генератор РПГ-128

Для создания высокочастотной плазмы в процессе ионно-плазменного азотирования использовался радиочастотный плазменный генератор РПГ-128. В таблице 2.1 указаны его основные технические характеристики.

Таблица 2.1 – Технические характеристики РПГ-128 [12]

Параметр	Значение
Частота генератора для возбуждения, МГц	13,56
Максимальная подводимая ВЧ мощность, Вт	1500
Минимальная ВЧ мощность, Вт	300
Диапазон рабочих давлений, Па	0,1 - 10

Диссоциация и ионизация рабочего газа с помощью РПГ-128 происходит при пропускании тока с частотой 13,56 МГц через плоскую катушку индуктивности. Изменение полярности переменного тока порождает высокочастотное магнитное переменное поле, которое является причиной появления индуцированного высокочастотного электромагнитного поля. Свободные электроны под действием электромагнитного поля осциллируют, передавая импульс атомам рабочего газа, возбуждая и ионизируя их, тем самым создавая в объеме рабочей камеры высокочастотную плазму.

2.3 Методика пробоподготовки образцов

Как уже было обозначено ранее, одним из недостатков ионно-плазменного азотирования является увеличение шероховатости поверхности после обработки. Для минимизации этого процесса необходимо до проведения азотирования выполнить пробоподготовку поверхности изделий, включающую в себя механические методы, очистку и обезжиривание. Для механической обработки поверхности используются полировально-шлифовальные машины, применяемые для образцов из сталей, сплавов и других материалов.

В работе использована полировально-шлифовальная машина MP-1B GRINDER POLISHER. Чтобы добиться минимальной шероховатости поверхности стали и исключить влияние морфологии на адгезию осаждаемых покрытий проведена следующая технология пробоподготовки образцов.

1. Механическая шлифовка поверхности изделий с равномерным уменьшением размера зерна (P400, P600, P800, P1200, P2500, где P – зернистость).

2. Полировка поверхности изделий с использованием шерстяного сукна и алмазной суспензии с размерами абразива 3, 1 и 0,1 мкм.

3. Очистка и обезжиривание образцов. Образцы помещались в 3% моющий раствор флаттера и кипятились в нем 6 мин, далее проводилась их промывка под проточной водой и кипячение в изопропиловом спирте в течение 3 мин последующей сушкой в его парах до полного испарения.

2.4 Изучение кристаллической структуры

Рентгеновское излучение используется для изучения фазового состава и кристаллической структуры вещества. Знания о фазовом составе поверхности образцов позволяет определить её возможные свойства. Изучение фазового состава и структуры веществ осуществляется с помощью рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа соответственно. В основе данных методов лежит явление дифракции, поэтому также метод носит название рентгенодифракционного анализа. Дифракция рентгеновского излучения в кристаллических веществах происходит из модели Брэгга (рис. 2.2).

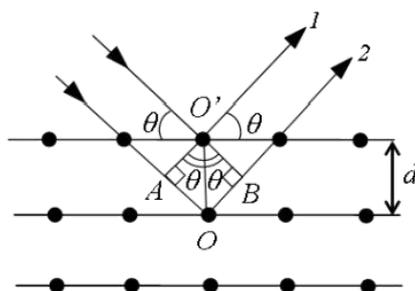


Рисунок 2.2 – Отражение лучей в кристалле по Брэггу [13]

Условие дифракции выражается в формуле Вульфа-Брэгга:

$$2d\sin\theta = n\lambda, \quad (2.1)$$

где d – межплоскостное расстояние;

θ – угол между пучком рентгеновских лучей и плоскостью образца;

λ – длина волны рентгеновского излучения;

n – целое число (порядок дифракции).

Таким образом, явление дифракции возникает лишь на некоторых углах, определяемых условием Вульфа-Брэгга.

При взаимодействии рентгеновского излучения с материалами с кристаллической структурой образуется совокупность вторичного излучения: дифрагированное, флуоресцентное, просвечивающее, тепловое, фотоэлектронное и др. В методе рентгенодифракционного анализа используется только дифрагированное излучение.

Главными компонентами дифрактометра являются рентгеновская трубка и детектор, размещающиеся на подвижном гониометре – точная система установки и отслеживания угла излучения по отношению к поверхности исследуемого образца. Одно плечо гониометра задаёт угол облучения рентгеновской трубкой, другое определяет угол брэгговского отражения излучения от образца. Измеряемое детектором изменение интенсивности излучения при разных углах падения пучка позволяет выявить состав поверхности.

В данном исследовании использовался рентгеновский дифрактометр XRD-7000S. Фото дифрактометра представлено на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Рентгеновский дифрактометр XRD-7000S [14]

Основными параметрами съёмки на дифрактометре являются:

- вещество анода и фильтра K_{β} -излучения;
- величина ускоряющего напряжения и ток электронов;
- тип детектора;
- используемая шкала скорости счета импульсов;
- скорость движения детектора;
- шаг сканирования.

В работе использовалась рентгеновская трубка из меди. Излучение K_{α} . Предельно допустимое ускоряющее напряжение составило 40 кВ, электронный ток 30 мА, диапазон сканирования от 10 до 90°, скорость сканирования дифрактометра 10 °/мин.

2.5 Определение морфологии поверхности

В ходе ионно-плазменного азотирования вследствие бомбардировки поверхности заряженными ионами происходит значительное изменение её морфологии. Шероховатость поверхности была измерена с помощью трёхмерного бесконтактного профилометра Micro Measure 3D Station.

Шероховатость вычисляется из профиля, регистрируемого на отрезке определённой длины. Профиль поверхности определяют, освещая её импульсным световым пучком с последующим вычитанием двух разных отражений, исходящих от поверхности. Размер светового пятна несколько мм. После многократного перемещения датчика по поверхности образца формируется трёхмерное изображение поверхности (рис. 2.4).

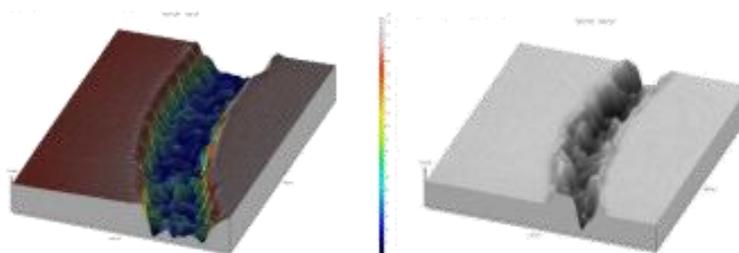


Рисунок 2.4 – Трёхмерное изображение поверхности

2.6 Анализ микроструктуры поперечного сечения

Для исследования микроструктуры поперечного сечения использовался оптический микроскоп Axiovert 200MAT (рис. 2.5). Для получения изображения поперечного сечения образцы нарезаются методом гидроабразивной резки, помещаются в алюминиевые оправки и заливаются в быстросохнущую двухкомпонентную смолу на основе метилметакрилата. После полного застывания смолы происходила шлифовка и полировка поверхности шлифа.

Подготовленный шлиф помещают перпендикулярно оптической оси микроскопа, где он ставится под проходящий через объектив параллельным оптической оси пучком света, формирующийся осветительной системой. В осветительную систему входят источник света, коллекторная линза, апертурная и полевая диафрагмы, вспомогательные литы и полупрозрачная пластина.



Рисунок 2.5 – Внешний вид микроскопа Axiovert 200MAT [15]

Световые лучи, отражённые от ровных участков поверхности шлифа, попадают в объектив, а отражённые от неровностей нет. Конечное изображение формируется окуляром. Ровные участки шлифа на конечном изображении оказываются светлыми, а участки, наклонённые к оси, - тёмными. Благодаря этому выявляются границы зерна, частицы второй фазы, поры, другие элементы структуры материала.

2.7 Измерение твёрдости поверхности по глубине

Твёрдость по глубине проникновения была измерена методом наноиндентирования пирамидой Берковича на нанотвердомере NHT² (CSM Instruments) (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Изображение нанотвердомера NHT² [16]

Модуль наноиндентирования опускается на поверхность образца, пока опорное кольцо не коснётся его поверхности. Далее индентор опускается с определённой скоростью и его нагружения при помощи постоянного магнита и соленоида. Перемещение индентора контролируется электромагнитом. Ёмкостный датчик, расположенный около наконечника индентора, контролирует и измеряет вертикальное перемещение [16]. На рисунке 2.7 представлена схема для наноиндентирования поверхности изделий.

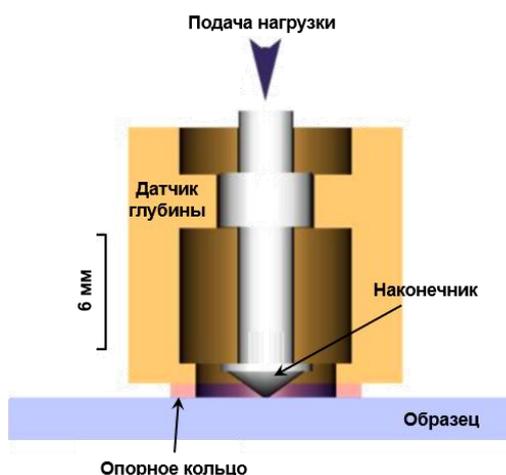


Рисунок 2.7 – Схема системы для наноиндентирования

Для анализа твёрдости в работе использовались следующие нагрузки индентора: 5, 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100 и 150 мН. Так как в материале имеются различные фазы с разными значениями твёрдости, то необходимое количество измерений составило от 7 до 10 раз для каждого условия испытаний.

2.8 Трибологические испытания

Для проведения трибологического испытания поверхности образцов на износ был использован высокотемпературный трибометр PC-Operated High Temperature Tribometer ТНТ-S-АХ0000 (CSEM, Швейцария).

Исследуемый образец закрепляется на вращающемся диске. Износ исследуемого образца определяется путём измерения трека образованного в результате действия неподвижного индентора на вращающийся образец. Схема испытания на износостойкость покрытия показана на рисунке 2.8.

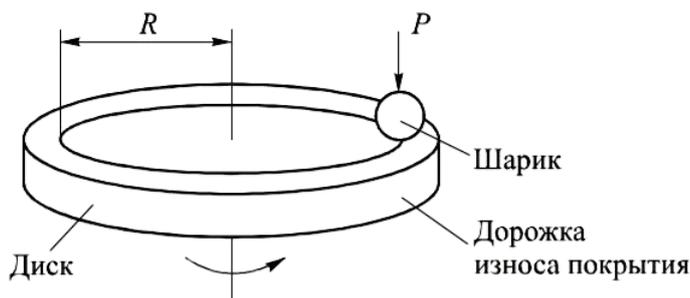


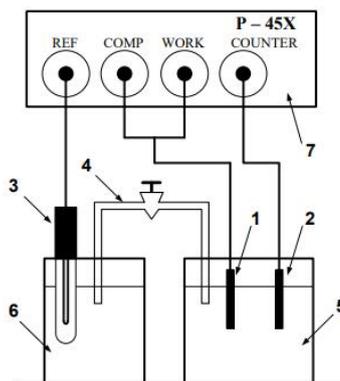
Рисунок 2.8 – Схема испытания износостойкости покрытий

Компьютерная программа InstrumX регистрирует следующие параметры:

- радиус трека R , по которому движется шарик (2,51 мм);
- линейная скорость шарика (5 см/с);
- нагрузка P , прикладываемая к шарика (5 Н);
- условие завершения (отличались для разных образцов);
- частота прохода одного круга (Гц);
- температура образца (25 °С).

2.9 Методика коррозионных испытаний

Коррозионная стойкость образцов оценивается по поляризационным кривым, коррозионная среда – 3,5 масс.% растворе NaCl. Регистрирующим прибором является потенциостат-гальваностат P-45X. На рисунке 2.9 представлено схематическое изображение установки, состоящей из электрохимической ячейки и измерительной аппаратуры.



1 – рабочий электрод; 2 – вспомогательный электрод; 3 – электрод сравнения;
4 – солевой мостик; 5 – рабочий электролит; 6 – электролит электрода
сравнения; 7 – потенциостат-гальваностат

Рисунок 2.9 – Электрохимическая ячейка с потенциостатом-гальваностатом [17]

На позицию рабочего электрода устанавливается исследуемый образец, на позицию вспомогательного электрода устанавливалась графитовый стержень, в качестве электрода сравнения используется хлорсеребряный электрод. Солевой мостик обеспечивает протекание электрического тока в цепи электрода сравнения.

Были проведены следующие типы коррозионных испытаний:

- потенциостатические испытания (длительность испытания - 2000 с);
- поляризационные испытания (скорость развёртки - 0,0003 В/с, диапазон определения поляризации ± 80 мВ относительно потенциала коррозии);
- потенциодинамические испытания (скорость развёртки - 0,0005 В/с, ограничение по току 0,09 А).

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» посвящён проектированию и созданию конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности.

Данный раздел включает в себя оценку коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований, определение возможных альтернатив исследований, планирование научно-исследовательских работ и определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Цель исследования – определение влияния длительности азотирования в плазме высокочастотного разряда на механические и функциональные свойства стали 40х13.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена технологии ионно-плазменного азотирования – методу модифицирования поверхности сталей, необходимого для повышения твёрдости, стойкости к износу и коррозии конечного изделия из стали.

Недостатком этого метода является рост шероховатости поверхности и, как следствие, необходимость последующей обработки шлифованием и полировкой до определённых значений. Актуальность настоящего исследования заключается в поиске оптимального времени азотирования, при

котором достигается минимальное изменение шероховатости поверхности при сохранении функциональных свойств поверхности сталей.

Продуктом исследования является прошедшее обработку азотированием стальное изделие с улучшенными функциональными свойствами и оптимальным значением шероховатости. **Целевым рынком** для данного продукта являются области промышленности, в которых необходимо производство изделий с высоким сроком службы: автомобилестроение, судостроение и инструментальная промышленность. **Потребителями** выступают коммерческие организации, заинтересованные в технологии обработки стальных изделий, позволяющих увеличить срок службы продукта, работающего в агрессивных средах.

Для выявления сегментов рынка, привлекательных для предприятий в области инструментальной промышленности, необходимо произвести сегментирование данного рынка и составить карту сегментирования (рис. 4.1).

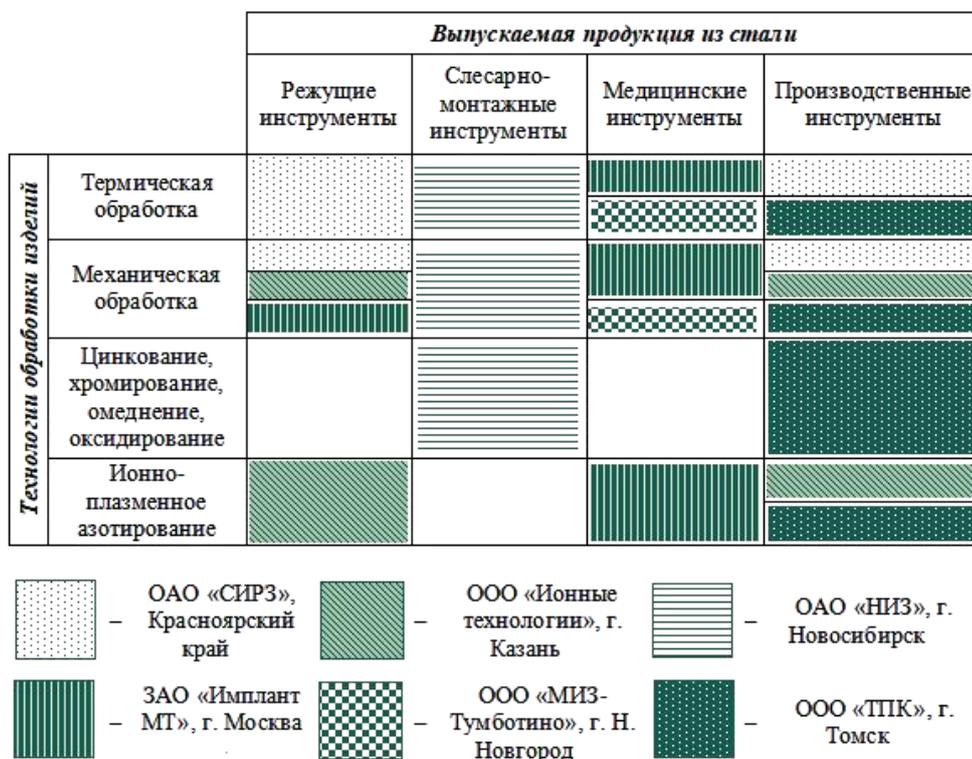


Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка производства инструментов из стали в России

Таким образом, карта сегментирования показывает, что технология ионно-плазменного азотирования является востребованной для обработки режущих, медицинских и производственных инструментов. Данные сегменты рынка инструментальной промышленности могут быть заинтересованы в улучшении технологии ионно-плазменного азотирования посредством исключения механической постобработки изделий.

4.1.2 Анализ конкурентных решений

Данный анализ помогает вносить коррективы в научное исследование и позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки для определения направления для её будущего повышения. Анализ конкурентных решений проводится при помощи оценочной карты, показанной в таблице 4.1. Для этого определяется две конкурентные технологии химикотермической обработки: газовое азотирование (К1) и азотирование в электролитах (К2).

Расчёт показателей конкурентоспособности проводится по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot V_i , \quad (4.1)$$

где B_i – балл i -го показателя;

V_i – вес показателя.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$	K_{ϕ}	$K_{\kappa 1}$	$K_{\kappa 2}$
<i>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</i>							
1. Производительность	0,20	5	1	5	1,00	0,20	1,00
2. Надёжность	0,15	4	4	5	0,60	0,60	0,75
3. Безопасность, экологичность	0,10	5	3	2	0,50	0,30	0,20
4. Простота методики	0,05	3	4	4	0,15	0,20	0,20
5. Возможность автоматизации	0,05	4	5	3	0,20	0,25	0,15
6. Отсутствие постобработки	0,10	5	3	4	0,50	0,30	0,40

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	$B_{\kappa 1}$	$B_{\kappa 2}$	K_{ϕ}	$K_{\kappa 1}$	$K_{\kappa 2}$
<i>Экономические критерии оценки ресурсоэффективности</i>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,10	5	3	4	0,50	0,30	0,40
2. Стоимость технологии	0,15	3	5	4	0,45	0,75	0,60
3. Уровень проникновения на рынок	0,05	5	4	3	0,25	0,20	0,15
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	4	4	0,25	0,20	0,20
Итого	1	44	36	38	4,40	3,30	4,05

Исходя из результатов расчётов можно сделать вывод о том, что предлагаемая технология ионно-плазменного азотирования имеет более высокий показатель конкурентоспособности (4,40) относительно конкурентов (3,30 и 4,05). Это обусловлено следующим рядом факторов: высокая производительность, безопасность и отсутствием постобработки.

4.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) – гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и её перспективность на рынке. Также данный инструмент позволяет принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Результаты анализа указаны в таблице 4.2.

Оценка качества и перспективности определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.2)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; B_i – балл i -го показателя; B_i – вес показателя (в долях единицы).

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,15	95	100	0,95	14,25
2. Надёжность	0,10	85	100	0,85	8,50
3. Безопасность	0,15	85	100	0,85	12,75
4. Функциональные свойства	0,10	70	100	0,70	7,00
5. Отсутствие потребности в последующей обработке	0,05	90	100	0,90	4,50
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	0,10	90	100	0,90	9,00
7. Уровень проникновения на рынок	0,05	40	100	0,40	2,00
8. Перспективность рынка	0,10	70	100	0,70	7,00
9. Стоимость разработки	0,15	50	100	0,50	7,50
10. Наличие сертификации разработки	0,05	40	100	0,40	2,00
Итого	1	715	100	7,15	74,50

Таким образом, средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки составляет 74,5. Полученное значение позволяет говорить о том, что перспективность разработки выше среднего.

4.1.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Данный анализ применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, а также в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям. Результаты анализа приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта С1. Высокая производительность технологии. С2. Уменьшение времени постобработки изделий. С2. Экологичность технологии. С4. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны проекта Сл1. Более сложная технология по сравнению с конкурентными. Сл2. Отсутствие финансирования проекта. Сл3. Большой срок поставки комплектующих установки.
Возможности В1. Использование инновационной структуры ТПУ. В2. Повышение стоимости конкурентных разработок. В3. Появление дополнительного спроса на продукт.	В1С2С3С4. Получение технологии обработки, позволяющей сократить время и затраты на производство и отвечающей требованиям к безопасности. В2В3С1С2. Продвижение технологии на рынок.	В1Сл3. Поиск комплектующих установки или использование другого оборудования на базе ТПУ. В2В3Сл1. Повышение конкурентноспособности технологии. В3Сл2. Поиск дополнительного финансирования.
Угрозы У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации.	У1С1С2С3. Продвижение технологии с целью создания спроса. У2С2. Донесение ценности исследования до потребителей. У3С4. Сертификация и стандартизация технологии.	У1У2Сл1. Риск отвержения рынком разработанной технологии. У2Сл2. Риск остановки исследования. У3Сл3. Риск срыва сроков исследования.

По результатам SWOT-анализа были определены направления реализации проекта и выявлены основные риски исследования. При возникновении вышеперечисленных угроз необходимо задействовать сильные стороны проекта и искать дополнительные возможности для уменьшения рисков.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе необходимо определить структуру работ в рамках исследования. Основными этапами работ являются: разработка технического задания, выбор направления исследования, теоретические и экспериментальные исследования, а также анализ результатов и оформление отчёта.

Работа выполнялась студентом (инженер) под руководством научного руководителя. Структура работ указана в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление плана экспериментов	Руководитель, инженер
	5	Подготовка образцов для экспериментальных работ	Инженер
	6	Проведение эксперимента	Руководитель, инженер
	7	Выполнение расчётов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ и обработка полученных результатов	Инженер
	9	Обсуждение и оценка эффективности результатов	Руководитель, инженер
Оформление отчёта по научно-исследовательской работе	10	Составление пояснительной записки	Инженер
	11	Подготовка к защите работы	Инженер

Таким образом, из 11 задач инженером самостоятельно производятся 6 задач, в сотрудничестве с руководителем – 3, при этом руководитель отвечает за составление технического задания и выбор направления исследования.

4.2.2 Определение трудоёмкости работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (4.3)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ - минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ - максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (4.4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Тогда по формулам 3 и 4 среднее значение трудоёмкости и продолжительность одной работы:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot 21 + 2 \cdot 35}{5} = 26,6 \text{ чел. - дн.},$$

$$T_{р\ i} = \frac{26,6}{2} = 13,3 \text{ раб. дн.}$$

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяжёнными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{Кi} = T_{рi} \cdot k_{кал}, \quad (4.5)$$

где $T_{Кi}$ – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

$T_{рi}$ – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22, \quad (4.6)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Далее необходимо рассчитать длительность работы для каждого участника проекта. Результаты расчётов сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ, чел.-дн.						Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	3 t_{min}		2 t_{max}		$t_{ож}$			Руковод.	Инж.	Руковод.	Инж.
	Руковод.	Инж.	Руковод.	Инж.	Руковод.	Инж.					
Составление и утверждение технического задания	6	–	11	–	8	–	Руководитель	8	–	10	–
Выбор направления исследований и способа решения задач	6	–	11	–	8	–	Руководитель	8	–	10	–
Подбор и изучение материалов по теме	–	21	–	35	–	27	Инженер	–	27	–	33
Составление плана экспериментов	7	7	14	14	10	10	Руководитель, инженер	5	5	6	6
Подготовка образцов для экспериментальных работ	–	7	–	14	–	10	Инженер	–	10	–	12
Проведение эксперимента	7	7	14	14	10	10	Руководитель, инженер	5	5	6	6
Выполнение расчётов	–	6	–	11	–	8	Инженер	–	8	–	10
Анализ и обработка полученных результатов	–	7	–	14	–	10	Инженер	–	10	–	12
Обсуждение и оценка эффективности результатов	7	7	14	14	10	10	Руководитель, инженер	5	5	6	6
Составление пояснительной записки	–	7	–	28	–	20	Инженер	–	20	–	25
Подготовка к защите работы	–	7	–	14	–	10	Инженер	–	5	–	6

На основе таблицы 4.5 строится календарный план-график (таблица 4.6) по максимальному по длительности исполнению работ с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 4.6 – Распределение исполнителей и этапы выполняемых работ

№	Вид работ	Исполнитель	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ															
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	10	■															
2	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель	10		■														
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	33			■	■	■											
4	Составление плана экспериментов	Руководитель	6						■										
		Инженер	6						■										
5	Подготовка образцов для экспериментальных работ	Инженер	12							■									
6	Проведение эксперимента	Руководитель	6								■								
		Инженер	6								■								
7	Выполнение расчётов	Инженер	10																■
8	Анализ и обработка полученных результатов	Инженер	12																■
9	Обсуждение и оценка эффективности результатов	Руководитель	6																■
		Инженер	6																■
10	Составление пояснительной записки	Инженер	25																■
11	Подготовка к защите работы	Инженер	6																■
Итого			136	14 декад															

Обозначения



- Продолжительность работ руководителя.
- Продолжительность работ инженера.

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Длительность работ инженера составляет 166 календарных дней, а руководителя – 38.

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование;
- амортизационные отчисления;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

1. Материальные затраты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Расчёт стоимости материальных затрат (таблица 4.7) производится по действующим прейскурантам.

Таблица 4.7 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Марка, размер, мм	Кол-во	Цена на единицу, руб.	Сумма, руб.
Баллон аргона 5.0 [18]	Ar, 99,999 %	1	8 640	8 640
Баллон азота 5.5 [19]	N ₂ , 99,9995 %	1	7 392	7 392
Баллон водорода 5.0 [20]	H ₂ , 99,999 %	1	6 168	6 168
Подложки их стали	40x13	4	20	80
Всего за материалы				22 280
Транспортно-заготовительные расходы (5 %)				1 114
Итого по статье				23 394

Таким образом, материальные затраты научно-технического исследования составили 23 394 рубля.

2. Расчёт затрат на специальное оборудование

Все использованное оборудование являлось собственностью отделения экспериментальной физики НИИ ТПУ. Необходимо рассчитать амортизационные отчисления для использованного оборудования.

Расчёт амортизации проводился следующим образом:

$$H_a = \frac{1}{n}, \quad (4.7)$$

где n – срок полезного использования (СПИ) в количестве лет.

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_M = \frac{H_a \cdot I}{12}, \quad (4.8)$$

где I – первоначальная стоимость оборудования (ПСО), тыс.руб.

Расчёт амортизационных отчислений приведён в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Амортизационные отчисления

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	СПИ	ПСО, тыс.руб	Норма амортизации	Ежемесячные отчисления, руб
1	Вакуумная установка	1	10	8 000	0,10	66 700
2	Генератор плазмы РПГ-128	1	10	1 000	0,10	8 300
3	Сканирующий электронный микроскоп	1	10	2 000	0,10	16 700
4	Профилометр (Micro Measure 3D Station)	1	12	500	0,08	3 500
5	Твердомер KB-10	1	20	2 000	0,05	8 800
6	Трибометр	1	20	1 000	0,05	4 200
7	Ноутбук	1	5	30	0,2	500
Итого по статье						108 700

Таким образом, амортизационные отчисления научно-технического исследования составили 108 700 рублей.

3. Основная заработная плата исполнителей

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме и дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Календарное число нерабочих дней		
– выходные дни	104	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	45	52
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	202	195

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} , \quad (4.9)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} , \quad (4.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.11)$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Расчёт основной заработной платы представлен в таблице 4.10.

Руководителем в данном случае выступает Сиделёв Д.В. доцент, к.т.н, оклад которого составляет 37 700, оклад инженера примем равным 13 900. Премииальные коэффициент и коэффициент доплат учитывать не будем.

Таблица 4.10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37 700	-	-	1,3	49 010	2 007	38	76 266
Инженер	13 900	-	-	1,3	18 070	866	98	84 868
Итого по статье								161 134

Таким образом, основная заработная плата научно-технического персонала составила 161 134 рублей.

4. Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Таким образом, сумма основной заработной платы участников проекта и дополнительной будет составлять статью затрат расходов на зарплату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}. \quad (4.12)$$

Дополнительная заработная плата:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.13)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (равен 0,15).

Результаты вычислений указаны в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Дополнительная заработная плата исполнителей

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб	76 266	84 868
Дополнительная заработная плата, руб	11 440	12 730
Суммарная дополнительная зарплата, руб	24 170	
Суммарная зарплата, руб	87 706	97 598
Итого по статье, руб	185 304	

Таким образом, дополнительная заработная плата научно-технического персонала составила 24 170 рублей, а суммарная зарплата 185 304 рубля.

5. Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.14)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Результаты вычислений указаны в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Отчисление во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления во внебюджетные фонды
Руководитель	76 266	11 440	26 312
Инженер	84 868	12 730	29 280
Отчисления во внебюджетные фонды	48 340	7 252	
Итого			55 592

Отчисления на социальные нужды составили 55 592 рубля.

6. Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты на управление и хозяйственное обслуживание и расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту

оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Их величина определяется по формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (C_{\text{осн}} + C_{\text{доп}} + C_{\text{внеб}}), \quad (4.15)$$

$k_{\text{накл}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов возьмём в размере 16 %.

Тогда величина накладных расходов:

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (161\,134 + 24\,170 + 55\,592) = 38\,544 \text{ рубля.}$$

7. Формирование бюджета затрат исследования

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведён в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Расчёт бюджета затрат научно-технического исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	23 394
Амортизационные отчисления	108 700
Затраты на основную заработную плату	161 134
Затраты на дополнительную заработную плату	24 170
Страховые взносы	55 592
Накладные расходы	38 544
Бюджет затрат исследования	411 534

Таким образом, бюджет затрат научно-технического исследования составляет 411 534 рубля.

4.3 Определение ресурсной эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта,

так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения. Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трёх (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.16)$$

где $I_{финр}^{исп i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги процесса ионно-плазменного азотирования ($\Phi_{p1} = 411\,534$): технология газового азотирования ($\Phi_{p2} = 371\,880$) и азотирования в электролитах ($\Phi_{p3} = 453\,480$). Расчёт интегрального финансового показателя разработки:

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{411\,534}{411\,534} = 1,$$
$$I_{финр}^{исп2} = \frac{371\,880}{411\,534} = 0,904,$$
$$I_{финр}^{исп3} = \frac{453\,480}{411\,534} = 1,102.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.17)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки;

n – число параметров сравнения.

Далее в таблице 4.14 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта, где аналог 1 – технология газового азотирования, аналог 2 – технология азотирования в электролитах.

Таблица 4.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Быстрота обработки	0,25	5	1	5
Экологичность	0,25	5	3	2
Надёжность	0,15	4	4	5
Безопасность	0,2	4	3	3
Простота эксплуатации	0,15	3	4	4
Итого	1	21/25	15/25	19/20

Расчёт интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,35,$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 1 + 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 2,80,$$

$$I_{p3} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 2 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 3,40.$$

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{фин}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{4,35}{1} = 4,35,$$

$$I_{фин}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_\phi^p} = \frac{2,8}{0,904} = 3,10,$$

$$I_{фин}^{a2} = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{3,4}{1,102} = 3,09.$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{фин}^p}{I_{фин}^{ai}}, \quad (4.18)$$

где $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{фин}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{фин}^{ai}$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

В таблице 4.15 представлена сравнительная эффективность разработки, где аналог 1 – технология газового азотирования, аналог 2 – технология азотирования в электролитах.

Таблица 4.15 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Разра- ботка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,904	1,102
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	2,80	3,40
3	Интегральный показатель эффективности	4,35	3,10	3,09
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,403	1,408

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения, поставленного в данной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение»

1. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» был выполнен анализ конкурентоспособности. Данный анализ подтвердил конкурентоспособность применения технологии ионно-плазменного азотирования в связи с улучшенным временем обработки, экологичностью процесса и исключением последующей обработки.

2. Проведён SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы. Анализ показал, что потенциально сильных сторон у проекта больше, чем слабых, что доказывает перспективность разработок проекта.

3. Установлено, что в календарных днях длительность работ для научного руководителя составило 38 дней, а для инженера 166 дней. На основе временных показателей по каждой из произведённых работ был построен календарный план-график, по которому можно увидеть, что самая продолжительная по времени работа – подбор и изучение материалов по тематике.

4. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 411 534 рубля.

Определены показатели ресурсоэффективности, интегральный финансовый показатель, интегральный показатель эффективности и сравнительная эффективность вариантов исполнения, значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

5. Социальная ответственность

Введение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена модифицированию поверхности изделий, включающей в себя процессы ионно-плазменного азотирования в высокочастотном разряде. Процесс ионно-плазменного азотирования относится к химико-термической обработке поверхности изделий, и предполагают работу с высоким напряжением и различными газами (аргон, азот и водород).

Научно-технической базой для проведения исследования стала лаборатория 101 научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга. При выполнении настоящей бакалаврской работы были использованы: вакуумная ионно-плазменная экспериментальная установка для проведения процессов ионно-плазменного азотирования, ЭВМ, газовые баллоны со сжатым аргоном, азотом и водородом. Приведём анализ вредных и опасных производственных факторов, а также комплекс защитных мероприятий.

5.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Знание и строгое соблюдение правил техники безопасности являются обязательными для всего персонала. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа, и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом [21].

Квалификационной комиссией проводится проверка знаний правил техники безопасности после обучения на рабочем месте. Проверяемому сотруднику, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдаётся удостоверение.

Сотрудник, допущенный к работе на лабораторной экспериментальной ионно-плазменной установке, должен быть не моложе 18 лет, не иметь

медицинских противопоказаний, пройти вводный инструктаж и инструктаж по безопасности труда на рабочем месте. К самостоятельной работе может быть допущен работник после специального обучения и проверки знаний правил электробезопасности, приобретённых навыков и безопасных способов выполнения работы и имеющий не менее II группы по электробезопасности.

Повторную проверку знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с химическими веществами необходимо проводить с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

При введении в эксплуатацию нового оборудования сотрудники, которые будут работать на нем, должны пройти внеплановый инструктаж по правилам эксплуатации и безопасной работе на данном оборудовании.

5.1.2 Организация рабочей зоны исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает чёткий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ, должно располагаться в зоне лёгкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 5.1.

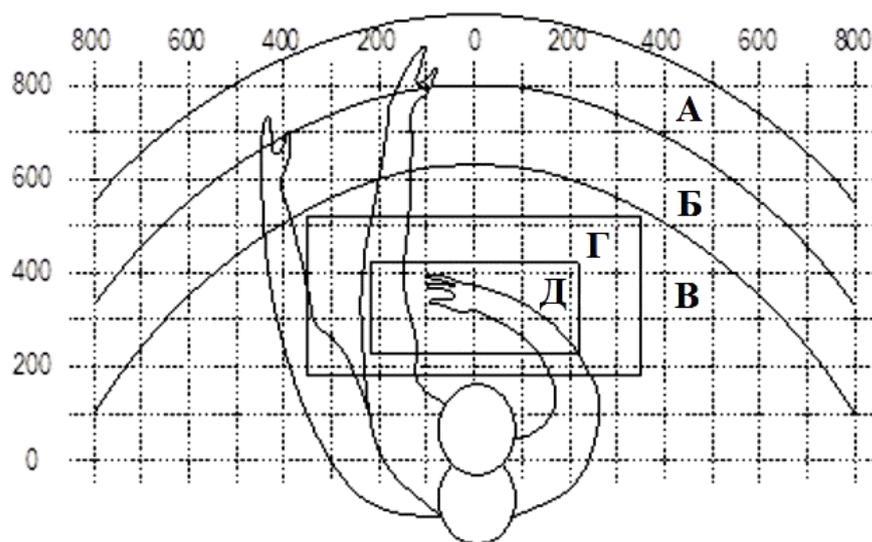


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

А – максимальная досягаемость рук; Б – досягаемость пальцев при вытянутой руке, В – лёгкая досягаемость ладони; Г – пространство для грубой ручной работы; Д – пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне А, в центре;
- клавиатура – в зоне Д, в центре;
- системный блок размещается в зоне Б, слева;
- принтер находится в зоне А, справа;
- слева в зоне В размещается литература и документация, необходимая при работе;
- в выдвижных ящиках стола размещается литература, которая не используется постоянно.

Для проектирования письменного стола должны быть учтены следующие требования:

- высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм;
- высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм;

– рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм;

– пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно–поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем. Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране [22].

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Таким образом, организация рабочего пространства исследователя в лаборатории 101 НОЦ им. Б. П. Вейнберга удовлетворяют требованиям [22].

5.2 Производственная безопасность

При работе на экспериментальной установке, предназначенной для процессов ионно-плазменного азотирования и магнетронного осаждения, имеют место опасные и вредные производственные факторы [23]. Опасные и вредные факторы при работе с экспериментальной установкой и нормативные документы, их регулирующие, сведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при работе с экспериментальной ионно-плазменной установкой

Факторы		Этапы работ			Нормативные документы
Вредные	Опасные	Разработка	Изготовление	Испытание	
Повышенный уровень шума		-	+	-	ГОСТ 12.1.029-80 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация» [24]
Отсутствие естественного света		+	+	+	СанПин 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» [25]
	Электрический ток	-	+	-	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность» [26]
Отклонение показателей микроклимата		+	+	+	СанПин 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [27]
	Использование горючих газов	-	+	+	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность [28]

5.2.1 Опасные и вредные производственные факторы

1. Повышенный уровень шума

Основными источниками шума при работе на ионно-плазменной установке являются вытяжка, форвакуумный спиральный и высоковакуумные турбомолекулярный и криогенный насосы. Вытяжка включается при работе с сильными кислотами и спиртами. Форвакуумный спиральный насос работает во время создания и поддержания вакуума в камере, шум от которого не более

58 дБ [29], что соответствует допустимому уровню шума в лабораториях для проведения научных экспериментов, который не должен превышать 75 дБ [24]. Шум от турбомолекулярного и криогенного насосов также не превышает 50 дБ. Поэтому вклад в изменение уровня шума форвакуумные и высоковакуумные насосы не вносят.

Шум является очень важным фактором, влияющим на организм человека. Повышенный уровень шума вызывает проблемы со здоровьем, например, тугоухость, глухоту, оказывает неблагоприятное воздействие на психику и центральную нервную систему человека. В результате его воздействия у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Под влиянием шума учащаются пульс и дыхание, повышается расход энергии, наблюдаются подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. В целом, можно заключить, что шум снижает работоспособность и производительность труда персонала.

Рекомендуется использовать следующие средства коллективной защиты: акустические экраны, перегородки, объёмные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски. В качестве материалов для шумозащитных экранов применяют минеральную вату, композитные материалы, пластмассы, поликарбонаты, древесина, металлы, кирпичную кладку, бетон.

Таким образом, согласно требованиям [24] уровень шума в лаборатории 101 НОЦ им. Б.П. Вейнберга соответствует допустимому.

2. Освещение

Согласно [25] в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещённость при системе общего освещения должна быть 150 Лк.

Правильно спроектированное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть лёгкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

При анализе структурных и функциональных свойств материалов использовался персональный компьютер. Освещённость на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещённость поверхности экрана должна быть не более 300 лк.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Производственное помещение, где располагается экспериментальная ионно-плазменная установка, имеет следующие параметры (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Параметры помещения

Длина (A), м	Ширина (B), м	Высота (H), м	Высота рабочей поверхности над полом (h_{pn}), м
14,5	9,5	3,7	0,8

Рассчитаем площадь помещения S :

$$S = A \cdot B = 14,5 \cdot 9,5 = 137,75 \text{ м}^2. \quad (5.1)$$

Выбираем светильник ALS.OPL 418 HF ES1 [30], световой поток которой равен $\Phi_{\text{лд}} = 1350$ Лм. Светильник имеет 4 лампы мощностью 18 Вт, длина светильника равна 640 мм, ширина – 640 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1-1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия $h_c = 0,3$ м.

Определяем расчётную высоту светильника над рабочей поверхностью по формуле:

$$h = H - h_c - h_{\text{пл}} = 3,7 - 0,3 - 0,8 = 2,6 \text{ м.} \quad (5.2)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами светильников L рассчитываем по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,6 = 2,86 \text{ м.} \quad (5.3)$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L = \frac{L}{3} = 0,953 \text{ м.} \quad (5.4)$$

Определяем индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{14,5 \cdot 9,5}{2,6 \cdot (14,5 + 9,5)} = 2. \quad (5.5)$$

Зная коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50$ %, свежепобеленного потолка $\rho_{\text{п}} = 70$ % и пола – 20 %, коэффициент использования светильника равен 0,51. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли K_3 равен 1,5. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Тогда количество светильников N , необходимых для установки в лаборатории 101 НОЦ им. Вейнберга равно:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} = \frac{200 \cdot 138 \cdot 1,5}{0,51 \cdot 4 \cdot 1350} = 15,032 = 16, \quad (5.6)$$

где E – требуемая горизонтальная освещённость, лк;

S – площадь помещения, м;

K_3 – коэффициент запаса;

U – коэффициент использования;

$\Phi_{л}$ – световой поток одной лампы, лм;

η – коэффициент использования светильника.

Световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 14,5 \cdot 9,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 4 \cdot 0,51} = 1\,393 \text{ лм.} \quad (5.7)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{лд} - \Phi}{\Phi_{лд}} \leq 20\% = -10\% \leq \frac{1350 - 1393}{1350} \leq 20\%. \quad (5.8)$$

Таким образом: $-10\% \leq -3,19\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Размещаем светильники в 2 ряда по 6 штук. На рисунке 5.2 изображён план размещения светильников с люминесцентными лампами в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга.

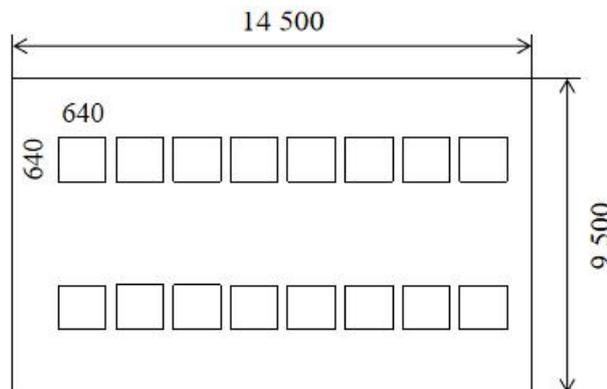


Рисунок 5.2 – План размещения светильников в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга

Таким образом, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона. Освещение в лаборатории 101 НОЦ им. Б.П. Вейнберга согласно [25] соответствует допустимому.

3. Электробезопасность

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 6-16 мА. Защита от воздействия электрического тока осуществляется путём проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий [31]. Источником опасности в помещении лаборатории 101 является ионно-плазменная установка. Так как поражение электрическим током может произойти при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на которых остался заряд или появилось напряжение.

Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия:

- содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;
- своевременно проводить техническое обслуживание;
- соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
- проводить инструктаж для работников.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

- изоляция токоведущих частей;
- малое напряжение в электрических цепях;
- защитное заземление, зануление, защитное отключение;
- применение разделяющих трансформаторов;

– использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;

– защитные средства и предохранительные приспособления.

Согласно [31] помещения по электробезопасности помещения классифицируются следующим образом.

– безопасные;

– с повышенной опасностью;

– особо опасные.

Используемое помещение относится к классу помещений с повышенной опасностью, так как в данном помещении возможно одновременное прикосновения человека к имеющей соединение с землёй металлоконструкцией здания с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой стороны. Также присутствует ядовитый взрывоопасный газ. Граничные значения напряжений, при повышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения для помещений с повышенной опасностью составляет >25 В переменного тока и >60 В постоянного тока [32].

В лаборатории 101, где проводилась работа на ионно-плазменной установке, имеются следующие индивидуальные средства защиты:

– основные: изолирующие клещи и электроизмерительные указатели напряжения, диэлектрические перчатки;

– дополнительные: диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки.

Таким образом, лаборатория 101 НОЦ им. Б.П. Вейнберга относится к классу с повышенной опасностью, поэтому там предусмотрено наличие индивидуальных средств защиты.

4. Отклонение показателей микроклимата в помещении

При работе установки включены охлаждающие системы и одновременно с этим процессом происходит нагрев вакуумной камеры, что

приводит к изменению микроклимата в помещении. Параметрами, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Выполняемые работы относятся к Іб категории работ. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121–150 ккал/ч (140–174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением. Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не превышает 45 °С.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость воздуха, м/с движения
Холодный	21-23	60-40	0,1
Теплый	22-24	60-40	0,1

Для создания оптимальных метеорологических условий применяется кондиционер, который поддерживает оптимальные параметры микроклимата автоматически, независимо от меняющихся условий. В холодное время года для поддержания в помещении оптимальной температуры воздуха применяется отопление.

Рассчитаем объем помещения:

$$V = S \cdot H = 137,75 \cdot 3,7 = 509,68 \text{ м}^3. \quad (5.9)$$

Кратность воздухообмена для производственных помещений согласно [33], определяется как:

$$K_B = \frac{L_{\text{возд}}}{V_{\text{помещ}}}, \quad (5.10)$$

где $L_{\text{возд}}$ – расчётный воздухообмен помещения, м³/ч;

$V_{\text{помещ}}$ – объем помещения, м³.

Расчётный воздухообмен помещения вычисляют по формуле:

$$L = L_0 \cdot N, \quad (5.11)$$

где L_0 – нормативный воздухообмен на 1 человека, м³/(чел·ч);

N – количество людей в помещении.

Для лабораторий нормативный воздухообмен на 1 человека в производственных помещениях с естественным проветриванием составляет 30 м³/(чел·ч) [33], в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга Томского политехнического университета постоянно находятся 7 человек, однако в лаборатории также регулярно пребывают студенты, поэтому рассчитаем воздухообмен для 15 человек.

$$L = 30 \cdot 15 = 450 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.12)$$

Следовательно, кратность воздухообмена равна

$$K_B = \frac{450}{509,68} \approx 0,88 = 1. \quad (5.13)$$

Подберём систему кондиционирования со следующей производительностью:

$$L = 1 \cdot 509,68 = 510 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5.14)$$

Выбран вентилятор с производительностью 750 м³/ч [34].

Таким образом, лаборатория 101 НОЦ им. Б.П. Вейнберга соответствует требованиям по микроклимату [33].

5. Использование горючих газов

Пожар – неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб и способное вызвать травмы и гибель людей.

Согласно [38] выделяют следующие опасные факторы пожара.

1. Открытый огонь и искры.
2. Повышенная температура окружающей среды.
3. Токсичные продукты горения полимерных материалов.
4. Пониженная концентрация кислорода.
5. Дым.
6. Обрушение конструкций.

Помещения подразделяются на категории (таблица 5.5) А, Б, В1 – В4, Г и Д, а здания разделяются на категории А, Б, В, Г и Д [39].

Таблица 5.5 – Классификация по степени пожаровзрывоопасности [39]

Категория	Характеристика веществ и материалов помещения, находящихся (образующихся) в помещении
А	Горючие газы (ГГ), легковоспламеняющиеся взрывопожароопасные жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парагазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчётное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
Б	Горючие пыли или волокна, ЛВЖ взрывопожароопасные с температурой вспышки более 28°С, горючие жидкости (ГЖ) в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчётное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
В1-В4	ГЖ и трудногорючие жидкости, твёрдые пожароопасные горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), веществ и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б.
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскалённом или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; ГГ, ГЖ и твёрдые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

К пожароопасной категории В следует относить помещения, в технологическом процессе которых находятся или обращаются горючие материалы, при этом уровень пожарной опасности учитывается введением такого критерия как пожарная нагрузка и устанавливается дифференцированной классификацией, в соответствии с которой помещения категории В разделяются на 4 категории (В1, В2, В3, В4) в зависимости от удельной временной пожарной нагрузки (в помещении).

Лаборатория 101 научно-образовательного центра им. Б.П. Вейнберга относится к категории помещения В4, удельная пожарная нагрузка в котором составляет 180 мДж/м².

Приведём классификацию пожароопасных зон в таблице 5.6 [39].

Таблица 5.6 – Классификация взрывоопасных зон [39]

Класс	Характеристика помещения
П-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с $T_{всп.}$ выше 61°C.
П-II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с НКПВ более 65 г/м ³ к объёму воздуха.
П-IIa	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твёрдые горючие вещества.
П-III	Расположенные вне помещений зоны, в которых обращаются горючие жидкости с $T_{всп.}$ выше 61°C или твёрдые горючие вещества

Таким образом, лаборатория 101 научно-образовательного центра им. Б.П. Вейнберга относится к П-IIa классу.

5.2.2 Снижение воздействия опасных и вредных факторов

Условия эксплуатации вакуумной установки:

- численность работающих на установке: 2-4 человека;
- производственный шум: менее 75 дБ;
- уровень вибрации: отсутствует;

- загрязненность и запыленность воздушной среды: отсутствует;
- влажность воздуха: 45%;
- скорость движения воздуха: 0,2 м/с;
- электромагнитные излучения: отсутствуют;
- классификация помещения по степени опасности поражения электрическим током: повышенной опасности;
- наличие химических веществ в сжатом виде в отдельных секторах с дополнительной вентиляцией.

В производственном помещении, где расположена вакуумная установка, оптимальные величины температуры воздуха и его относительной влажности соблюдаются. Повышенная скорость движения воздуха объясняется постоянной работой вытяжной вентиляции, которая обеспечивает удаление из помещения загрязненного воздуха, поскольку в ходе технологического процесса и при обслуживании установки в воздухе присутствуют пары этилового спирта (используется для обезжиривания компонентов установки).

Для защиты от высокого напряжения, формируемому узлами установки, используются коллективные и индивидуальные средства защиты. Предлагаемыми средствами коллективной защиты от данного опасного фактора являются: информационные таблички, размыкатели и встроенная в генераторе система отключения при коротком замыкании, защитное заземление. В качестве средств индивидуальной защиты должны использоваться диэлектрические перчатки, штанги для снятия остаточного напряжения, и диэлектрические коврики [32].

5.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях

В данном помещении используются (обращаются) негорючие вещества и горючие газы, жидкости и твёрдые вещества. Также в данном помещении расположены баллоны с инертными и реакционными газами (азот, аргон, водород, кислород).

В таблице 5.7 приведены возможные аварийные ситуации (АС) и чрезвычайные ситуации (ЧС), которые могут возникнуть в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга.

Таблица 5.7 - Возможные АС и ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга, меры по предосторожности, меры по ликвидации последствий

№	Тип ЧС	Меры предосторожности	Меры по ликвидации последствий
1	Пожар	<ul style="list-style-type: none"> – использование только исправного оборудования; – проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности; – отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ. 	<ul style="list-style-type: none"> – вызвать пожарный расчёт (тел. 01, моб. 101, 112); – отключить электропитание, выключить вентиляцию; – закрыть двери и окна, чтобы убрать доступ кислорода для горения; – воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ВП, УК или П) или песком. При невозможности – начать эвакуацию людей из помещения; – сообщить о пожаре администрации лаборатории и института.
3	Пожар, вследствие короткого замыкания в цепях электропитания оборудования	<ul style="list-style-type: none"> – проведение периодических инструктажей по электробезопасности; – содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами. 	<ul style="list-style-type: none"> – обесточить ионно-плазменную установку, переместив в нижнее положение ручку рубильника; – отключить подачу водоохлаждения; – вызвать МЧС (моб. 112).
3	Удушье человека или взрыв вследствие разгерметизации баллонов	<ul style="list-style-type: none"> – проведение периодических инструктажей по работе с газовыми баллонами; – устанавливать баллоны вертикально и на расстоянии не менее 1 метра от радиаторов и не менее 5 метров от источников тепла с открытым огнём [40]. 	<ul style="list-style-type: none"> – покинуть помещение, оставив включённой вентиляцию до полного исчезновения запаха; – вызвать МЧС (моб. 112).

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе были рассмотрены вредные и опасные факторы при эксплуатации экспериментальной ионно-плазменной установки, а именно: повышенный уровень шума [24]; освещение [25]; микроклимат [27], электробезопасность [31]; повышенная пожаро- и взрывоопасность [39].

Помещение 101 НОЦ им. Б.П. Вейнберга отнесено:

– по электробезопасности к II классу помещение с повышенной опасностью [31];

– по пожаровзрывоопасности к категории В4 [39].

Приведены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в лаборатории 101 НОЦ Б.П. Вейнберга, меры по предосторожности и меры по ликвидации последствий.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе рассмотрено влияние длительности ионно-плазменного азотирования в высокочастотном разряде на структурные и функциональные свойства стали 40х13.

1. Исследование кристаллической структуры после азотирования стали показало образование нитридов CrN и твёрдых растворов γ' -Fe₄N и ϵ -Fe₃N при обработке в течение 5 мин.

2. Шероховатость поверхности повышается с увеличением длительности азотирования. С учётом данных по функциональным свойствам стали после азотирования оптимальная шероховатость образцов для последующего нанесения покрытий (т.е. для последующей реализации дуплексной технологии) достигается при длительности азотирования стали 40х13 при 480 °С в течение 10 мин.

3. В диапазоне времени азотирования от 2 до 20 мин твёрдость поверхности плавно растёт. Твёрдость азотированной поверхности приблизительно в 7 раз (14,1 ГПа) превышает твёрдость исходной стали (2,3 ГПа) при длительности обработки в 20 мин. Оптимальная твёрдость покрытия для последующего нанесения покрытия достигается при длительности процесса обработки, как минимум, от 5 мин (9,5 ГПа).

4. Исследование износостойкости поверхности стали 40х13 после азотирования показало, что данный параметр имеет сильную зависимость от длительности азотирования ввиду изменения фазового состава поверхности. Оптимальная длительность азотирования составляет 10 мин.

5. Исследования коррозионной стойкости образцов из стали 40х13 показали повышение скорости коррозии после азотирования. Установлено, что наибольшей стойкостью к коррозии обладает образец, азотирование которого выполнялось в течение 5 мин, что вызвано формированием на его поверхности нитридного слоя. Увеличение длительности азотирования приводит к снижению коррозионной стойкости.

Список использованной литературы

1. Ю.М. Лахтин, В.Н. Гурашев, Я.Д. Коган, Г.В. Гладова, Т.К. Кантерина, В.А. Бородин, А.Н. Мальшаков Надёжность в технике. Методы выбора, регулирования и контроля сред для газового и жидкостного азотирования: методические указания. – М.: Издательство стандартов, 1980.
2. Берлин Е.В., Коваль Н.Н., Сейдман Л.А. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. – М.: Техносфера, 2012, 464 с.
3. М.В. Майсурадзе, М.А. Рыжков, С.В. Беликов, О.Ю. Корниенко, М.С. Карабаналов, А.Ю. Жилияков Цементация, нитроцементация и азотирование стальных изделий: учебное пособие – М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021, 102 с.
4. Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г.И. Шпис, З. Бёмер Теория и технология азотирования: учебник для высших технических заведений. – М.: Metallurgiya, 1991, 320 с.
5. Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990, 528 с.
6. О.И. Клименко Азотирование стали 40х13 в плазме высокочастотного разряда: магистерская диссертация. – Т.: НИ ТПУ, 2021, 127 с.
7. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряд. – Харьков: Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт». – 2006, 364 с.;
8. M.T. Umemura, L.B. Varela, C.E. Pinedo, R.C. Cozza, A.P. Tschiptschin. Assessment of tribological properties of plasma nitrided 410S ferritic-martensitic stainless steels. Wear, Volumes 426-427, Part A, 2019 (<https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.12.092>.)

9. Е.Д. Воронина Влияние длительности азотирования при дуплексной обработке поверхности на свойства аустенитной стали 40х13: бакалаврская работа. – Т.: НИ ТПУ, 2022, 106 с.

10. ГОСТ 5632-2014. «Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.»

11. Markistali [Электронный ресурс] // Нержавеющие стали: [сайт] – Режим доступа: <https://markmet.ru/strukturi-stalei/360?page=1&ysclid=1899r18dd539095302>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 20.09.2022)

12. Berlin E. V., Grigoryev V. J. Plasma generator. US Patent 9,704,691 (2017);

13. Громилов С. А. Введение в рентгенографию поликристаллов // Учебное методическое пособие. – Новосибирск: НГУ. – 2009

14. Курзина И.А. К93 Рентгенофазовый анализ нанопорошков. Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Отрасли nanoиндустрии. Области применения наноматериалов» для магистрантов, обучающихся по направлению 150600 «Материаловедение и технология новых материалов» / сост. Курзина И.А., Годымчук А.Ю., Качаев А.А. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 14 с.

15. ПТИ 899–ЦКЛК–145–2013 «Работа на инвертированном микроскопе отражённого света Axiovert 200MAT. Производственно–техническая инструкция»

16. Нанотвердомер NHT2. Руководство по эксплуатации NHT2 -02РЭ;

17. Жерин И.И. Основы Электрохимических методов анализа / И.И. Жерин [и др.]. - Томск: Томский политехнический университет, 2013. - 101 с.

18. Наполнение баллона аргоном N2 5.0, 99,999 %, 50 литров [Электронный ресурс] // Интернет-магазин «Tomsk s-gas.com»: [сайт] URL: https://tomsk.s-gas.com/catalog/gazy/chisty_e_gazy/argon_ar/argon_5_0/16381/, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 20.09.2022).

19. Наполнение баллона азотом N₂ 5.5, 99,9995 %, 50 литров [Электронный ресурс] // Интернет-магазин «Tomsk s-gas.com»: [сайт] URL: https://tomsk.gas.com/catalog/gazy/chistye_gazy/azot_n2/azot_5_5/?calculator=Y&iid=17128, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 20.09.2022).

20. Наполнение баллона водород H₂ 5.0, 99,999 %, 50 литров [Электронный ресурс] // Интернет-магазин «Tomsk s-gas.com»: [сайт] URL: https://tomsk.gas.com/catalog/gazy/chistye_gazy/vodorod_h2/vodorod_5_0/?calculator=Y&iid=17089, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 20.09.2022).

21. ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения

22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)

23. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

24. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

25. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»

26. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность»

27. СанПин 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

28. ГОСТ 12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

29. Спиральный вакуумный насос Anest iwata ISP-250C [Электронный ресурс] // Интернет-магазин «Вакуум-маркет» URL: <https://vacuum-market.ru/catalog/vakuumnye-nasosy/spiralnye/anest-iwata-isp-250s/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 20.09.2022).

30. Светильник ALS.OPL 418 HF ES1 [Электронный ресурс] // Интернет-магазин «ЭТМ» URL: <https://www.etm.ru/cat/nn/2423476>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 20.09.2022).

31. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

32. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

33. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»

34. Приточная установка ФЬОРДИ ВПУ-800/9 кВт/3-GTC (380В) [Электронный ресурс] // Интернет-магазин «Благовест» URL: https://blagovest.ru/catalog/ventilyatsionnye_ustanovki/pritochnye_ustanovki/fordi_vpu/pritochnaya_ustanovka_fordi_vpu_800_9_kvt_3_gtc_380v/, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 20.09.2022).

35. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

36. ГОСТ 10157-2016 Агон газообразный и жидкий. Технические условия

37. ГОСТ 9293-74 Азот газообразный и жидкий. Технические условия

38. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

39. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывоопасной и пожарной безопасности

40. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Инструкция по охране труда при хранении и эксплуатации газовых баллонов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200039245>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 20.09.2022).