

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

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки – 15.04.01 Машиностроение
Отделение школы (НОЦ) – Отделение Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Об особенностях ионно-плазменного азотирования внутренних поверхностей протяженных отверстий в деталях.

УДК 621.585.532:621.882.15-024.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Каримов Алиёрбек Камилович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гончаренко И.М.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Старикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Т.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Коростелева Е.Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
15.04.01 «Машиностроение»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р1	Способность демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания физико-химических и технологических основ напыление покрытий и применять их для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне
Р2	Способность планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своей специализации с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы, использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
Р3	Способность интегрировать знания различных и смежных видов деятельности и решать задачи, требующие абстрактного мышления и оригинальности анализа для концептуализации инженерных моделей выбранного технологического направления
Р4	Способность оценивать экономическую эффективность новых разработок и их инновационную направленность, выполнять требования по защите окружающей среды

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

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки – 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) – Отделение Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Е.Н. Коростелева

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Каримов Алиёрбек Камилович

Тема работы:

Об особенностях ионно-плазменного азотирования внутренних поверхностей протяженных отверстий в деталях.
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является: Образцы сталей 40X, 40X13
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Изменения функциональных свойств поверхности материалов. Основные характеристики и методы реализации.2. Экспериментальное оборудование, материалы и методики исследований.3. Особенности формирования упрочненного слоя при ионном азотировании внутренних поверхностей протяженных отверстий в деталях.
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Е.В.
Социальная ответственность	Раденков Т.А.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Демьяненко Н.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основная часть, Литературный обзор, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», Социальная ответственность – русский язык	
На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:	
Литературный обзор	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гончаренко И.М.	канд.тех.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Каримов А.К.		

Реферат

Диссертация предоставлена 116 страницами, 27 рисунков, 26 таблицы, список литературы из 32 приложение.

Ключевые слова: вакуум, азотирование, температура, ионно-плазменная обработка, диффузионный слой, микро твердость, полый катод.

Цель настоящей работы изучения особенности азотирования в плазме тлеющем разряда внутренней поверхности протяженных отверстий в деталях для двух типов сталей.

Для достижения поставленной цели было необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Подбор режимов тлеющего разряда, при которых происходит равномерная обработка внутренней поверхности цилиндрических полостей (нагрев деталей, измерения температуры, давления, продолжительность процессов).
- 2) Измерения твёрдости и глубину азотированного слоя в зависимости от материала, обрабатываемого стали и зависимости от параметров процесса (от диаметра полости и параметра процесса).

По экспериментальным данным измерений физико-механических свойств азотированных слоев аргументировать преимущества и ограничения данного метода.

Диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016, презентация выполнена в редакторе Microsoft PowerPoint 2016.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	10
ГЛАВА 1. ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ	13
1.1 Об основных технологиях химико-термической обработки металлов.....	13
1.2 Основные методы азотирования стальных деталей.....	15
1.3 Азотирования в газовых средах.....	19
1.3.1 Тлеющий разряд.....	19
1.3.2 Эффект полого катода.....	22
1.3.3 Равномерность прогрева катода.....	24
1.3.4 Устойчивость разряда и приходные процессы.....	24
1.4 Постановка задачи и цели работы.....	25
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ	26
2.1 Особенности (Специфика) закрепления экспериментальных образцов в оснастке для азотирования.....	26
2.2 Физико-химические свойства и характеристики применяемых газов.....	28
2.3 Материалы для исследования.....	29
2.4 Методика определение упрочнённых слоев.....	30
2.5 Особенности проведения эксперимента.....	36
ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПРИ ИОННОМ АЗОТИРОВАНИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ	38
3.1 Схема технологического процесса азотирования в тлеющем разряде.....	38
3.2 Исследование нагрева поверхности полости от параметров разряда.....	40
3.3 Изменение интенсивности нагрева катода при повышении давление.....	42
3.4 Модернизация электродной системы для азотирования полостей в плазме тлеющего разряда с дополнительным анодом.....	45
3.5 Влияние режимов азотирования в полости на эффективность упрочнения сталей 40X13 и 40X.....	47
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРС ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	54
4.1 Введение.....	54
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения.....	56
4.3 4.3SWOT-анализ.....	58
4.4 Инициация проекта.....	60
4.4.1 Цели и результаты проекта.....	60

4.4.2	Организационная структура проекта.....	62
4.4.3	Ограничения и допущения проекта.....	64
4.4.4	Контрольные события проекта.....	64
4.4.5	Бюджет научного исследования.....	67
4.4.6	Затраты на специализированное оборудование.....	69
4.4.7	Затраты на электроэнергию.....	71
4.4.8	Матрица ответственности.....	73
4.4.9	Реестр рисков проекта.....	73
4.4.10	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	74
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....		76
5.1	Техногенная безопасность.....	77
5.1.1	Анализ вредных факторов производственной среды.....	77
5.1.2	Метеоусловия.....	77
5.1.3	Вредные вещества.....	79
5.1.4	Производственный шум.....	80
5.2	Освещенность.....	81
5.3	Анализ опасных факторов производственной среды.....	84
5.3.1	Факторы электрической природы.....	84
5.3.2	Электробезопасность.....	86
5.3.3	Давление.....	87
5.4	Региональная безопасность.....	88
5.4.1	Защита атмосферы.....	89
5.5	Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	89
5.5.1	Факторы пожарной и взрывной природы.....	91
5.5.2	Организационные защитные мероприятия.....	95
5.5.3	Меры по технике безопасности на рабочем месте.....	95
	Вывод к пятому разделу.....	97
	Основные выводы по всей работе.....	98
	Список литературы.....	99
	Приложения А.....	103

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

ХТО – химико-термическое обработка;

ИПА – ионное плазменное азотирования;

ВАХ – вольт амперная характеристика;

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 10157-79-«Аргон газообразный и жидкий. Технические условия»

ГОСТ 949-73-«Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на $P_p \leq 19,6$ МПа (200 кгс/см кв.). Технические условия»

ГОСТ 26460-85-«Продукты разделения воздуха. Газы. Крио продукты. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение»

ГОСТ 12.1.003-83 – «Шум. Общие требования безопасности»;

СНиП 23-03-2003 – «Защита от шума»;

ФЗ-123 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность»;

ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность»;

ГОСТ 12.3.002-75 «Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные»;

ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарные и гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне».

ВЕДЕНИЕ

Наибольшее предпочтение в последние годы отдается технологическим процессам, основанным на использовании ионных и плазменных потоков. Одним из наиболее существенных достоинств ионно – плазменных технологий является точность и эффективность управления технологическими параметрами процесса. Среди большого разнообразия технологических способов обработки деталей потоками заряженных частиц следует выделить одно из основных направлений, которое позволяет существенным образом изменять свойства на глубине несколько сотен микрон от поверхности: изменение состава поверхностного слоя металла, основанное на диффузионных химико – термических процессах. ХТО (химико – термическая обработка) сочетает в себе термическое и химическое воздействие на металлы и сплавы и заключается в процессе диффузионного насыщения поверхностного слоя материала различными химическими элементами (твердыми материалами Cr, Al, Si и газами C, N, O, B и др.). При данном методе обработки происходит изменение не только химического состава, но и, как следствие фазовых превращений, структуры металла, что позволяет получить большое различие между свойствами сердцевины и поверхности.

Среди большинства методов ХТО, изученных и известны к настоящему времени, азотирование является наиболее распространенным и применяемым, наравне с цементацией и ТВЧ-закалкой, способом упрочнения в машиностроении. Данный метод поверхностной обработки при температурах порядка $T \sim 500$ °C (не выше) позволяет значительно увеличить твердость и износостойкость обрабатываемых изделий, а также обеспечить высокую коррозионную стойкость в агрессивных средах. Наиболее современными и эффективными на сегодняшний день являются процессы в жидких расплавах солей и в плазме тлеющего разряда.

Однако, на реальном производстве при изготовлении той или иной продукции, где могли бы быть использованы достижения вакуумно-плазменных методов, в настоящее время часто предпочитают применять традиционные, проверенные годами, но морально устаревшие технологии, например, вместо ионно-плазменного азотирования - традиционная цементация стальных деталей в твердом карбюризаторе с последующей поверхностной закалкой токами высокой частоты. Другой пример - гальваническое нанесение покрытий (допустим, хрома) на внутреннюю рабочую поверхность полостей каких-либо деталей. Данное обстоятельство вызвано, вероятно, недостаточной на настоящий момент изученностью эффективности вакуумных способов плазменной обработки для каждого конкретного случая, либо, неудовлетворительными результатами отдельных эпизодических случаев применения каких-либо способов обработки реальных изделий.

В связи выше изложенным, актуальными становятся задачи разработки новых подходов и принципов организации технологий ионно-плазменного азотирования, применяемых для обработки тех или иных видов поверхностей реальных машиностроительных деталей. В частности, очень актуальной является тема упрочнения в тлеющем разряде внутренних полостей различной конфигурации и сечения, а также разработки и внедрения новых видов оборудования, гарантирующих при их использовании действительный положительный результат улучшения свойств изделий. Именно изучению этих вопросов посвящена предлагаемая к защите данная выпускная квалификационная работа.

В первой главе проведен литературный обзор, в котором дан анализ методов азотирования качества получаемых слоёв и с новым характеристикам для оборудования проведения процесса азотирования. Во второй главе представлены материалы и оборудования который использовались в ходе выполнения данной работе обоснован их выбор. В третьей главе приведены экспериментальные результаты исследования

упрочнения полостей различного диаметра, показана особенностей процессов установлении связи параметров технологического процесса с характеристиками упрочнённого слоёв.

На протяжении всей работы проводится анализ процессов упрочнения в тлеющем разряде, как в части исследования явлений и закономерностей, происходящих в плазме, так и в части изменения свойств внутренней поверхности обрабатываемых материалов. Экспериментальные исследования были выполнены на оборудовании лаборатории плазменной эмиссионной электроники Института сильноточной электроники СО РАН г. Томск.

ГЛАВА 1. ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ.

Изменить свойства поверхности в необходимом направлении можно различными способами и эти способы можно разделить на два вида;

- 1) Нанесения на поверхность нового материала с необходимыми свойствами;
- 2) Изменения состава поверхностного слоя металла, обеспечившего желаемое изменение свойств [19];

В первом случае применяют такие как хорошо известные покрытия, как гальванические, химические, наплавочные и др. На поверхность металлических сплавов наносят и неметаллические материалы эмаль, краску, различного рода синтетические материалы [3].

Во втором случае поверхностные слои металла подвергает диффузионный химико-термический обработке (ХТО), в результате которой поверхности изделия образуется новый отличающийся от сердцевины сплава.

ХТО позволяет получить в поверхностном слое изделия сплав практически любого состава и, следовательно, обеспечить комплекс необходимых свойств-физических, химических, механических и др.

В наставший время накоплен большой опыт по применению различных видов и методов ХТО таких как цементация, борирование и азотирования [3.19].

1.1. Об основных технологиях химико-термической обработки металлов.

Любой процесс ХТО включает в себя три основные стадии [2]:

1. реакции, протекающие во внешней среде (образование активного газа);
2. адсорбцию и абсорбцию атомов газа на металлической поверхности;
3. диффузию – перемещение адсорбированных атомов внутри металла;

Цементация - этот процесс широко применяют в промышленности. Он позволяют создавать на рабочей поверхности детали слой, обладающий высокой твёрдостью, износостойкостью, эрозионной стойкостью, контактной выносливостью. Основные особенности процесса: подвергаются обработке в основном малолегированные углеродистые стали, температура насыщения $T \sim 900-1000$ °С, толщина слоев $d \sim 1,0-3$ мм, при массе садки 600-700 кг, требует последующей закалки, шлифовки и полировки. На сегодняшний день существует несколько способов цементации таких как в твердом карбюризаторе, газовом карбюризаторе, кипящим слое, растворах электролитов и в пастах. Цементации подвергают низкоуглеродистые (обычно до 0,25 % С) и легированные стали, процесс в случае использования твёрдого карбюризатора проводится при температурах 900—950 °С, при газовой цементации (газообразный карбюризатор) — при 850—900 °С. Как правило организованная цементация поверхностного слоя стальной детали продолжается от 5 до 14–15 часов [2].

Борирование - насыщение поверхностных слоев металла и сплавов бором. Проводят преимущественно с целью повышения их поверхностной твёрдости и износостойкости и коррозионной стойкости. Упрочнение поверхностного слоя и его толщины процессом борирования можно получить различными способами к примеру герметичных контейнерах при температуры 900-1050 °С в 2-6 ч можно получить 50-300 мкм, а жидком (электролизный) способе при 800-1000 °С в 2-6 ч можно получить 60-450 мкм. Газовом (без электролизный) при 900-1050 °С 2-6 можно получить 40-250 мкм. Твёрдость и толщина слоев зависит от состава смеси газов. Обработка стальной детали бором осуществляется при температуре в 900–950 °С. Цель процедуры – повышение стойкости к износу и прочности детали. Толщина слоя может составлять от 0,05 до 0,15 мм. Он обладает отличными

показателями стойкости к воздействию различных абразивных веществ, не поддается коррозии [2].

Алитирование-процесс диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов алюминием с целью повышением жаростойкости коррозионной и эрозионной стойкости. В настоящее время алитирования подвергают углеродистые и легированные стали, чугуны, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы, тугоплавкие металлы и сплавы на их основе титан, медь и другие материалы. Разработано много методов алитирования, однако промышленное применение нашли в основном три: порошковых смесях, в ваннах с расплавленным алюминием и металлизация поверхности металлов и сплавов алюминием с последующим диффузионным отжигом [2].

Из всех известных методов ХТО наиболее широко распространённая и технологические оборудования связано с азотированием [19].

Азотирование- заключается в насыщении поверхностного слоя стали азотом при нагреве соответствующей среде от 500 до 1200 °С. Бывают два вида: низко температурное до 500 и высоко температурное свыше 600 до 900 (для титана и высоколегированных сталей) [12.18].

В результате азотирования сталь приобретает высокую твердость от 600 до 1300 кг/мм², зависит от легирования на поверхности, не изменяющуюся при нагреве до 400-450 °С; низкую склонность к задирам и высокую сопротивляемость износу; высокую предел выносливости и кавитационную стойкость; хорошую сопротивляемость коррозии в атмосфере, пресной воде и паре[2.6.8].

В процессе азотирования обрабатываемые изделия испытывают небольшие (незначительные) деформации.

1.2. Основные методы азотирования стальных деталей

Методы азотирования часто различают по агрегатному состоянию азота в исходном состоянии:

- жидкий: Карбонитрирование (цианирование) в расплаве солей
- газообразный: Газовое азотирование и карбонитрирование
- ионизированный газ: азотирование и карбонитрирование в плазме тлеющего разряда рис 1.1.

Часто для активации процессов в газовых средах используют различные виды разрядов. Наиболее широко распространенным и часто применяемым в машиностроении методом упрочнения сталей является азотирование в условиях тлеющего разряда – ионное азотирование. Чаще всего данный процесс осуществляется в среде трех газов (Азот, Аргон, Метан). За счет распыляющего действия ионизованного газа насыщение в тлеющем разряде осуществляется в интенсивнее по сравнению с другими методами азотирования [6]. В результате бомбардировки положительно заряженными ионами происходит нагрев обрабатываемой поверхности. А поэтому в данном случае исключается использование специальных технологических узлов для дополнительного нагрева обрабатываемых деталей [2.9.13].

Азотированию могут быть подвергнуты стали различных структурных классов: конструкционные, инструментальные, перлитные, ферритные, аустенитные, жаропрочные, мартенситно - стареющие и др [26]. Процесс азотирования, широко применяемый в промышленности, позволяет значительно повысить такие важные характеристики как прочность, твердость, износостойкость, сопротивление усталости и коррозии сталей и сплавов [22].

При азотировании металла образуются многослойные диффузионные слои, состоящие из поверхностной зоны химического соединения, часто называемой белым слоем и диффузионного подслоя – зоны внутреннего азотирования. При азотировании железа образуются фазы в виде последовательных слоев $\alpha \rightarrow \gamma' (\text{Fe}_4\text{N}) \rightarrow \varepsilon (\text{Fe}_{2-3}\text{N})$, располагающихся соответственно диаграмме состояния Fe – N. Зона химических соединений чаще всего представлена двумя нитридами: типа ε – фазы с твердостью 150 –

300 HV и типа γ' - фазы, имеющей более высокую твердость ~ 550 HV по сравнению с ϵ - фазой (400 HV), которая является достаточно хрупкой. Поэтому зону соединения называют нитридной. Свойства нитридной зоны определяются ее толщиной и фазовой однородностью. В зависимости от соотношения γ' - и ϵ - фазы, от степени легированности стали нитридообразующими элементами (алюминий, титан, хром, ванадий и др.), а также концентрации азота в этих фазах твердость нитридной зоны находится в пределах 1000 – 1500 HV [2]. Легирование, к примеру, γ' - фазы титаном и особенно алюминием позволяет повысить ее твердость до 1100 – 1200 HV. Диффузионная зона представляет из себя гетеро фазную зону на базе высоко азотистого α – твердого раствора с избыточными выделениями нитридов γ' - фазы или специальных нитридов [20]. Основными показателями, характеризующими диффузионный слой являются: поверхностная твердость; распределение твердости по толщине нитридной зоны и зоны внутреннего азотирования; градиент изменения твердости на единицу толщины слоя (ΔH / ед. длины); эффективная толщина слоя. Твердость диффузионной зоны ниже, чем нитридной и монотонно спадает от границы двух зон слоя до значений твердости не азотированной стали. Режимы азотирования и количество легирующих элементов в значительной степени влияют на твердость диффузионной зоны [5].

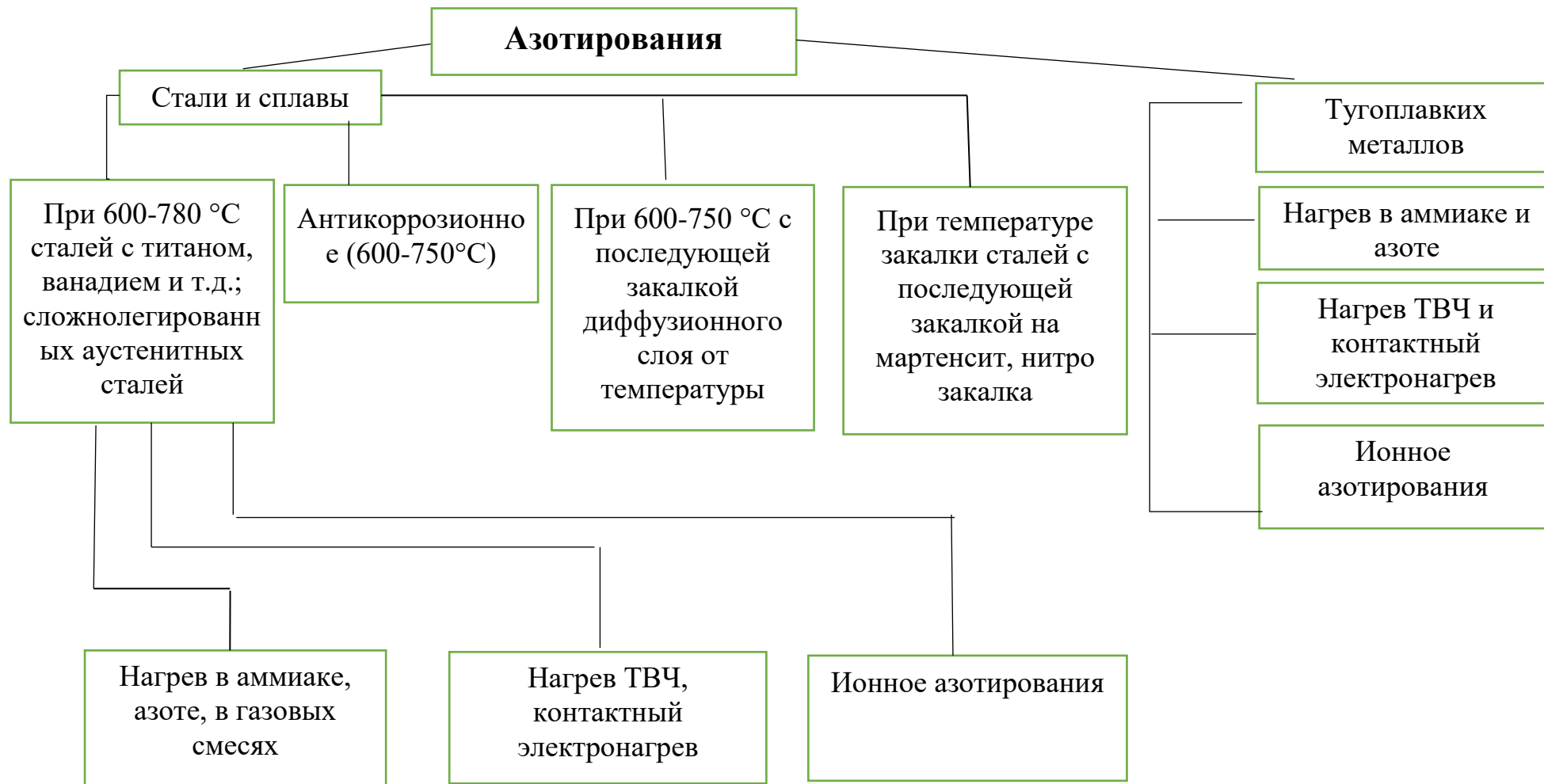


Рис.1.1. Схема технологических вариантов азотирования [3].

Определяющим параметром при ионном азотировании является давление рабочего газа. Изменение величины давления позволяет управлять температурой процесса. Азотирование в тлеющем разряде производится при высоких давлениях (100 – 500 Па), позволяющих обеспечить стабильное зажигание и горение разряда. Достоинством метода является также простота получения плазмы в больших объемах. Однако в виду высокого давления необходимо подавать высокое напряжение горения, вследствие чего повышается энергопотребление [14.12]. Следует отметить, что из – за высокие давления процесса ионного азотирования в тлеющем разряде, заряженные частицы испытывают многократные столкновения, и как следствие имеют низкую кинетическую энергию. Этой величины энергии оказывается недостаточно для разрушения оксидных пленок, образующихся на поверхности при азотировании при высоком давлении и препятствующих проникновению азота в образец. А поэтому для восстановительных реакций из железа необходимо введение в вакуумную камеру водорода более 5 процентов [6].

1.3 Азотирования газовых средах

1.3.1. Тлеющий разряд

В последние годы тлеющий разряд находит все возрастающее применение в технике. Тлеющим разрядом называется самостоятельной разряд в газах с холодными электродами (катод-анод) при токах 10^{-5} - 1А падением напряжения вблизи катода не менее 100 В [17]. Визуально он представляется как чередование темных и светящихся участков различных цвета и интенсивности свечения между электродами [1].

Типичная вольтамперная характеристика различных видов разрядов в газах при давлении 133 Па (1мм рт.ст.)

В диапазоне токов 10^{-4} - 10^{-1} А существует нормальной тлеющий разряд, ВАХ которого есть прямая, параллельная оси тока, то есть напряжения между электродами не зависит от силы тока. Это объясняется тем, разрядом

покрывается лишь часть поверхности катода и с увеличением силы тока возрастает ее площадь, так что плотность тока остается постоянной [17].

Основные энергетические процессы обеспечивающие существование и поддержания разряда, происходит в катодных областях разряда и собственно катоде. При изменении положения катода в пространстве катодные области разряда примещаются вместе с ним, не изменяя своей структуры.

Положительней столб и анодные области разряда несущественно для разряда, их рол в обеспечение замкнутой цепи тока в разряде [1].

Существования разряда обеспечивается электронными, эмитируемыми катодом при его бомбардировке положительным ионами который ускоряются синим полем вблизи катода а также за счет фотоэффекта благодаря излучения атомов в разряде. Эти электроны ускоряюсь в электричкам поле при движении к аноду производят ионизацию атомов чем рождает новые электроны по направлению к аноду и ионы, бомбардирующие катод и усиливавшие эмиссию. На основании общего закона подобия газовых разрядов Пашенном установлен закономерность; потенциал зажигания электрических разрядов зависит не отдельно от давления и расстояния между электродами, а от их произведения [1].

В аномальном тлеющим разряде произведения $L_k \cdot P$ убивает с увеличением U_k . А отношения j/P^2 резко возрастает причем плотности тока одинаковых значений U_k возрастает с увеличением давления газа. В нормальном тлеющим разряде плотности тока $j : P \cdot 1.7 \cdot 10^4$ (мкА \cdot см² \cdot Па⁻²).

Для получения более высокой плотности тока применения аргона предпочтительнее гелия или водорода.

Для одинаковых материалов электродов и газов при фиксированном напряжении плотности тока возрастает с увеличением давления. Типичней ВАХ для тлеющего разряда охватывающие ряд областей приведении на рис 1.2. поскольку форма разряда существенно определяется длиной свободного пробега зарядов (давлением) и межэлектродным растением l , то при

перехода к малым $p \cdot l$ участок нормального разряда исчезает и остаются лишь горизонтальная и резко возрастающая части характеристик.

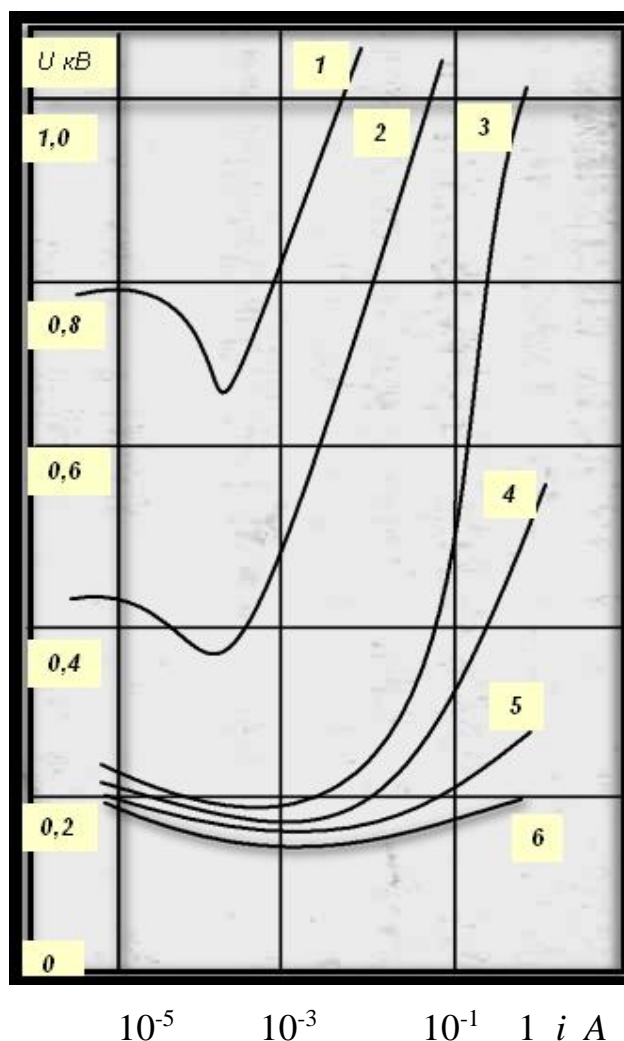


Рис 1.2. Вольт-амперная характеристика тлеющего разряда в неоне с медном электродами при различных давлениях. Напряжения горения до 1кв и $l = 16$ мм; 1 - $p = 58,5$ Па; 2 - $p = 66,5$ Па; 3 - $p = 80$ Па; 4 - $p = 133$ Па; 5 - $p = 665$ Па; 6 - $p = 1995$ Па [1].

При токах в несколько ампер разряд переходит в дугу. Эти установившийся ток в газе характеризующийся низким U_k . Отличия дуги от тлеющего разряда в следующем;

- 1) значительная меньшая величина U_k (на порядок);
- 2) высокая плотность тока на катоде ($10-10^7$ А/см²).

Нежная граница плотности тока дуги ($10-10^2 \text{ А/см}^2$) перекрывается с верхней границы плотности тока на катоде при аномальном тлеющим разряде.

Переход от тлеющего разряда к дуговому происходит скачкообразно. В аномальном тлеющим разряде для увеличения тока необходима увеличит напряжения U_a , так как его ВАХ возрастающая. Процесс подъёма U_a продолжается до тех пор, пока температура катода не достигнет 1520-2020 К. при таких температурах эмиссия электронов, обусловленная бомбардировкой поверхности катода положительными ионами, становится сравнимой по порядку величины термоэлектронной эмиссией катода.

$$W = k \cdot P^n \cdot 1.3 \cdot 10^2$$

Основные энергетические преобразования в тлеющим разряде происходят прикатанной области, примерно 85% энергии разряда превращается на катоде в тепло связь между удельной тепловой мощности на катоде в тепло. Связь между удельной тепловой модностью на катоде W давлениям газа P выражается зависимости [1].

1.3.2. Эффект полого катода

Если форма катода приставляет полость, размеры которой соизмеримы с размерами катодных областей тлеющего разряда то характер последнего при прочих равных условиях будет отличен от разряда с плоским катодом. Для полого катодаростаяния между электродами L становится неопределенным, поскольку различные точки поверхности полого катода удалены от анода на разные расстояние. У поверхности такого катода существует неоднородность распределения величине j и U_k искривлённость эквипотенциальных поверхностей электрического поля. В результате за счет осцилляции внутри полосы значительного количества быстрых электронов

(динатронный эффект) возникает эффект полого катода выражающийся в том что для получения тока определенной величине в разряде требуется иное напряжения чем в случае обычного тлеющего разряда с плоским катодом. Ток внутри катодной полости резко возрастает а напряжения на разрядном промежутке падает то ест условия горения разряда сходны с условиям перехода тлеющего разряда в дугу. Ток изменяется в разной степени зависимости от изменения давления или расстояния анода от полости катода. При уменьшении этого рас таяния ток возрастает быстро, а при уменьшении давления изменяется незначительно. На рис 1.3 приведены сравнительные кривые изменения тока плоского и полого катодов. ВАХ разряде с полом катодом могут иметь участки с падающий характеристикой и отрицательном дифференциальным сопротивлением. Причиной возникновения падающих участков ВАХ может быт влияние атомов расплывавшего материала катода. Разряд при этом покрывает не толка полость, но и внешнюю поверхность катода. Поэтому характеристики могут отражать и наличие шунтирующего побочного разряда с внешних поверхностей [1].

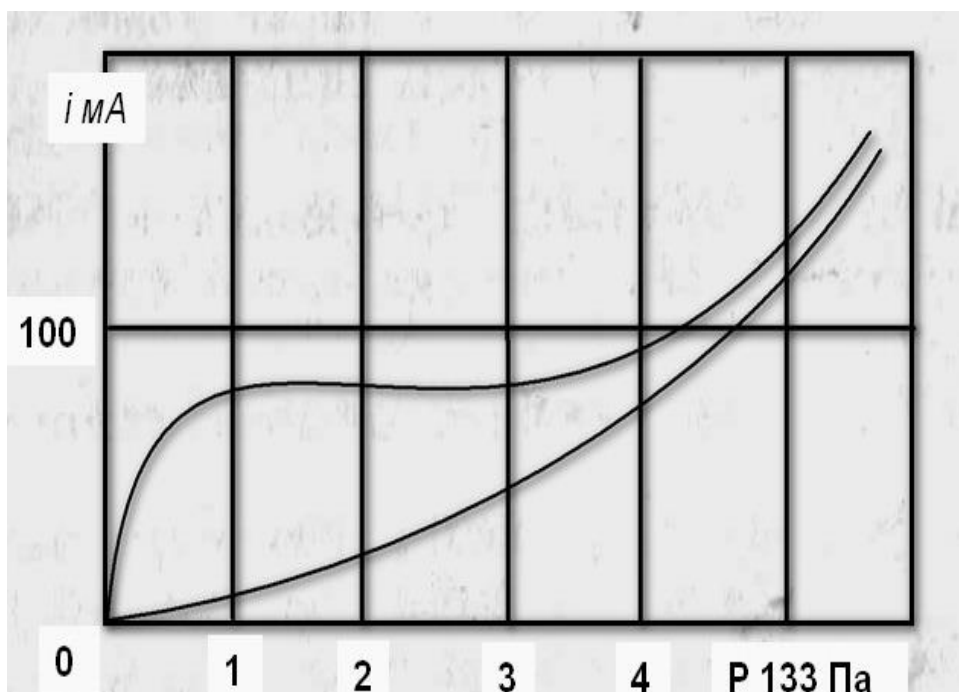


Рис 1.3 Изменения тока пологого 1 и плоского 2 с давлением для $U=350$.

В Рабочий газ водород

В печах для газового азотирования (углерод азотирования и др.) стало возможно получать любые газовые смеси, что открывает пути для гибких "контролируемых" процессов, на основе которых можно получить требуемые поверхностные слои на самых различных материалах и деталях. Это создает условия для высокопродуктивных специальных технологических процессов, а также многочисленных их вариантов [1.7].

1.3.3. Равномерность прогрева катода

Отрицательными факторами эффекта полого катода является неравномерное распыления материала катода и перенос материала с участков поверхности интенсивного распыления в места, где распыления слабое. При длительном горения разряда этот процесс приводит к заметному изменению формы области за счет оплавления выступов и кромок катодных деталей.

При расстояниях катода-анод менее 10 мм равномерность прогрева катодной детали зависит от формы и расположения анода. Необходима симметричное взаимное расположение катода и анода, а форма последнего подбирается индивидуально для каждого катодного узла [1].

1.3.4. Устойчивость разряда и переходные процессы

Вследствие низкой удельной мощности разогрева в нормальном тлеющим разряде высокотемпературная обработка большинства конструкционных материалов проводится в области аномального тлеющего разряда, то есть, на максимально допустимых режимах по току. Однако аномальный тлеющий разряд с высокой плотностью тока j является неустойчивей формой и легко переходит в дуговой разряд.

Форма катода и состояние его поверхности, напротив, существенно влияют на переход тлеющего разряда в дуговой. Наблюдается избирательная

привязанность дуги к определению местам на катоде, как правила наиболее удаленным от анода. Состояние поверхности катода (чистота) определяет максимально допустимую мощность разряда: чем чаще поверхность, тем при большой мощности разогрева может возникнуть дуга. Тщательно обезжиренные детали, являвшиеся катодом, могли быть разогреты до более высокой температуры без перехода разряда в дуговой. Авторы показали, что механизм тлеющего разряда в дуговой состоит в возникновении кратковременных одиночных дуговых разрядов на участках полостей и клиновых зазоров с дальнейшим превращением и стабилизацией их в виде дуги краях и выступах [1.4.5].

Стабильность горения тлеющего разряда может быть повышена соответствующим выбором схемы высоковольтного блока питания разряда и вводом в нее элементов, способствующих дуге гашению.

1.4. Постановка задачи и цели работы

Цель настоящей работы изучения особенности азотирования в плазме тлеющем разряда внутренней поверхности протяженных отверстий в деталях для двух типов сталей.

Для достижения поставленной цели было необходимо выполнить следующие задачи:

- 3) Подбор режимов тлеющего разряда, при которых происходит равномерная обработка внутренней поверхности цилиндрических полостей (нагрев деталей, измерения температуры, давления, продолжительность процессов).
- 4) Измерения твёрдости и глубину азотированного слоя в зависимости от материала, обрабатываемого стали и зависимости от параметров процесса (от диаметра полости и параметра процесса).
- 5) По экспериментальным данным измерений физико-механических свойств азотированных слоев аргументировать преимущества и ограничения данного метода.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данная глава посвящена описанию оборудования, на котором проводили все эксперименты, обоснованы выбора материала образцов и методик анализа результатов и их описание.

2.1 Особенности (Специфика) закрепления экспериментальных образцов в оснастке для азотирования

Для экспериментов по азотированию в тлеющем разряде была применена электропечь ионная шахтная вакуумная НШВ-9.18/6ИЗ рис 2.1, предназначенная для диффузионного насыщения поверхностных слоев азотом в тлеющем разряде деталей машиностроения (ионного азотирования). Основными узлами установки являются вакуумная камера с объёмом 1,5 м³. Система откачки и транспортировки из вакуумной камеры воздуха, т.е. вакуумный насос, клапаны, система регистрации давления в камере.



Рис 2.1. Внешний вид экспериментального оборудования на базе электропечи ионной шахтной вакуумной НШВ-9.18/6-И2.

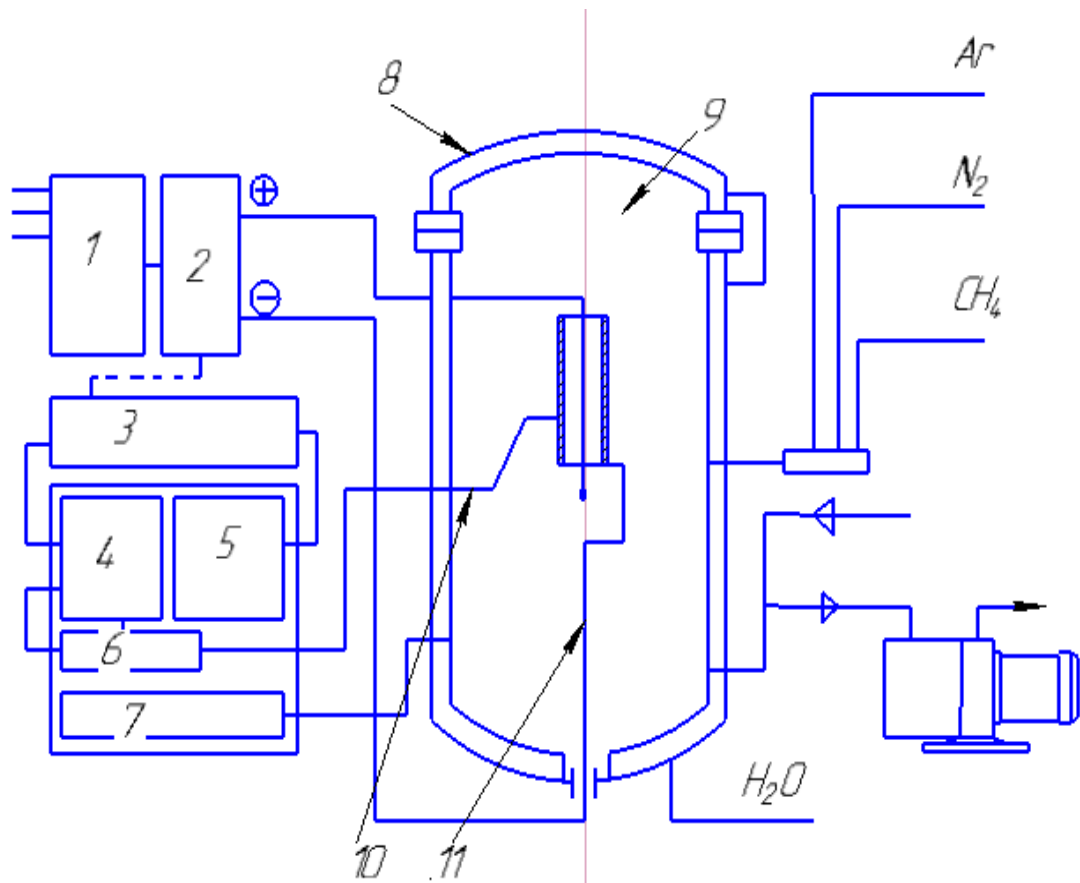


Рис 2.2. Блок-схема электропечи ионной шахтной вакуумной ИШВ-9.18/6-И2.

1- высоковольтный трансформатор; 2 - высоковольтный выпрямитель;
 3 - регулятор напряжения; 4 - регулятор температуры; 5- тиристорный блок стабилизации разряда; 6 - потенциометр; 7 - вакуумметр; 8 - водоохлаждаемая крышка; 9 - подвеска; 10 - термопара; 11 - изолированный центральный токоввод;

Система приготовления газовой смеси на основе азот, аргон и углеводорода. Оборудование Рабочий мощность установки $P=100$ кВт. Установка оснащена одним форвакуумным насосом, обеспечивающим предельный вакуум в рабочей камере $p= 1,33$ Па (10^{-2} мм рт. ст.). Нагрев обрабатываемых деталей до температур $T=500-600$ °С производится только мощностью тлеющего разряда без участия каких-либо дополнительных нагревательных устройств.

2.2 Физико-химические свойства и характеристики применяемых газов

Применение аммиака в современных условиях достаточно проблематично. Это связано с опасными условиями и сложностью хранения аммиака в исследовательских учреждениях, то есть имеются сложности с приобретением аммиака для азотирования в азотоводородной среде, но для этого можно использовать либо гидролизный водород, который вырабатывается в специальном устройстве или использовать газосодержащий водород, например, метан (CH_4) или ацетилен (C_2H_6). В нашем случае мы использовали в качестве водорода содержащего газа метан. Использовали ее небольших количествах потому что известно, что присутствие азота в водородной среде водорода больше 2% уже позволяет проводить нормальный процесс насыщения [10]. Водород в среде нужен для восстановительной реакции потому что поверхность процесса нагрева в тлеющем разряде от комнатной температуры до 200° покрывается оксидной пленкой которой является барьером для проникновения азота в металл для этого используется водород в нашем случае водород был использован из газа метана с добавлением 5%. Поэтому была применена газовая смесь соотношения Азот-75%, Аргон-20% и Метан-5%.

Азот- N_2 двух атомный газ без запаха цвета и с атомной массой 14,007 а.е.м. (г/мол). Основной компонент воздуха (78,09 % объема)

Баллоны с азотом должны быть окрашены в черный цвет должны иметь надпись желтого цвета согласно ГОСТ26460-85 надпись должна содержать сведения о чистоте азота. В основном в баллоны для использования азота заправляют 3-вида азота (особой чистоты, высокой чистоты, повышенной чистоты).

Аргон –являются инертный газом с атомной массой 39,9, аргон тяжелее воздуха примерно в 1,38 раза. Аргон занимает третье место по содержанию в воздухе после азота и кислорода, на него приходится примерно 1,3% массы и 0,9% объема атмосферы Земли. Одним из основных способов получения аргона в промышленности– метод низкотемпературной ректификации

воздуха с получением кислорода и азота и попутным извлечением аргона. Газообразный аргон хранится и транспортируется в стальных баллонах (по ГОСТ 949-73). Баллон с аргоном окрашен в серый цвет, с надписью: «Аргон чистый» зеленого цвета.

Согласно ГОСТ 10157-79 газообразный и жидкий аргон поставляется двух видов: высшего сорта (с объемной долей аргона не менее 99,993%, объемной долей водяных паров не более 0,0009%) и первого сорта (с объемной долей аргона не менее 99,987%, объемной долей водяных паров не более 0,001%).

Метан-простейший углеводород, без цветной газ без запаха, мало растворим в воде, легче воздуха, химическая формула. При использовании в быту, в метан добавляют одоранты (обычно тиолы) со специфическим запахом.

Метан относят к токсическим веществам, действующим на центральную нервную систему. Накапливаясь в закрытых помещениях метан становится взрывоопасен. Обогащения одорантами делается для того чтобы, человек вовремя заметил утечку газа. На промышленных производствах эту роль выполняют датчики, и для таких случаев метан поставляется без добавления одорантов.

Взрывоопасен при концентрации в воздухе от 4,4% до 17%. Проявляет наркотические свойства и действия ослабляет малой растворимостью в воде и крови: Класс опасности-четвертый. Метан второй по значимости парниковый газ в атмосфере Земли после углекислого газа.

2.3. Материалы для исследования

В данной экспериментальной работе в качестве материалов были использованы стали марки 40X и 40X13 данные стали достаточно широко применяются в машиностроении, доступные из них делают большую количества деталей, почему были выбраны эти стали, дело в том, что процесс азотирования как известно из литературы дает различные эффекты

зависимости от степени, легированной сталей [24]. Сталь 40X является низколегированной в ней содержится 1% хрома, а сталь 40X13 является высоколегированной в ней содержится 13 % хрома в связи с этим чтобы посмотреть до какой величины значения твёрдости будут в процессе азотирования меняются твёрдость поверхности были выбраны эти стали. Химический состав этих стали приведены в таблице №3.

Таблица № 1. Химический состав в % стали 40X и 40X13

Марка стали	Концентрация элементов %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
40X	0,36- 0,44	0,17- 0,37	0,5- 0,8	0,3	0,035	0,035	0,8- 1,1	0,3	97
40X13	0,36- 44	0,6	0,6	0,6	0,025	0,03	12- 14	-----	84

Удельный вес марки стали **40X: 7820 кг/м³**

Исходная твердость материала: **H V 10 -1 = 245 МПа ;**

Удельный вес марки стали **40X13: 7650 кг/ м3**

Исходная твердость материала: **H V 10 -1 = 245 МПа ;**

Стали в данных экспериментах не проходили специальную термический обработку они находились в состоянии поставки поэтому значения их твёрдости указана в выше соответствовала начальному значению 270-290 кг/мм²

2.4. Методика определение упрочнённых слоев

Твёрдость материалов можно определит многими методами таких как, Рак вел, Виккерс, Бринелль, Кнуп и т.д. но измерения твёрдости азотированного слоя достаточно специфическая работа потому что азотирование слои бывают тонкими и не превышают 0,5 мм, и поэтому в качестве испытания на твёрдость методом Роквелла не подходит в связи с

испытания методом Роквелла нагрузка достигает 150 кг [25]. Исходя из этого принята в мире проводит измерение азотированного слоя при меньших нагрузках. Для этих целей подходит метод Викирса с алмазным индентором. Этот метод не называется измерением твёрдости, а называет измерение микротвёрдости, потому что в качестве нагрузок используют нагрузки такого порядка от 10 до максимум 200 грамм чтобы разглядеть отпечаток оставление после испытаний при разных нагрузках и измерить параметры отпечатков, которые остывшие пирамидка Викирса применяются оптическая система, то есть микроскоп с увеличением 500 крат [28]. В нашей работе в качестве такого прибора был использован прибор ПМТ-3 рис 2.4 [30].

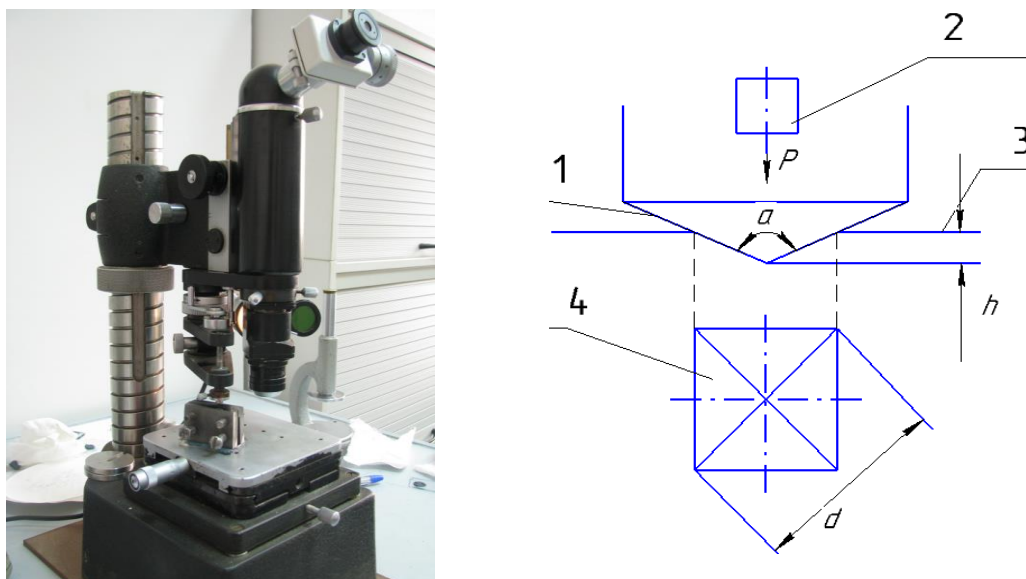


Рис 2.4. Микро твердамер ПМТ-3 и схема проникновения индентора внутр эксперименталного образца.

1 - индентор (четырёхгранная пирамида); 2 - груз; 3 - испытываемый материал; 4 - отпечаток; α - угол между противоположными гранями пирамиды- 136° ; Форма отпечатка – **квадрат**: **d** - диагональ отпечатка (3 – 300 мкм); **h** – глубина отпечатка (0,5 – 40 мкм).

$$h = \frac{d}{2\sqrt{2}\text{tg}68^\circ} = \frac{d}{7}$$

Число твердости Н определяется как частное от деления нагрузки **P** на боковую площадь поверхность **S** (в **мм²**) отпечатка в предположении, что углы отпечатка соответствуют углам пирамиды:

$$H = \frac{P}{S} ;$$

$$S = \frac{d^2}{2\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{d^2}{2\sin 68^0} = \frac{d^2}{1,854}$$

Если нагрузка **P** выражена в **килограммах**, а диагональ **d** в **миллиметрах**, то число микротвердости можно подсчитать по формуле:

$$H_V = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

где **H_V** – микротвёрдость по Викерсу (**Vickers**), **кГ/мм²** (**кгс/мм²**; **kgf/mm²**);

P - нагрузка, в **кГ**;

d – среднеарифметическое значение в **мм** из длин двух диагоналей отпечатка после снятия нагрузки;

α -угол между противоположными гранями пирамиды (**α=136 град.**).

Если нагрузка **P** выражена в **граммах**, а диагональ **d** в **микрометрах**, то число микротвёрдости можно подсчитать по формуле:

$$H_V = \frac{2P}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} = 1854 \frac{P}{d^2}$$

где **H_V** - микротвёрдость, **кГ/мм²** (**кгс/мм²**; **kgf/mm²**)

P - (**гс**) нагрузка в **граммах** (**1 г = 10⁻³ кг**);

d - (**мкм**) среднеарифметическое значение из длин двух диагоналей отпечатка после снятия нагрузки в **микрометрах** (**1 мкм = 10⁻³ мм**);

α -угол между противоположными гранями пирамиды (**α=136 град.**).

Особенности измерения микротвёрдости и определения глубины азотированного слоя по данной методики заключается в следующем: образец после азотирования разрезают и устанавливается специальную струбцину рис 2.5 в этой струбцине шлифуется, полируется и изготавливается поперечный шлиф [30].

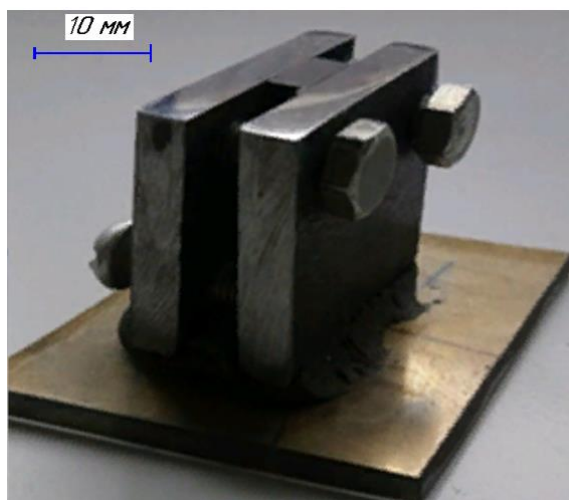


Рис 2.5 Вид изображения оправки зафиксированном образцом

Известно с одной стороны когда образец зажимается в струбцину замечается это место, с одной стороны поверхности было азотирована с обратной стороны оно не было азотировано, дальше проводится измерение микротвёрдости шагом около 10 микрон от поверхности рис 2.6 и отступается (право или влево).

Поверхность экспериментального образца измеряли на не разрезанном образце и толщину нитридной зоны определяли с помощью оптического микроскопа ММР-4

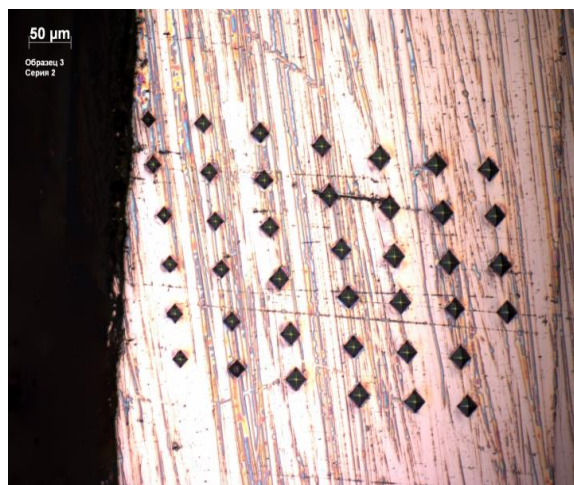


Рис 2.6. Измерения твёрдости поперечного шлифа через 10 мкм

(микроскоп металлографический рабочий) при увеличении 1000 крат. При травлении азотированного слоя 4% азотной кислотой выявляется структура азотированного слоя поскольку нитридная фаза \square являются нитридом (коррозионностойкая) она не растворяется в этом растворе. Структура перлитно-ферритное проявляются за счет травления электролитом. Измерить толщину нитридного слоя удаётся только в поперечном шлифе со струбциной после травления. Обычно толщина нитридного слоя составляет 4-5 мкм. Ставить отпечаток в область нитридной зоны не удаётся поскольку отпечаток имеет диагональ больше 10 мкм поэтому твёрдость нитридной фазе измеряют сверху на не разрезанном образце. Глубина проникновения индентора составляет 1-2 мкм.

В этом эксперименте по длине труб, где проходит разряд и происходит внутреннее азотирование детали мы выбрали всего 5 точек и в этих же местах устанавливали экспериментальные образцы. Несмотря ни на что достаточно распространение, найти из них задело трубы заданных нам диаметров не представляется возможным стал 40х и 40х13 купит точно такие стали заданного диаметра невозможно потому что есть определённый сортамент. Взяли доступные водопроводные трубы из стали 3 что не является ограничением. Мы одну и ту же заготовку использовали много раз и создавали в нем различные условия горения разряда и условия азотирования

по времени по типу стали и давлению [30]. Одну экспериментальную форму мы использовали различных экспериментов многократно без его уничтожения после каждого эксперимента

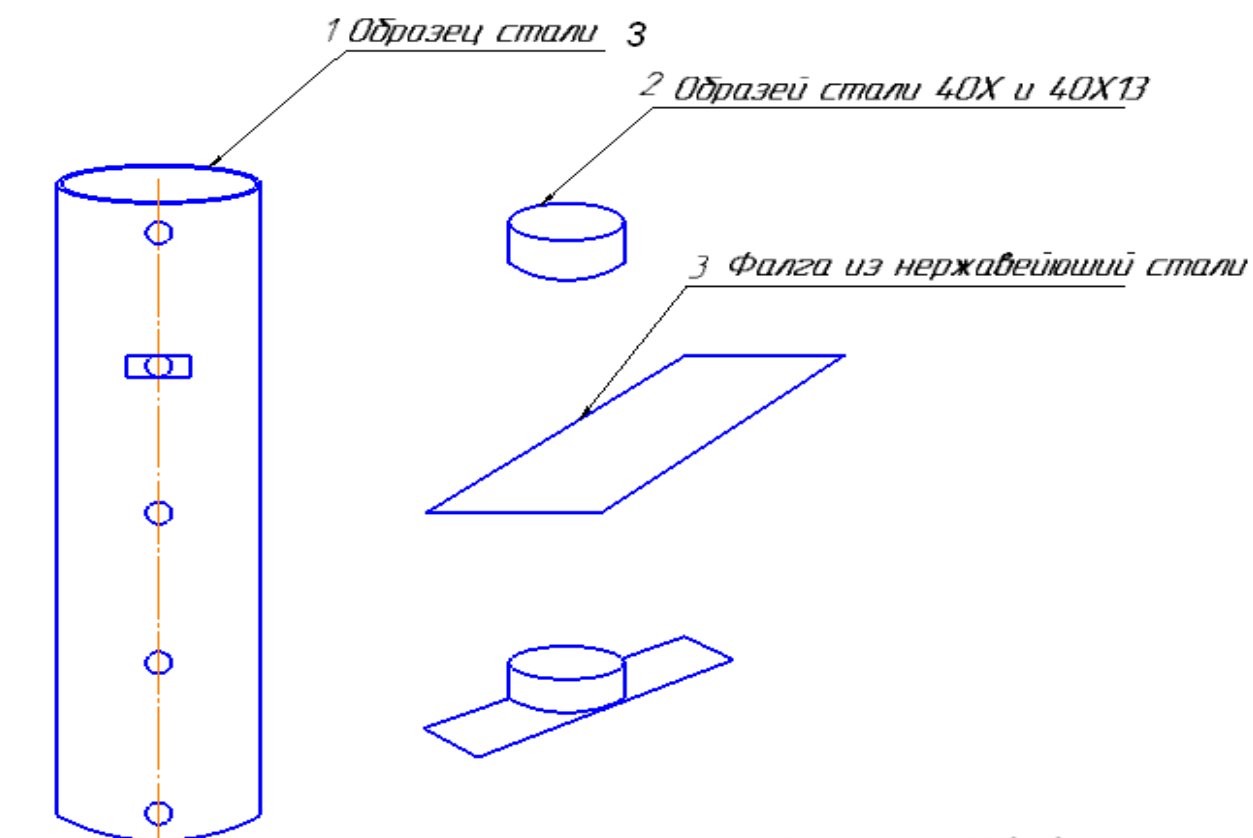


Рис2.7. Способ закрепления образцов

Если изготовить цилиндр из марки стали 40X и 40X13 заданного диаметра, то после эксперимента придётся разрезать эти цилиндры, а на следующий эксперимент придётся изготавливать новую заготовку. Поэтому 5 точек на одной и той же длине, но при разных диаметрах, это позволило нам каждый раз провести эксперименты в сего 5 держатели образцов привести эксперименты различных условиях горения разрядах спровидениям дополнительного электрода и без дополнительного электрода при одном и низком давлении и высоком давлении. Образцы закрепляли снаружи с помощью металлических пластинок рис 2.7 из нержавеющей стали, а образцы с полированной стороной были обращены внутрь полости.

Образцы были изготовлены в форме таблеток диаметром 8 мм, толщиной 3 мм из стали 40х и 40х13. Образцы были тщательно отполированы с шероховатостью 0,03 мкм. Исследования проводили по нескольким схемам

1) труба ставилась, подключаясь к катоду на него подавался отрицательный потенциал от источника питания и зажигался разряд;

2) когда сквозь трубы запускали анод из нихрома или вольфрама, у которого температура плавления $T=1100-1400$ °С тем самым обеспечивали равномерное распределение потенциала вдоль поверхности трубы соответственно вдоль расположения образцов.

2.5. Особенности проведения эксперимента

В наших экспериментах использовали трубы сделанный из марки Сталь 3 в качестве имитатора полости деталей машиностроения Таблица № 2.1

Таблица № 2.1

Ø	Марка стали	Длина труб L	Толщина стенки
20	Стал 3	200	3 мм
44	Стал 3	200	3 мм
76	Стал 3	200	3 мм
100	Стал 3	200	3 мм

Процесс азотирования в большинстве случаев ведётся 30 часов за это время у деталей толщина азотированного слоя достигает (зависит от марки стали) приблизительно 500 мкм наша задача была выявить тенденцию, как распределяются зона упрочнения и мы знали за это время азотированной слой будет не максимально проводя эксперимент 8 часов могли проследить устойчивую тенденцию тех или иных свойств образцов от их условий и их

состава эффект полис влияющий на процесс азотирования [29]. За 8 часов внутренней поверхности экспериментального образца образовался достаточный слой для исследования азотированного слоя.

ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПРИ ИОННОМ АЗОТИРОВАНИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ.

Эксперименты по азотированию в тлеющем разряде в среде диссоциированного аммиака проводились на технологической установке НШВ-9.18/6ИЗ NH_3 , блок – схема которой представлена на рис 2.2. Основными элементами оборудования являются: анодная и катодная система, система электропитания и газоснабжения, вакуумная система, а также блок для измерения и регулирования температуры. Процесс азотирования в тлеющем разряде состоит в следующем. Между катодом (обрабатываемая деталь) и анодом (стенки вакуумной камеры) в разряженной азотосодержащей атмосфере возбуждается тлеющий разряд при давлении ~ 250 Па. Ионизированные при этом атомы азота бомбардируют поверхность катода, обеспечивая тем самым его нагрев до температуры насыщения.

3.1. Схема технологического процесса азотирования в тлеющем разряде.

Поэтапно процесс ионного азотирования представлен в виде диаграммы изображенной на рис.3.1. из которой видно, что весь технологический процесс состоит из трех основных стадий. Первоначально, после загрузки обрабатываемых деталей, в течении 5 – 60 минут при напряжении $U = 700 - 800$ В и давлении $P = 10 - 50$ Па осуществляется их нагрев в режиме катодного распыления.

А- эвакуации воздуха из рабочей камеры после загрузки экспериментального образца;

Б – стадия катодного распыления поверхности обрабатываемых деталей при пониженном давлении, которая осуществляется после запуска рабочего газа и зажигания разряда;

В – стадия нагрева деталей, совмещенного с катодным распылением, при постепенном увеличении давления;

Г – стадия изотермической выдержки (непосредственно процесс диффузионного насыщения) при максимальной мощности разряда;
 Д – стадия выключения разряда и охлаждения деталей в остаточном вакууме.

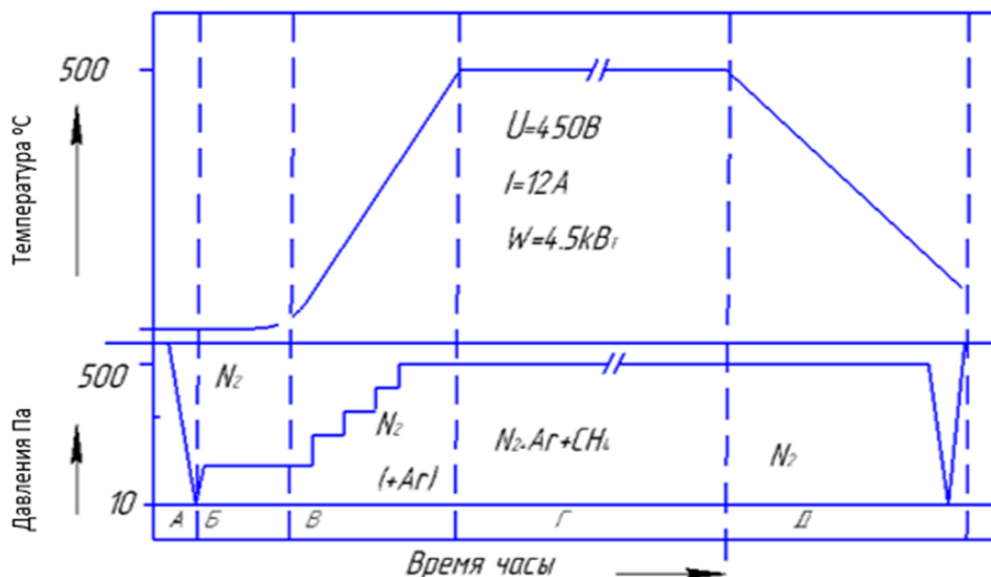


Рис.3.1. Схема температуры и времени экспериментального процесса азотирования в плазме тлеющего разряда в тройной газовой смеси (75%N2 + 20%Ar + 5%CH4).

Очистка тлеющим разрядом производится при создании на поверхностях обрабатываемых изделий микро дуг, обеспечивающих очистку поверхностей от окалины, ржавчины и оксидных пленок.

Длительность периода очистки тлеющим разрядом целиком определяется состоянием поверхности и степенью чистоты изделий. Незначительное повышение давления при очистке тлеющим разрядом и частичном разогреве изделий связано с газовыделением. Скорость нагрева садки определяется конкретному техпроцессом. Она должна обеспечивать равномерный прогрев садки во избежание короблений и поволоков изделий и обычно составляет 100-200°C в час.

3.2. Исследование нагрева поверхности полости от параметров разряда

Когда внутренняя полость значительно большего диаметра, то разряд свободно проходит сквозь цилиндра рис.3.2. и азотируют внутреннюю полость равномерно при этом толщина азотированного слоя по всей длине одинаково.

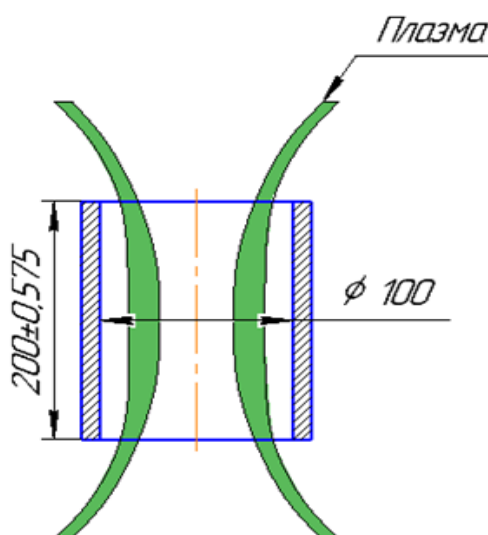


Рис.3.2. на рисунке изображено как себя ведёт разряд в процессе эксперимента

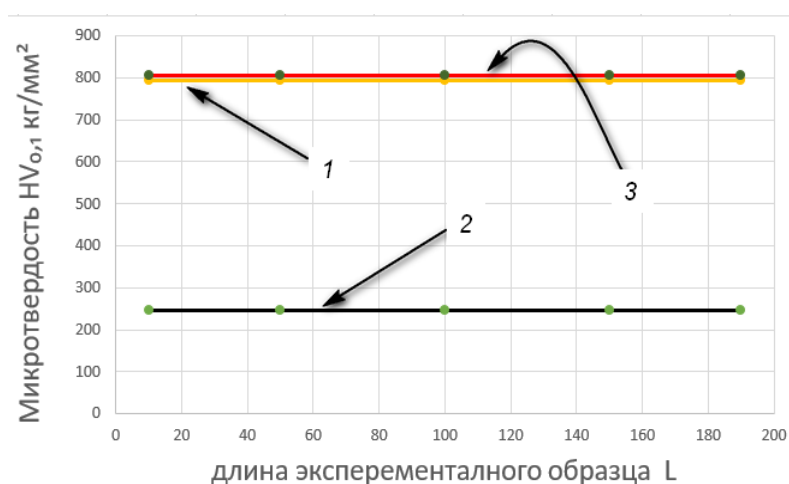


Рис.3.3. Распределение твердости на поверхности по всей длине трубы. 1) внутреннее поверхность; 2) Исходная HV=245кг/мм²; 3) Наружный твердость поверхности;

В процессе азотирования тлеющим разрядом возникает проблема за счёт разряда, разряд не до конца проходит в щель, но это зависит от диаметра щели то есть разряд заходит в щель двух концов рис.3.4. а внутри не пойдёт, но мы

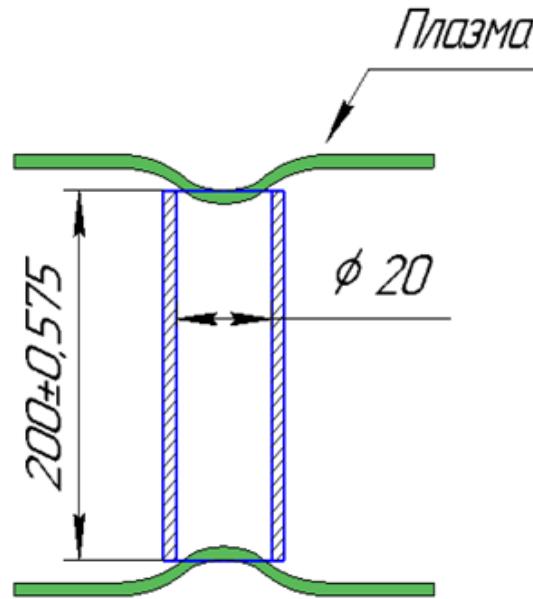


Рис.3.4. на рисунке изображено как себя ведёт разряд в процессе эксперимента

каким-то образом внутренней поверхности азотируем соответствии с этим мы можем нагреть деталь и не образуется нитридной слой с твёрдости примерно 600 HV. Если привести процесс по правилам то на поверхности твёрдость будет 800 HV.

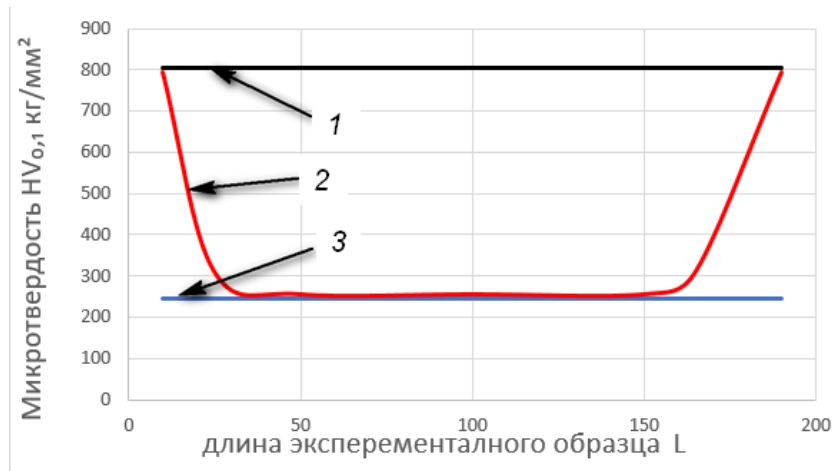


Рис.3.5. Распределения твердость на поверхности по всей длине трубы 1) наружный твёрдость; 2) Внутренний твердись; 3) Исходная HV=270кг/мм²;

3.3. Изменение интенсивности нагрева катода при повышении давления

Поведение деталей без полости отличается от процесса азотирования с полостью, то есть можно отличить по свечению и увидев более яркое свечение внутри цилиндра. Это означает, что в этой области разряда наиболее высокая ионизация (внутри полости) рис 3.6. Наиболее повышенная ионизация приводит к следующим результатам;

- 1) Увеличивается ток (более интенсивное нагревание поверхности).
- 2) Увеличение концентрации ионов (яркое свечение свидетельствует о высокой ионизации).

Было прослежена тенденция изменения морфология разряда зависимости от изменения давления при этом измерялось напряжения разряда и ток разряда а также визуально было исследована изменения яркости свечения полости в отверти.

Во время эксперимента видно, что в широком диапазоне изменения тока температуры катода находится в линейный зависимости от влияние тока по этому при нагреве выполняется линейной зависимостью его

Глеющий разряд существует как при постоянном так и при переменном напряжении на электродах.

При переменной напряжении общей эффект воздействия на каждый электродов складывается из суммарного воздействия положительных ионов и электронов а в отрицательные полу периоды также из бомбардировке нейтрал ними атомами высоких энергий. Поэтому при переменном напряжении, когда каждый электрод попеременно является то катодом то анодом степень воздействия разряда на поверхности металла выше, чем на анод, но ниже, чем на катод при постоянном напряжении.

а) В данном этапе что катодный слой не полого цилиндра светится неярко, а полого – ярко. Это доказывает наличие высокой ионизации газа, за счет

этого происходит высокий нагрев цилиндра изнутри. $P=50$ Па; $U=500$ В; $I=1$ А

б) На этом этапе давление увеличивается, катодный слой достаточно протяженный, ее толщина составляет 6-7 мм. $P=100$ Па; $U=400$ В; $I=5$ А.

в) На этом этапе давление увеличивается, катодный слой достаточно протяженный, ее толщина составляет 6-7 мм. $P=100$ Па; $U=400$ В; $I=5$ А.

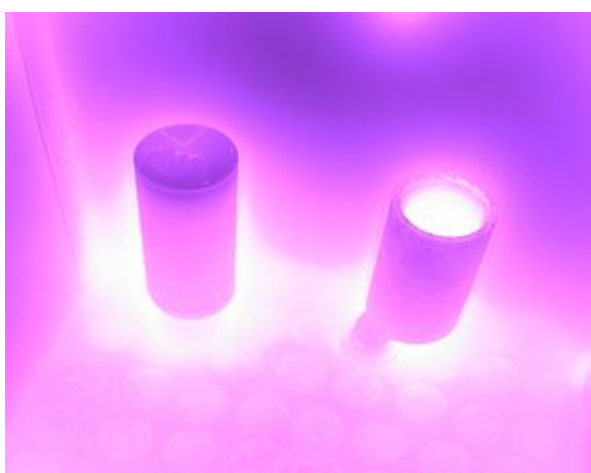
г) В данном этапе повышается давление до максимума ($U=500$ В). При этом напряжении разряд удержать не получается и вынуждены понизить напряжение до 250 В и свечение внутри цилиндра прекращается. Катодный слой в диапазоне 2-3 мм. $P=480$ Па; $U=250$ В; $I=12$ А.



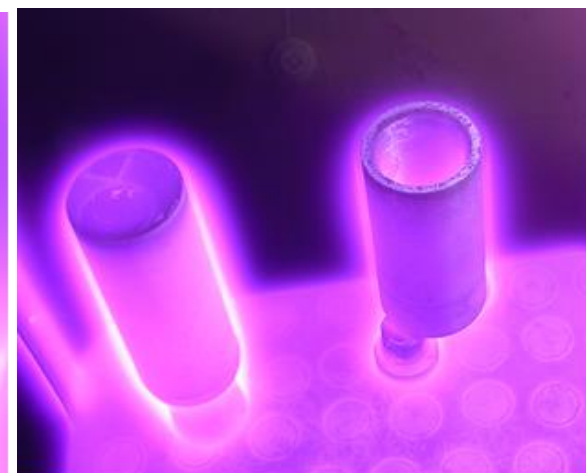
а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 3.6. Изменение свечения разряда (локальность разогрева) на катоде при разных значениях давления

д) На данном этапе наблюдается свечение полости стакана не наблюдается оно светится так как с наружи при этом напряжения горения очень низкое $P=600$ Па; $U=100$ В; $I=4$ А.

температуры от давления газа. Это заключение является также следствием характеристик аномального тлеющего разряда. Изменения локальности разогрева в разряде при постоянном давлении и постоянном токе схематично представлены на рис.3.6.

В процессе азотирования в тлеющем разряде при разогреве деталей (катода) можно сделать следующие основные выводы:

1. Нагрев деталей в тлеющем разряде зависит от управляемых и неуправляемых параметров.
2. Управляемыми параметрами является ток разряда, давления газа в камере, время нагрева.
3. Неуправляемые параметры-напряжения на электродах, масса деталей, состояния поверхности электродов, теплофизические свойства катода (собственно нагреваемых деталей и оснастки).

4. Для получения необходимой температуре катодной детали (мощности нагрева) следует при фиксированном напряжении изменят величину давления (следовательно ток разряда).

3.4. Модернизация электродной системы для азотирования полостей в плазме тлеющего разряда с дополнительным анодом

Сущность процесса: в разряженной азотосодержащей атмосфере между катодом (деталью) и анодом возбуждается тлеющий разряд, и ионы газа, бомбардируя поверхность катода, нагревают ее до температуры насыщения. Температура азотирования 500 °С, разряжение 6 мм рт. ст., рабочее напряжение колеблется от 400 до 1100 В, продолжительность процесса 8 часов [18].

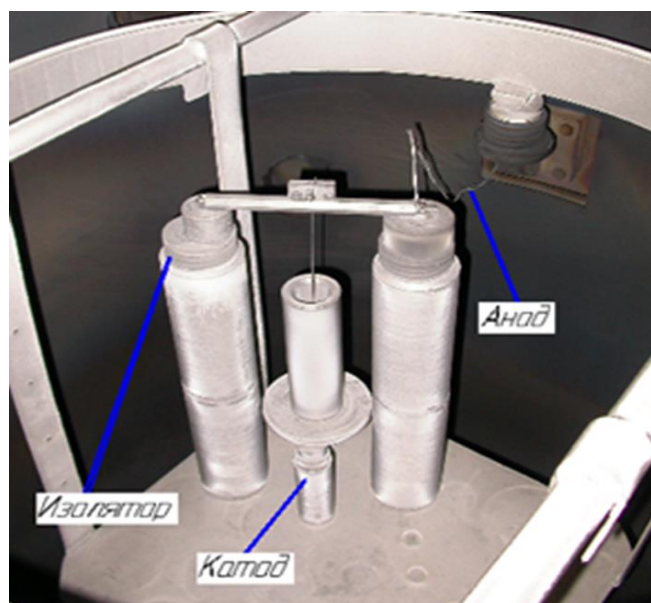


Рис.3.7 Схема подключения в оборудованию экспериментального образца в режиме ронльного времени.

Процесс реализуется в две стадии:

1. Очистка поверхности катодным распылением;
2. Непосредственно насыщение.

Азотируемые детали устанавливают в камеру, подключая к отрицательному электроду рис.3.7, герметизируют камеру и откачивают воздух до давления 1 мм рт. ст. После удаления воздуха камеру продувают рабочим газом при давлении ~10 мм рт. ст., затем откачивают камеру до давления 0,3 мм рт. ст., подают на электроды напряжение и возбуждают заряд. При напряжении 1200 В осуществляется катодное распыление. После обработки поверхности в течение по режиму катодного распыления напряжение понижают до рабочего, а давление повышают до 6 мм рт. ст. При повышении давления уменьшается протяженность катодного сечения, которое равномерно распределяется по поверхности детали, повторяя ее контуры [17]. На рис. 3.8. представлен процесс насыщения азотом в режиме реального времени. Скорость нагрева определяется соотношением поверхности и массы детали. Закреплений вольфрамовый нить выполняет роль анода и на него подаётся положительный потенциал.

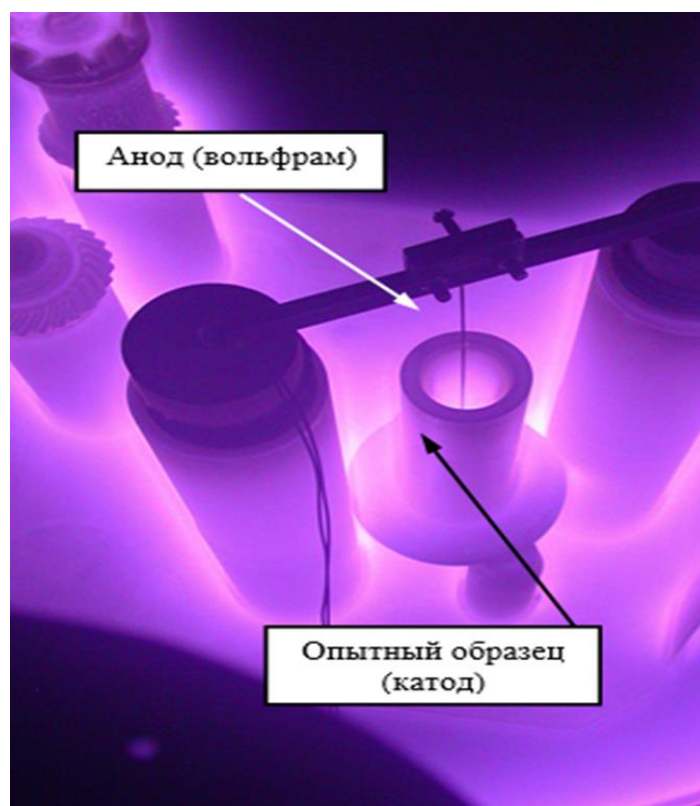


Рис.3.8. Азотирования опытного образца в режиме реального времени после ражения разряда.

Если проволоку сделать из распространённых углеродистой или нержавеющей сталей, то проволока из-за высокой температуры может плавиться по этому мы использовали вольфрам. Вольфрам обеспечивает потенциал анода, то есть анод передается вольфрамовой нити. На вольфрамовую нить закрепляется груз, а нить с грузом проходит через полость цилиндра не касая стенок экспериментального образца и на него подаётся потенциал анода и поэтому плазма равномерно распределяется по внутренней поверхности образца.

Когда давления сильно откачено у нас этот катодный слой становится большим, за счет молекул газа мало в камере и электрон который отошёл от катода он проходит большое расстояние прежде чем начинает ионизовать молекул а когда запускаем газ у нас катодный слой прижимается.

3.5. Влияние режимов азотирования в полости на эффективность упрочнения сталей 40X13 и 40X

За общую толщину азотированного слоя, определяемого под микроскопом, принимается весь слой, обнаруженный после травления на поперечном шлифе и представляющий собой светлую полосу с заметно выраженным переходом к сердцевине образца

Чтобы измерить поперечный шлиф мы взяли 4% раствор азотной кислоты в спирте то есть 4 мл литра азотной кислоты на 96 мл литров спирта разводится и травится выявляются структура. Структура металла зернистая а сверху нитридная зона 3-4 мкм белый слой рис.3.9. но вся протяжённость азотированного слоя металлографический способ (отравитель) не выявляется по этому нужна проводить испытание микро твердости потому-то цвет структуры твердого раствора азота он не изменяется, толка нитридная область видна.



Рис.3.9. Микроструктура поперечного шлифа стали 40X13 в состоянии поставки

Для стали 40X13 в состоянии поставки протяженности слоев, сформировавшихся в результате азотирования в тлеющем разряде, значительно превышают толщину слоев обнаруженных у малолегированной стали 40X.

Высокую твердость азотированных образцов можно объяснить тем, что сталь 40X13 с высоким содержанием хрома, и при азотировании большая часть азота соединяется с ним, образуя нитриды, которые в свою очередь искажают решетку матрицы и затрудняют пластическую деформацию (движение дислокаций). Плотность дислокаций резко возрастает, и азот диффундирует не по границам, а по объему зерен, главным образом по дислокационным каналам. За счет чего и повышается твердость. Одновременно с ростом твердости, толщина азотированного слоя уменьшается, так как образующиеся нитриды затрудняют дальнейшее проникновение азота вглубь металла. Поэтому и наблюдается небольшая глубина слоя в образцах.

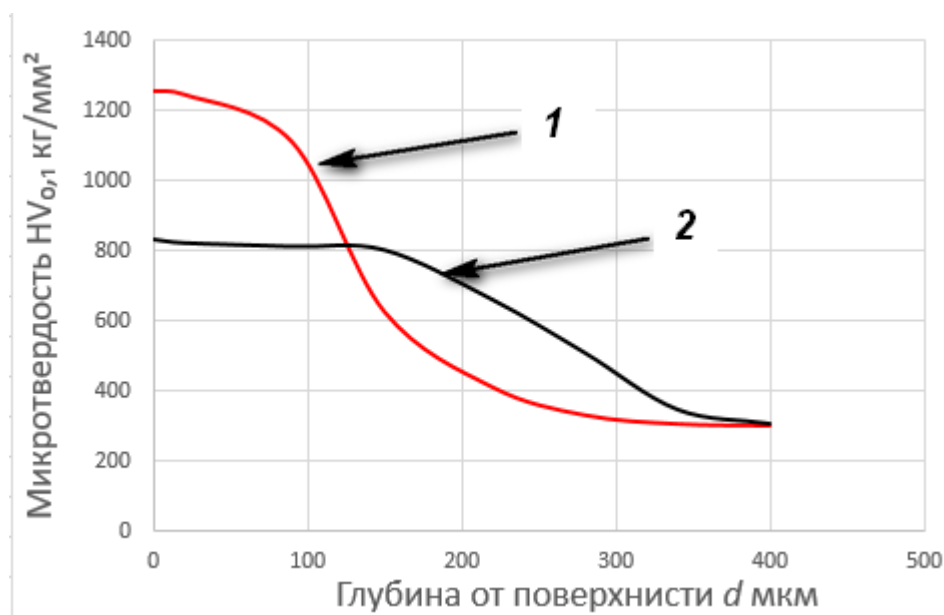


Рис.3.10. Влияние режимов азотирования на толщину нитридной зоны стали 40X13 после азотирования в тлеющем разряде 8 часов 1-при $T \sim 500$ °С; 2-при $T \sim 760$;

Для стали 40X13 в состоянии поставки сформировавшихся в результате азотирования в тлеющем разряде, значительно превышают толщину слоев обнаруженных у нелегированной стали. Используемый травитель выявил общий азотированный слой протяженностью ~ 50 мкм после 8 часов азотирования для стали 40X13 состояния поставки.

На поперечных шлифах, можно наблюдать образовавшиеся на поверхности слои, толщина которых составляет ~ 10 мкм и имеет максимальную твердость ~ 1250 кг/мм². Следует отметить, что в данном случае, в результате травления были обнаружены азотированные слои достаточно большой протяженности $\sim 125 - 135$ мкм и имеющие повышенную твердость.

Таблица.3.1. результаты азотирования в тлеющем разряде 8 часов стали 40X13

Ø	Температура экспериментальных образцов, Т,°С		Поверхностная твердость экспериментальных образцов, НV (кГ/мм ²)		Глубина □-фаза экспериментальных образцов		Глубина азотированного слоя мкм	
	Без Анода	С Анодом	Без Анода	с Анодом	Без Анода	С Анодом	Без Анода	с Анодом
Ø 100	520	500	1250	1250	0	0	250	220
Ø 76	600	500	1020	1250	0	0	360	220
Ø 44	760	520	810	1250	0	0	410	220
Ø 20	*	550**	—	1250	0	0	—	220

* - Дуга; ** - Снижения I (тока разряда) U(напряжения);

На рис.3.11. представленных поперечных шлифа наблюдаются четкие границы между, сформировавшимися на поверхностях белым слоям. Толщина азотированного в течение 8-ми часового азотирования незначительное увеличение толщины до значений ~ 2.5 – 3 мкм. Из кривых распределения микротвердости, можно сказать, что максимальные значения твердости достигаются в белых модифицированных слоях и составляют 750-800 кГ/мм² 8 часов азотирования. Методом рентгеноструктурного анализа этот слой идентифицирован как нитрид железа Fe₄N. В глубине от поверхности. Как замечено увеличение времени азотирования приводит к росту протяженности эффективной глубины диффузионной зоны, хотя общая протяженность остается примерно одинаковой.

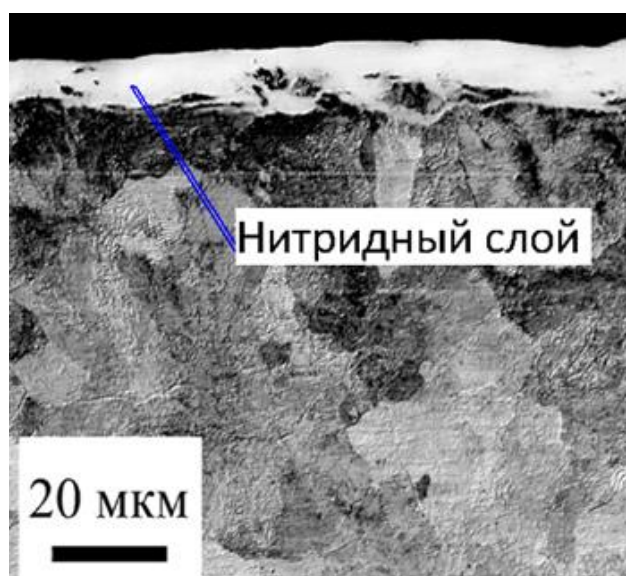


Рис.3.11. Микроструктура поперечного шлифа стали 40Х в состоянии поставки

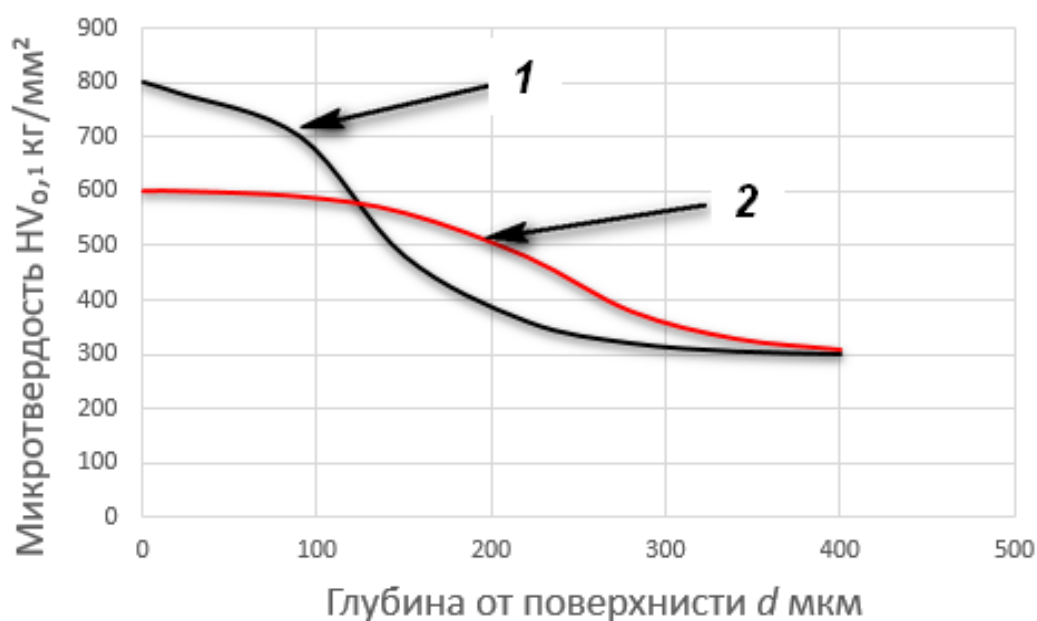


Рис.3.12. Влияние режимов азотирования на толщину нитридной зоны стали 40Х после азотирования в тлеющем разряде 8 часов 1-нитридном слоем; 2-безнитридном слоем;

В тлеющем разряде в результате того, что рабочее давление достигает 10^3 Па и ионы, несмотря на то, что напряжение составляет порядка 500 – 600 В, испытывают многочисленные столкновения с молекулами и атомами

газа, имеют низкую кинетическую энергию. В виду низкой кинетической энергии ионов не происходит интенсивное распыление оксидных пленок. Поэтому для успешного насыщения поверхности азотом в тлеющем разряде необходимо добавлять водород более 5 процентов для восстановительных реакций связывания кислорода.

На таблице 3.2 приведены измерения твёрдости на образцах вдоль поверхности цилиндра зависимости подключения цилиндра в схему. Видно в одном случае у нас наблюдается формирование азотированного слоя для стали 40Х с твёрдости 800 кг/мм² в случаи перегрева то есть без ведения дополнительного анода в трубе формируется полый катод который приводит к перегреву внутренней поверхности. у нас образовался слой с твёрдостью ниже чем с принудительным анодом.

Таблица 3.2 результаты азотирования в тлеющем разряде 8 часов стали 40Х

Ø	Температура экспериментальных образцов, Т,°С		Поверхностная твердость экспериментальных образцов, НV (кг/мм ²)		Глубина □-фаза экспериментальных образцов		Глубина азотированного слоя мкм	
	Без Анода	С Анодом	Без Анода	с Анодом	Без Анода	С Анодом	Без Анода	с Анодом
Ø 100	520	500	800	800	3-4	3-4	320	310
Ø 76	600	500	800	800	1-2	3-4	350	310
Ø 44	760	520	600	800	0	2-3	410	330
Ø 20	*	550**	—	800	0	2-3	—	320

* - Дуга; ** - Снижения I(тока разряда) U(напряжения);

Было обнаружено, что твердость поверхности стали 40X13 значительно превышает поверхностную твердость, стали 40X, азотированной в тлеющем разряде. Уже после 8-х часового азотирования значения микротвердости составляют ~ 1250 кг/мм². Увеличение времени азотирования в тлеющем разряде до 8 часов не вызывает значительного роста твердости

Вывод: Для обеспечения равномерного нагрева внутренней поверхности имеют смысл водить дополнительный анод выполненный из тугоплавкого материала.

В результате работы было показано:

- 1) Дополнительный анод обеспечивают равномерного распределения плазму внутри полости для труб $\varnothing 100, 76, 44, 20$ и тем самым обеспечивает максимальную твердость.
- 2) При диаметрах полости порядком 100, 76 мм происходит нагрев, но этот нагрев можно регулировать давлением и соответствием такому разряду при диаметром полости 44 мм за счёт эффекта полого катода внутренне поверхности полости нагревается до 760 °С, это свою очередь приводит к образования области упрочнения без нитридного слоя.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение

4.1 Введение

В современном машиностроительного производства находит широкое применение повышение эксплуатационных характеристик деталей из конструкционной стали за счет обработки поверхности. Такие методы как ионно-плазменное азотирование в тлеющем разряде позволяют за счет поверхностного упрочнения повышается надежность и увеличивается срок службы деталей, работающих в самых различных условиях.

Данная исследовательская работа является пилотной, но полученные результаты позволяют говорить о применении в промышленности данного метода упрочнения поверхностей конструкционных материалов. Потенциальными потребителями данной технологии являются машиностроительные предприятия, в частности инструментальные заводы, занимающиеся производством режущего инструмента, а также заводы занимающиеся производством различных деталей для триб технических систем, работающих в условиях увеличенных нагрузок, температур, агрессивных сред.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;

- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются научные сотрудники, студенты.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка.

		Отрасли, занимающиеся азотированием		
		Научные институты	Научно-исследовательские лаборатории	Заводы по производству азотированных деталей.
Сфера деятельности по применению азотированных деталей	Изучение материалов оборудования	x	x	x
	Изучение свойств азотированных деталей.	x		x
	Анализ характеристик оборудования		x	x
	Использование вакуумное иона плазменное			x

	оборудования для азотирования в промышленных целях			
--	--	--	--	--

Как видно из карты сегментирования, основным сегментом данного рынка являются заводы по производству азотированных деталей занимаются изучением свойств и характеристик ионная плазменное азотирования в тлеющим разряде. Заводы-изготовители занимаются больше коммерческой деятельностью, обеспечивая применение ионная плазменное азотирования в тлеющим разряде в промышленности.

4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения

Изменение свойств поверхности в желаемом направлении в зависимости нужных параметров. В моей исследовательской работе предлагается перейти из традиционного метода азотирования который уже существует и широко применяется на производствах, перейти на метод азотирования в тлеющим разряде на смеси трех газов такие как (азот, аргон метан)

В настоящее время ХТО является актуальной проблемой в современном машиностроении. Предлагаемая нами технология по упрочнению поверхности конструкционных материалов оптимизированным методом для насыщения поверхностный слой металлов в плазме тлеющего разряда, с помощью насыщения поверхностный слой применением смеси трех газов. Надеюсь что этот способ позволит намного эффективней решать проблему упрочнения, в сравнении с традиционными методами.

Технология оптимизированной обработки в плазме тлеющего разряда дает преимущества по следующим параметрам:

- простота и высокая производительность процесса при низких трудозатратных и ресурсоемкости;

-экологическая безопасность процесса и улучшение условий производства;

-оптимизация энергии экономических параметров процессов.

Проведем анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения изготовления композиционных порошковых материалов. Данный анализ выполним с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.2

Таблица 4.2 Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерия оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно способность	
		Бк1	Бк2	Кк1	Кк2
1	2	4	5	7	8
Технические критерии оценки ресурс эффективности					
1.Повышения производительности Труда пользователя	0,2	4	3	0,8	0,6
2.Простота процесса технологий при насищений	0,15	4	3	0,4	0,3
3.Энергоэкономичност	0,05	3	2	0,15	0,1
4.Нодежност	0,05	4	4	0,2	0,15
5.Экологичност технологии и материала	0,15	3	3	0,3	0,3
6.Широкая область применения	0,15	4	3	0,4	0,3
Экономические критерии оценки эффективности					
7.низкая стоимости	0,15	3	3	0,45	0,45
8.финонсирования	0,05	4	4	0,2	0,2

научной разработки					
Итого	1	37	33	3,65	3,25

К1 – метод оптимизированного азотирования насыщения поверхности слоев металлов с применением смеси трех газов.

К2 – традиционные методы азотирования

Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как удобство в эксплуатации, надежность, цена, качества и безопасность.

4.3 SWOT-анализ

Одним из эффективных средств сокращения расходов металлов при сокращении высокого уровня производительности металлообработки является применение иона плазманное азотирования деталей для увеличения срока службы.

В настоящей работе рассмотрены экспериментальные исследование процесса азотирования стальных деталей машиностроения в плазме тлеющего разряда при замене традиционного аммиака на смесь газов состоящий из азота, аргона и метана.

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

Таблица 4.3. –Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Большой объём выполнения работы за</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>.</p> <p>Сл1. Не завершённая</p>
--	--	---

	<p>короткий срок. С2. Высокая производительность. С3. Снижение затрат на электроэнергию С4. Увеличение срока службы деталей и механизмов С5.</p>	<p>оптимизация технологии. Сл2. Пока что отсутствие автоматизированных процессов. Сл3. Не доделочные доработки при подачи газов</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и ИСЭ СО РАН В2. В связи с постоянным интересом к процессу упрочнения поверхности конструкционных сталей – высокая вероятность получить бюджетное финансирование. В3. Возможность использования широкомасштабного о применения технологии в производстве В4. Участие в грантах В5. Использование консультаций специалистов.</p>	<p>Актуальность темы. С1В2 – вероятность расширения кол-ва поставщиков(снижение себестоимости изделия) С1В3 - упрощение внедрения технологии в производство за счет применения смеси трех газов С1В4 – упрощение технологического процесса упрочнения поверхности за счет минимального расхода времени. С1У1- возможность создания более модифицированного и качественного конкурентоспособного оборудования.</p>	<p>В1Сл4 –этот метод позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака. В1 Сл5 – этот метод позволяет уменьшить расходы на электроэнергию. .</p>

<p>Угрозы: У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований. У2. Задержка финансирования проекта.</p>		
--	--	--

Проанализировав матрицу SWOT можно сказать, что у исследовательского проекта есть как сильные, так и слабые стороны. Улучшение свойств поверхностей слоя или получение совершенно новых азотированных покрытий деталей машиностроения, обеспечит актуальность этой темы на протяжении многих лет, а возможность модифицирования исходного слоя деталей машиностроения продлит этот срок. Угрозы У1 и У2 представляются серьезными и являются объектами для внимания при выводе разработки на рынок.

4.4 Инициация проекта

4.4.1 Цели и результаты проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий

результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 4.4

Таблица 4.4. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Машиностроительные предприятия	Гарантирование повышение упрочненных слоев в сфере машиностроения за короткое время.
Инструментальные заводы	Возможность получение упрочненных слоев с повышенной прочностью.
Научно-исследовательские институты	Получение данных о свойствах и структуре упрочненных деталей в процессе азотирования тлеющим разряде.

В таблице 4.4 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.5 Цели и результат проекта

Цели проекта:	Изучение технологических особенностей упрочнения внутренние поверхности деталей (труб, цилиндров) в результате ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде и физико-
---------------	---

	механических свойств азотированных деталей марке 40Х, 40Х13 после эксперимента
Ожидаемые результаты проекта:	Получения экспериментальных данных по оптимальным параметром характеристик обработанных материалов в зависимости от параметров технологических процессов.
Критерии приемки результата проекта:	Законченная научно-исследовательская работа, авторы которой имеют список публикаций и участие на международных конференциях.
Требования к результату проекта:	Требования: 1. Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение 2. Наглядные иллюстрации (графики и диаграммы) 3. Выполнения проекта в срок

4.4.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 4.6 Рабочая группа проекта

П	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты дни
	Гончеренко И.М. доцент.т.н. Место работы: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, доцент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта, полученных в ходе проекта, редактирование и издание статей, патентов.	62
	Каримов. А. К. магистрант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет	Исполнитель по проекту	Отвечает за выполнение научно исследовательских работ, получение и обработку результатов, поиск литературных данных о схожих разработках ученых по всему миру, написание статей и магистерской диссертации по итогам работы.	600
Итого:				662

4.4.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта

Таблица 4.7 Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1. Источник финансирования	ИФПМ СО РАН
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2016
3.2.2. Дата завершения проекта	16.06.2018

Бюджет научного проекта

4.4.4 Контрольные события проекта

Таблица 4.8 Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Обсуждение плана проект	13.09.17	Утверждение участников исследования
2	Обзор литературы	18.09.17	Отчет по изученной литературе.
3	Изучение состава и устройства экспериментального оборудования.	4.10.17	Теоретические методички, книги
4	Провести подготовку	27.	Обработанные образцы

	образцов из стали 40х и 40х13.	10.17	
5	Провести измерения микротвердости поверхности образцов на приборе ПМТ-3.	13. 11.17	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
6	Проанализировать полученные экспериментальные результаты.	20. 12.17	Отчет
7	Оценить толщину азотированного слоя на основе данных, полученных методом поперечного шлифа	3.0 1.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
8	Исследования нитридного слоя	10. 01.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
9	Описание результатов	30. 01.18	Отчёт
10	Исследование	26. 02.18	Исследуемые образцы, иллюстрации (графики, картинки)
11	Описание результатов	16. 03.18	Отчет
12	Сделать заключение	16. 04.18	Отчет
13	Защита диплома	15. 06.18	диплом

В рамках планирования научного проекта построен календарный график проекта.

Таблица 4.9 Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Названия	Делитель несть, рабочие дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Обзор литературы (сбор необходимой информации). Обсуждение плана проект	17	11.09.17	3.10.17	Гончаренко И.М. Каримов А К
2	Подготовка необходимого оборудования для исследований.	16	4.10.17	25.10.17	Гончаренко И.М. Каримов А К
3	Подготовка образцов для проведения экспериментов по азотирования	8	26.10.17	7.11.17	Гончаренко И.М. Каримов А К
4	Проведение техпроцесса ионной плазменное азотирования в тлеющим разряде внутренней поверхности цилиндров из стали 40х и 40х13	6	8.11.17	15.11.17	Гончаренко И.М. Каримов А К
5	Проведение измерение с помощью микро твердомера ПМТ – 3 на поверхность образцов с покрытиями, полученными при	5	16.11.17	23.11.17	Гончаренко И.М. Каримов А К

	разных режимах.				
6	Описание результатов	2	23.11.17	27.11.17	Каримов А К
8	Описание результатов	3	10.01.18	12.01.18	Каримов А К
9	Тестирование нитридного слоя	5	15.01.18	19.01.18	Гончаренко И.М. Каримов А К
10	Описание результатов	6	28.02.18	7.03.18	Каримов А К
11	Отчет по исследовательской работе (написание статей, выступление на конференциях.)	20	12.03.18	6.04.18	Каримов А К
12	Написание дипломного проекта.	33	9.04.18	29.05.18	Каримов А К
	Итого баллов:	121			

4.4.5 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования

бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям, представленным в таблице 4.9.1

Таблица 4.9.1 Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Колво	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб
Азот газообразный высокой чистоты марка 6.0	ТУ 2114-00945 905715-2011 баллон, емк. 1-12 л.	5	1200	6000
Аргон газообразный высшего сорта	ГОСТ 10157-79 40 л. (6,2 м3)	3	840	2520
Метан газообразный	ГОСТ 949-73 «5.5» баллон емкость 40л	3	600	1800
Наждачная бумага	ЭМ14А20Н СФК	7м ²	329	2303
	ЭМ14А6Н СФК	7м ²	235	1645
	ЭМ14А Р600 СФК	7м ²	200	1400
	ЭМ14А Р2000 СФК	7м ²	90	630
Алмазная паста	АСМ 28/20	8 шт	250	2000
	АСМ 1/0	8 шт	120	960

Марки стали	40X Ø 8мм	1 м	55	55
	40X13 Ø 8мм	1 м	120	120
Всего за материалы				19433
Транспортно-заготовительные расходы				2350
Итого по статье См				21738

Итоговая стоимость сырья составит 21738 рублей.

$Na = (1/T) \cdot 100\%$ – норма амортизации

$A = (S/365) \cdot Na \cdot t$ – сумма амортизационных отчислений

4.4.6 Затраты на специализированное оборудование

Затраты связанные с приобретением специального оборудования (установка, контрольно-измерительной приборы, шлифование станки, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме (таблице 4.9.2.)

Таблица 4.9.2– Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	оборудования Цена единицы оборудования, руб.	Срок службы, Т, дни	Время эксплуатации, t, дни	На норма амортизации	Амортизационные отчисления, руб
Установка для азотирования в тлеющим разряде «ШВ-9.18/БИЗ»	4000000	6570	10	0,015	1643
ДРОН-7	400000	3650	4	0,1	712
Микро твердомер ПМТ-3	250000	5475	7	0,018	86
Шлифовальный	500000	3650	20	0,1	2739

полировальный станок Saphir 520					
Компьютер	30000	2190	60	0,045	16
ИТОГО					5555

Суммарные затраты на оборудование обходятся почти в 5 млн руб.\

Таблица 4.9.3 Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	66	593
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	18	168
- праздничные дни	0	24
Потери рабочего времени		
- отпуск	0	28
- невыходы по болезни	0	10
Действительный общий фонд рабочего времени	48	363
Действительный годовой фонд рабочего времени	24	182

Заработная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени. Расчет заработной платы персоналу сведем в таблицу

Таблица 4.10 Расчет заработной платы

Исполнители	Количество	Зарплата, руб./мес	Количество отработанных	Всего з.п, руб	Дополнительная з.п	Отчисления на социальн

			дней			ые нужд
Руководит ель	1	25000	60	75000	9000	25200
Исполните ль	1	9000	593	242590	29110,8	81515
Итого:				317590	38110,8	10671

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 12% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

Отчисления на социальные нужды составляет 27,1 %

4.4.7 Затраты на электроэнергию

Тариф на электроэнергию – 4,36 руб/(кВт.ч).

Таблица 4.11 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность, кВт	Время эксплуатации, час	Расход электроэнергии, руб
Установка для азотирования в тлеющим	10	220	9592

разряде «ШВ-9.18/6ИЗ»			
Форвакуумный насос для создания Вакуума	3,5	260	3967,6
ДРОН-7	5,5	32	767
Микро твердомер ПМТ-3	0,02	56	5
Шлифовальный полировальный станок Saphir 520	1,6	160	1116
Компьютер	0,35	240	366
ИТОГО			15813,6

Затраты на водоснабжение

Тариф на водоснабжение 30,22 руб/м³. Примерный расход воды за время исследований составляет 270 м³. Затраты на водоснабжение за весь период исследования составляет 8159,4 руб.

Полная смета затрат на выполнение НИР

Таблица 4.12 Полная смета затрат

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	21738
Амортизационные отчисления	5555
Заработная плата	317590
Дополнительная заработная плата	38110,8
Отчисления на социальные нужды	106715
Затраты на электроэнергию	15813,6
Затраты на водоотведение	8159,4

Итого	513681,8
-------	----------

4.4.8 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (таб. 4.13).

Таблица 4.13 Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Исполнитель
Обзор литературы (сбор необходимой информации)	оиу	и
Проведение техпроцесса ионная плазменное азотирования в тлеющим разряде внутренней поверхности цилиндров из стали 40х и 40х13.	ои	ои
Проведение измерение с помощью микро твердомера ПМТ – 3	оу	ои
Описания результатов	ус	ои
Исследования нитридного слоя	у	ои
Описания результатов	ус	ои
работе Отчет по исследовательской работе	у	ои
Защита диплома	у	ои

4.4.9 Реестр рисков проекта

Таблица 4.14 Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Повышение цен на сырье, энергию и комплектующие, тем самым есть	2	3	средний	Планирование финансирования проекта с учетом повышения	Повышение цен поставщиками

	риск не уложиться в бюджет проекта				цен.	
2	Нехватка квалифицированной рабочей силы	3	3	средний	Повышение квалификации и кадров	При условии, если уволиться или заболит один из участников проекта
3	Выпуск продукции низкого качества	3	3	средний	Постоянный контроль качества, входе реализации проекта	При условии не верного выполнении технологии азотирования
4	Не выполнение в срок проекта	2	3	средний	Выполнение в срок отдельных этапов проекта	При условии не хватки квалифицированной рабочей силы, а так же не выполнения в срок

4.4. 10 Оценка сравнительной эффективности исследования

Таблица 4.15 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	3	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	4	2	3
Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
Энергосбережение	0,1	4	3	3
Надежность	0,2	4	4	4

Материалоемкость	0,15	4	4	4
Итого баллов	1			

$$I_{\text{тп}}=0,2*5+0,2*4+0,2*5+0,1*4+0,2*4+0,15*4=4,6$$

$$\text{Аналог 1} = 0,2*3+0,2*2 +0,15*3+0,1*3+0,2*4+0,15*4=3,15$$

$$\text{Аналог 2} = 0,2*4+0,1*2 +0,2*3+0,15*3+0,2*4+0,15*3=3,3$$

Выводы: Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение: В данном разделе рассматриваются вопросы по охране труда и окружающей среды, а также обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях, в процессе выполнения научно-исследовательской работы, которая проводилась на базе Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), в лаборатории плазменной эмиссионной электроники (ЛПЭЭ).

В рамках научно исследовательской работы, выполнялись исследования результатов комбинированного упрочнения поверхности конструкционных материалов, для этого использовалось следующее оборудование:

1 Установка стандартная промышленная электропечь НШВ-9,18/БИЗ объёмом рабочей камеры 1,5 м³. Данное оборудования предназначено для диффузионного насыщения азотом (ионного-азотирования) поверхностных слоев в «тлеющем разряде» различных деталей в машиностроительных отраслей. Данная установка представляет собой комплекс сложного оборудования, в который помимо рабочей камеры входят вакуумная система, которая обеспечивает создание в рабочей камере необходимого рабочего давления. Система состоит из клапана с электромагнитным приводом, напускного регулируемого клапана (автоматического натывается) и электронного блока управления. Электрическая часть служит для электроснабжения установки и управления технологическим процессом. Электроснабжение производится от трехфазной сети напряжением 380 В, цепи управления питаются напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Высоковольтный источник питания, включающий в себя тиристорный преобразователь напряжения, высоковольтный трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения в пределах от 100 до 1500 В. Источник опорного напряжения, включающий в себя тиристорный преобразователь (общий с высоковольтным источником),

трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения от 20 до 280 В; 100

2. Шлифовально-полировальный станок, для подготовки образцов перед обработкой и подготовки поперечных шлифов для исследования;

3. Микро твердомер ПМТ-3М, для исследования эволюции прочности поверхности стальных подложек в зависимости от режима комбинированной обработки;

4. Световой металлографический микроскоп ММР-4, предназначенный для наблюдения и фотографирования микроструктуры исследуемых объектов.

Проведение исследований включает в себя работу непосредственно с вакуумной установкой, включающую в себя необходимую профилактику, настройку оборудования и контроль в процессе работы установки. А также работу по подготовки образцов и их исследованию с помощью приведенного выше оборудования.

5.1. Техногенная безопасность

5.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

При выполнении исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шума, вибраций, электромагнитного излучения, недостаточной освещенности, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение.

Все опасные и вредные производственные факторы приведены в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ.

5.1.2 Метеоусловия

От микроклимата на рабочем месте зависит состояние здоровья человека и его работоспособность. Не имея возможности эффективно влиять на протекающие в атмосфере климатообразующие процессы, люди

располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

Микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей (ГОСТ 12.1.005 "Общие санитарные гигиенические требования к воздуху рабочей зоны").

Длительное воздействие на человека неблагоприятных условий резко ухудшает его самочувствие, снижается производительность труда, и приводит к заболеванию.

1) воздействие высокой температуры быстро утомляет, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профессиональным заболеваниям.

2) низкая температура – местное или общее охлаждение организма, причина простудных заболеваний или обморожения.

3) высокая относительная влажность при высокой температуре способствует перегреву организма; при низкой усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению.

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Проект относится к работе средней тяжести (категория Пб), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 5.1.1:

Таблица 5.1.1 Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте (СанПиН 2.2.4.54896)

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19-24	15-75	≤ 0.1
Теплый	средняя	20-28	15-75	≤ 0.2

При обеспечении допустимых показателей микроклимата температура внутренних поверхностей конструкции, ограждающих рабочую зону (стен, потолка, пола) не должна превышать предел допустимых величин температуры воздуха.

В холодный период года следует применять средства защиты рабочего места от радиационного охлаждения от остекленных поверхностей оконных проемов, в теплый период от попадания прямых солнечных лучей.

Температура в рабочей зоне поддерживается отоплением в холодный период и вентиляцией в теплый период.

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидр трубопроводов.

5.1.3 Вредные вещества

Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, как в процессе работы, так и в отдалённые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

При выполнении работы по упрочнению поверхности образцов, в лаборатории используется газы: аргон и азот. Азот и аргон – газы без цвета и запаха (Таблица 5.1.2).

Таблица 5.1.2 Перечень веществ используемых при работе [ГОСТ 12.1.007-76]

Рабочий газ	ПДК мг/м ³	р.з.	Класс опасности	Агрегатное состояние
Ar	2,4		2	газ
N	2,2		2	газ
CH ₄	7000		4	газ

Аргон и азот – физиологически инертные, нетоксичные газы. Замещая кислород в воздухе, и вытесняя собой кислород из организма, они воздействуют на человека как удушающие агенты (асфиксанты) по причине снижения парциального давления кислорода.

Метан- Метан является самым физиологически безвредным газом в гомологическом ряду парафиновых углеводородов. Физиологическое действие метан не оказывает и неядовит (из-за малой растворимости метана в воде и плазме крови и присущей парафинам химической инертности). Погибнуть человеку в воздухе с высокой концентрацией метана можно только от недостатка кислорода в воздухе.

5.1.4 Производственный шум

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются вакуумная ионно-плазменная установка. Шум в лаборатории не должен превышать 80 дБА. Уровень шума установлен в ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА. Уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих с компьютером не должен превышать 50дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65дБА (ГОСТ 12.1.003-83).

Во время действия шума, превышающего 85...90 Гц, чувствительность слуха снижается. Происходит временное понижение порога слышимости (ВПП), которое исчезает после окончания воздействия шума. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма. Действие шума на организм человека не ограничивается воздействием на орган слуха. Патологические изменения, возникшие под влиянием шума, рассматривается как шумовая болезнь. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма.

Мероприятия по защите от шума выполняются с помощью применения средств и методов коллективной защиты, разработкой шум безопасной техники, а также средств индивидуальной защиты. Защита от шума

акустическими средствами предполагает звукоизоляцию (устройство звукоизолирующих кабин, кожухов, ограждений, установку акустических экранов); звукопоглощение (применение звукопоглощающих облицовок, штучных поглотителей); глушители шума (абсорбционные, реактивные, комбинированные).

Если невозможно уменьшить шум, действующий на работников, до допустимых уровней, то необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ) - противочумные вкладыши из ультратонкого волокна “Барыши” одноразового использования, а также противочумные вкладыши многократного использования (эбонитовые, резиновые, из пенопласта) в форме конуса, грибка, лепестка. Они эффективны для снижения шума на средних и высоких частотах на 10–15 дБА. Наушники снижают уровень звукового давления на 7–38 дБ в диапазоне

частот 125–8 000 Гц. Для предохранения от воздействия шума с общим уровнем 120 дБ и выше рекомендуется применять шлемофоны, оголовья, каски, которые снижают уровень звукового давления на 30–40 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц.

5.2. Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное 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.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 8$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения: $S = A \times B$, где A – длина, м;

B – ширина, м. $S = 8 \times 6 = 48$ м²

Коэффициент отражения свеж побеленных стен с окнами, без штор $r_c = 50\%$ свеж побеленного потолка $r_p = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600$ Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 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 (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по

формуле: $h = h_n - h_p$,

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом. Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3.5 - 1 - 0.5 = 2.0 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется

$$\text{по формуле: } L = \lambda * h = 1.1 * 2 = 2.2 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{6}{2.2} = 2.72 \sim 3$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{8}{2.2} = 4$$

Общее число светильников:

$$N = N_a * N_b = 3 * 4 = 12$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2.2}{3} = 0.7 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

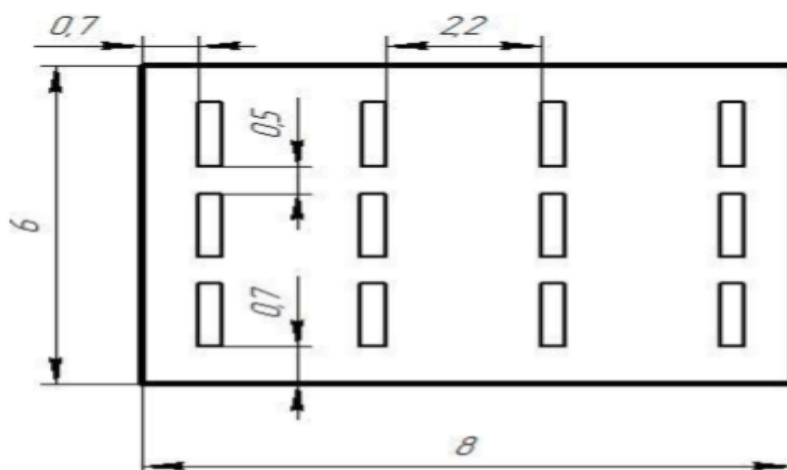


Рисунок 5.2 План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A+B}{h+(A+B)} = \frac{8+6}{2.0+(8+6)} = 1.714$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $r_p = 70\%$, $r_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,47$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{24 \cdot 0.47} = 2106.38 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} * 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} * 100\% = \frac{2600 - 2106,38}{2600} * 100\% = 18,9\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 18,9\% \leq$,необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.3 Анализ опасных факторов производственной среды

5.3.1 Факторы электрической природы

Корпус электродвигателя или трансформатора, арматура электрического светильника или трубы электропроводки не находятся под напряжением относительно земли благодаря изоляции от токоведущих частей. Однако в случае повреждения изоляции любая из этих частей может оказаться под напряжением, нередко равным фазному. Электродвигатель с пробитой на

корпус изоляцией обычно соединен с машиной, которую он приводит в движение.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА. Кроме того, на установках высокого напряжения возможен удар электрическим током без прикосновения к токоведущим элементам, в результате утечки тока или пробоя воздушного промежутка. Сила поражения зависит от мощности разряда, от времени воздействия, от характера тока (постоянный или переменный), от состояния человека — влажности рук и т. п., а также от места соприкосновения и пути прохождения тока по организму.

Последствия поражением электрически током:

- Из-за высокого электрического сопротивления человеческих тканей происходит довольно быстрое их нагревание, что может вызывать ожоги.

- Даже сравнительно малые напряжения, порядка 110—230 В, при кратковременном контакте с грудной клеткой могут вызывать сбой в работе сердечной мышцы (60 мА для переменного тока, 300—500 мА для постоянного). Удар током также используется для восстановления работы сердца, таким образом устраняя эффект фибрилляции. Такой прибор называется дефибриллятором.

- Удар током может вызвать сбой в работе нервной системы, например, беспорядочные сокращения мышц. Повторяющиеся удары могут вызвать невралгию. Острая электротравма может стать причиной нарастающей асистолии.

- При поражении головы электрическим током возможна потеря сознания.

Основными мерами защиты от поражения током являются: обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением, для

случайного прикосновения; защитное разделение сети; устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрооборудования, что достигается применением малых напряжений, применением двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и др.; применение специальных защитных средств - переносных приборов и приспособлений; организация безопасной эксплуатации электроустановок.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями.

5.3.2 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

1. применение изоляции;
2. недоступность токоведущих частей;
3. применение малых напряжений;
4. изоляция электрических частей от земли.

Рабочее помещение относится ко второй категории по степени опасности поражения электрическим током – помещения с повышенной опасностью, поскольку в помещении находится сырые с относительной

влажностью воздуха более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей +30°C; с полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, металлоконструкций зданий и технологического оборудования, допускающих одновременное соприкосновение с ними. Безопасные номиналы $I \leq 0.1 \text{ A}$, $U \leq 36 \text{ В}$, $R_{\text{заземления}} \leq 4 \text{ Ом}$.

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках.

К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

5.3.3 Давление

Баллоны - закрытые металлические сосуды (стандартные и нестандартные) для хранения, транспортировки сжатых, сжиженных или растворенных газов. Они изготавливаются из бесшовных труб (углеродистая или легированная сталь).

Объекты котлонадзора - это паровые и водогрейные котлы, сосуды, работающие под давлением, и трубопроводы пара и горячей воды.

Перечисленное оборудование и трубопроводы представляют собой объекты повышенной опасности, разрушение которых в эксплуатации может вызвать большой материальный ущерб, а также другие тяжелые последствия.

В лаборатории используются сосуды и аппараты, работающие под давлением. Они являются источником повышенной опасности для

окружающих. Основная опасность заключается в том, что в случае разрушения такого сосуда или аппарата может произойти значительное высвобождение энергии вследствие адиабатического расширения газа или пара, - так называемый физический взрыв. Так, мощность взрыва (разрыва) сосуда вместимостью 1 м³, в которой находится воздух под давлением 1 МПа (10 кгс/см²), составляет 13 МВт. Если в сосуде при тех же условиях находится водяной пар, то мощность взрыва уже будет около 200 МВт[43]. В результате такого взрыва могут произойти значительные разрушения и тяжелые травмы людей.

Каждый работник должен быть обеспечен спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с Типовыми отраслевыми нормами бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты и Коллективным договором.

В случаях травмирования или недомогания необходимо прекратить работу, известить об этом руководителя работ и обратиться в медицинское учреждение. За невыполнение данной инструкции виновные привлекаются к ответственности согласно законодательству Российской Федерации.

5.4 Региональная безопасность

Охрана окружающей среды — комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу. Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Подложки, которые имеют дефекты, то есть не пригодные для дальнейшей работы, отправляются на переплавку.

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

5.4.1 Защита атмосферы

Энергопотребление устройств, работающих почти круглые сутки, имеет особое значение. Ведь те продукты, у которых этот показатель велик, не только обходятся покупателям дороже, но и наносят вред окружающей среде. В настоящий момент наиболее строгим из существующих мировых стандартов экологичности для компьютерной техники является стандарт ТСО-99. Вопрос об утилизации старого оборудования предусматривается российским законодательством и международными требованиями стандартов «ISO 14001:2004» (система экологического менеджмента) и «ISO 9001:2008» (система менеджмента качества). К сфере защиты ЗА и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

5.5. Организационные мероприятия обеспечения безопасности.

Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда. Существуют следующие требования по организации рабочих мест:

1. Рабочий стол должен регулироваться по высоте в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности его высота должна составлять 725 мм. Оптимальные размеры рабочей поверхности столешницы - 1400x1000 мм.

Под столешницей рабочего стола должно быть свободное пространство для ног с размером по высоте не менее 600 мм, по ширине - 500 мм, по глубине - 650 мм. На поверхности рабочего стола для документов необходимо предусматривать размещение специальной подставки, расстояние которой от глаз должно быть аналогично расстоянию от глаз до клавиатуры, что позволяет снизить зрительное утомление.

2. Рабочий стул (кресло) должен быть снабжен подъемноповоротным устройством, обеспечивающим регулировку высоты сидений и спинки; его конструкция должна предусматривать также изменение угла наклона спинки. Рабочее кресло должно иметь подлокотники. Регулировка каждого параметра должна легко осуществляться, быть независимой и иметь надежную фиксацию. Высота поверхности сидения должна регулироваться в пределах 400-500 мм. Ширина и глубина сиденья должна составлять не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки должна быть не менее 300 мм, ширина - не менее 380мм. Радиус ее кривизны в горизонтальной плоскости - 400 мм. Угол наклона спинки должен изменяться в пределах 90-110° к плоскости сиденья. Материал покрытия рабочего стула должен обеспечивать возможность легкой очистки от загрязнения. Поверхность сиденья и спинки должна быть полумягкой, с нескользящим, не электризующим и воздухопроницаемым покрытием.

3. На рабочем месте необходимо предусматривать подставку для ног. Ее длина должна составлять 400 мм ширина - 300 мм. Необходимо предусматривать регулировку высоты в пределах от 0 - 150 мм и угла её наклона в пределах 0 - 200. Она должна иметь рифленое покрытие и бортик высотой 10 мм по нижнему краю.

Виды деятельности подразделяются на следующие группы:

1. группа А - работа по считыванию информации с ВДТ или ПЭВМ с предварительным запросом;
2. группа Б - работа по вводу информации;
3. группа В - творческая работа в режиме диалога.

Для видов деятельности устанавливаются три категории (I, II, III) тяжести и напряженности работы с ПЭВМ и ВДТ. Время непрерывной работы для I кат. - 2 часа; для II и III категории 1,52 часа. Сумма времени регламентированных перерывов при 8 - часовом рабочем дне составляет для I кат. - 30 мин.; для II кат. - 50 мин.; для III кат. - 70 мин. Режим труда и отдыха операторов, работающих с ЭВМ, должен быть следующим: через каждый час интенсивной работы необходимо устраивать 15 - минутный перерыв, при менее интенсивной через каждые 2 - часа. Эффективность регламентируемых перерывов повышается при их сочетании с производственной гимнастикой. Производственная гимнастика должна включать комплекс упражнений, направленных на восполнение дефицита двигательной активности, снятие напряжения мышц шеи, спины, снижение утомления зрения. Она проводится в течение 5 - 7 мин. 1 - 2 раза в смену.

5.5.1 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории А_н, Б_н, В_н, Г_н и Д_н.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Б - производства, связанные с применением жидкости с температурой вспышки паров 28 ... 120°C и горючих газов, нижний предел взрываемости которых более 10% к объему воздуха, применением этих газов и жидкостей в количествах, которые могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси, а также производства, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие волокна или пыль в таком количестве, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси. Помещение лаборатории можно отнести ко 2-ой группе по степени опасности развития пожара, характеризующейся достаточно серьезной пожарной нагрузкой, поскольку в лаборатории находится достаточное количество электрического оборудования, а также наличествуют легковоспламеняющиеся вещества

(спирт, бензин и др.). Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Средства индивидуальной защиты:

- Защитные пластиковые каски.
- Защитные очки.
- Щиты ограждения.
- Различные респираторы и противогазы.
- Рукавицы.
- Предохранительные пояса и страховочные канаты.
- Комплекты для защиты работающего от электрической дуги (термостойкие костюмы).

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и

электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Ионные и лазерные установки должны компоноваться, а входящие в их состав блоки размещаться с учетом мер, обеспечивающих помехоустойчивость управляющих и измерительных цепей этих установок от электромагнитного воздействия, вызываемого флуктуацией газового разряда,

обуславливающей характер изменения нагрузки источника питания (по ПУЭ, 1999).

Как известно причины возникновения пожаров может быть: неосторожное обращение с огнём; несоблюдение правил эксплуатации производственного оборудования и электрических устройств; самовозгорание веществ и материалов; разряды статического электричества; грозовые разряды. Опасные факторы пожара, воздействующие на людей:

- высокая температура среды в зоне горения, открытый огонь, искры;
- дым образование, токсичные продукты горения;
- пониженная концентрация кислорода в зоне пожара за счет его роли как окислителя в химических реакциях при горении;
- обрушение конструкций здания, падение обгоревших предметов;
- вероятность взрыва.

Высокая температура в зоне горения может привести к ожогам или сгоранию кожного покрова тела и внутренних органов человека, вызвать потерю несущей способности строительных конструкций зданий и сооружений, их обрушение.

Дым образование чрезвычайно опасно для человека. При пожарах выделяется большое количество дыма. Дым — сложная смесь газообразных и мелкодисперсных продуктов горения. Большинство составляющих дыма для человека небезопасны. Их вдыхание приводит к острым отравлениям.

Исходя из выше сказанного, неотъемлемой частью комплекса защитных мероприятий на рабочем месте являются мероприятия, направленные на обеспечение противопожарной безопасности. Необходимо:

- Периодически проверять состояние пожарной безопасности объекта;
- Обеспечить содержание в постоянной исправности систем противопожарной защиты (противопожарного водопровода, установок сигнализации, автоматического пожаротушения и др.). В случае неисправности или выхода из строя этих систем принимать меры к приведению их в работоспособное состояние;

-Организовать противопожарную подготовку (противопожарный инструктаж, пожарно-технический минимум) подчиненных работников.

-Не допускать к работе лиц, не прошедших противопожарного инструктажа.

В нашем случае наиболее вероятным источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

Предусмотренные в лаборатории средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02.-85) огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

При обнаружении обрыва проводов питания, неисправности заземления и других повреждений электрооборудования, появления запаха гари необходимо немедленно отключить питание и сообщить об аварийной ситуации руководителю отдела (ответственному) и дежурному электрику.

При обнаружении человека, попавшего под напряжение, немедленно освободить его от действия тока путем отключения электропитания и до прибытия врача оказать потерпевшему первую медицинскую помощь.

При возгорании оборудования по питанию и принять меры к тушению очага пожара при помощи углекислого или порошкового огнетушителя, вызвать пожарную команду и сообщить о происшествии ответственному по пожарной безопасности отдела.

В случае, невозможности самостоятельного тушения возникшего пожара, необходимо эвакуироваться согласно плану, представленному на рисунке 6.5, предварительно плотно закрыв за собой дверь.

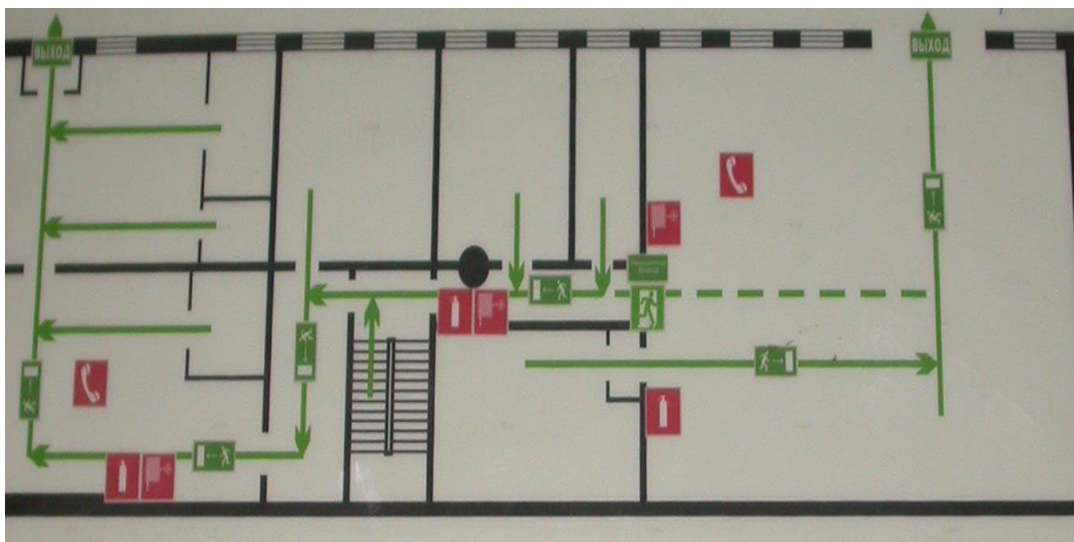


Рисунок 5.5.1 План эвакуации

5.5.2 Организационные защитные мероприятия

При поступлении на работу с каждым с сотрудником проводится инструктаж по технике безопасности, что незамедлительно фиксируется в соответствующем журнале.

Каждый сотрудник знакомится с правилами оказания первой помощи при поражениях электрическим током, в помещении лаборатории находится аптечка со всеми необходимыми медикаментами.

На стене вывешивается инструкция по технике безопасности, план эвакуации при пожаре.

5.5.3 Меры по технике безопасности на рабочем месте.

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группу допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.

2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 40 Ом.

4. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к

заниженной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

5. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

6. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

7. Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.

8. Недопустимо под напряжением проводить ремонт средств вычислительной техники и периферийного оборудования. Ремонт электроаппаратуры производится только специалистами-техниками с соблюдением необходимых технических требований.

9. Во избежание поражения электрическим током, при пользовании электроприборами нельзя касаться одновременно каких-либо трубопроводов, батарей отопления, металлических конструкций, соединенных с землей.

10. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

Вывод к пятому разделу

Были рассмотрены различные чрезвычайные ситуации при работе на установке и поведение в них, а также правила работы с установкой в целях предотвращения несчастных случаев. В целях практической работы, был произведен расчет искусственной освещенности рабочей зоны, результатом которого является соответствие рассчитанного типа ламп ЛД.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ВСЕЙ РАБОТЕ.

При подготовке данной выпускной квалификационной работы были изучены особенности ионно-плазменного азотирования внутренних поверхностей протяженных отверстий в деталях.

Были исследованы режимы работы тлеющего разряда для упрочнения протяженных полостей стальных деталей двух видов.

Было показано, что тлеющий разряд в силу своей специфики имеет ряд ограничений, то есть, чтобы преодолеть эти ограничения в ходе работы было опробовано устройство, которое обеспечивает создания дополнительного анода для улучшения горения самого разряда.

Это позволяет распределить тлеющий разряд внутри полости, и тем самым удастся нагреть и привести процесс упрочнения именно внутри полости этого цилиндра.

По экспериментальным данным измерения микротвердости упрочненных слоёв, удалось установить глубину упрочнённого слоя, величину упрочнения и равномерно распределения этого слоя по всей длине трубы.

Список литературы

1. Гусев Г.А. Тлеющий разряд в технологии ЭВП. ЦНИИ Электроника Москва 1980, 18-21-23с.
2. Борисенок Г.В. и др Справочник. Химико-термическое обработка металлов и сплавов 1981. 424с
3. Похмурский В.И. Коррозионно-усталостная прочность сталей и методы его повышение-Киев; Наукова дума, 1974. 184 с., ил.
4. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Структура и прочность азотированных сплавов. М.: Металлургия, 1982, 192с.
5. Арзамасов Б.Н. и др. Ионная химико – термическая обработка сплавов. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 400с.
6. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. и др. Теория и технология азотирования. М.: Металлургия, 1991, 320с.
7. Кибальникова О.В., Михайлова А.М., Серянов Ю.В. и др. Влияние магнитного поля на азотирование сталей системы Fe – Ni – Cr. ФХОМ, 2002, №3, с.86 – 89.
8. Бабад-Захряпин А.А., Кузнецов Г.Д., Радиационно-стимулируемая химико термическая обработка, М.: Энергоиздат, 1982. - 182 с.
9. R.Wei. Low energy, high current density ion implantation of materials at elevated temperatures for tribological applications. Surf.Coat.Technol., 1996, v.83, p.218 – 227.
10. Панайоти Т.А. Создание максимальной насыщающей способности газовой среды при ионном азотировании сплавов. ФХОМ, 2003, №4, с.70 – 78.
11. R. Wei, J.J.Vajo, P.J.Wilbur et. al. A comparative study of beam ion implantation and nitriding of AISI 304 stainless steel. Surf.Coat.Technol., 1996, v.83, p.235 – 242.

12. Bannykh O.A., Zinchenko V.M., Prusacov B.A. et. al. Development of nitriding in Russia. Fourth period (1980 – present time): new directions in the development of LTCTT. *Metal Science and Heat Treatment*, v.43, Nos.3 – 4, 2001, p.131 – 137.
13. Akgun Alsan, Mehmet Karakan, Auhan Gelik. The investigation of mechanical properties of ion – nitrided AISI SI40 low – alloy steel. *Materials Characterization*. 48 (2002), p.323 – 327.
14. Sanchette F., Denconde E., Burvson M. et. al. Single cycle plasma nitriding and hard coating deposition in a cathodic arc evaporation device. *Surf.Coat.Technol.*, 1997, v.94-95, p.201 – 207.
15. Efsthios I. Meletis. Intensified plasma – assisted processing: science and engineering. *Surf.Coat.Technol.*, 2002, v.149, p.95 – 113.
16. Белый А.В., Кукареко В.А., Тарасевич И.Ю. и др. Влияние плотности ионного тока на структурные параметры и свойства поверхностных слоев хромосодержащих сплавов железа, модифицированных ионами азота. *ФХОМ*, 2000, №4, с.11 – 17.
17. Щанин П.М., Коваль Н.Н., Гончаренко И.М., Григорьев С.В. Азотирование конструкционных сталей в газовых разрядах низкого давления. *ФХОМ*, 2001, №3, с.16 – 19.
18. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали. М.: Машиностроение, 1976, 256с.
19. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико – термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985, 256с.
20. I.M. Goncharenko, S.V.Grigoriev, I.V.Lopatin et.al. Surface modification of steels by complex diffusion saturation in low pressure arc discharge. *Surf.Coat.Technol.*, 169-170 (2003), p.419 – 423
21. D.P.Shashkov. Effect of nitriding on mechanical properties and wear resistance of titanium alloys. *Metal Science and Heat Treatment*. Vol.43, Nos.5-6, 2001.

22. G.S.Fox-Rabinovich, N.A.Buche, A.I.Kovalev et.al. Impact of ion modification of HSS surfaces on the wear resistance of cutting tools with surface engineered coating. *Wear*, 249 (2001), p.1051-1058.
23. J.C.A.Batista, M.C.Joseph, C.Godoy et. al. Micro-abrasion wear testing of PVD TiN coatings untreated and plasma nitriding AISI H13 steel. *Wear*, 249 (2002), p.971-979.
24. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. *Материаловедение*. М.: *Металлургия*, изд. 6е перераб. 1989, 360с.
25. Григорович В.К. *Твердость и микротвердость металлов*. М.: *Наука*, 1976, 102с.
26. *Износостойкость*. Под ред. Благоднравова А.А. М.: Изд. "Наука", 1975, 265с.
27. Шиврин О.Н. *Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах*. Петрозаводск, 1980, 108с.
28. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. *Рентгенографический и электронно – оптический анализ.: учебное пособие для вузов изд.4-е доп.и перераб.-М.: "МИСИС", 2002, 360с.*
29. Фельдман Л., Майер Д. *Основы анализа поверхности и тонких пленок*. Пер. с англ. М: *Мир*, 1989, 344с.
30. Борисов Д.П., Гончаренко И.М., Коваль Н.Н., Тухфатулин А.А. и др. Ионно – плазменное формирование износостойких слоев на поверхности конструкционной стали. *ФХОМ*, 1997, №4, с.40 – 44.
31. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. *Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия*. М.: *Металлургия*, 1982, 631с.
32. Борисов Д.П., Коваль Н.Н., Щанин П.М. Генерация объемной плазмы дуговым разрядом с накаливаемым катодом. *Изв. вузов. Физика*, т.37, 1994, №3, с.115-120.

Приложение А
(обязательное)

ВВЕДЕНИЕ:

**ГЛАВА 1. ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ
МАТЕРИАЛОВ. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Каримов А.К..		

Консультант школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коростелева Е.Н.	К.Т.Н.		

Консультант школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Демьяненко Н.В.			

Приложения А

INTRODUCTION

In recent years, the greatest preference is given to technological processes based on the use of ion and plasma flows. One of the most significant advantages of ion – plasma technologies is the accuracy and efficiency of process parameters control. Among a wide variety of technological methods for processing details with charged particle fluxes, one of the main directions should be distinguished, which allows to significantly change the properties at a depth of several hundred microns from the surface: a change in the composition of the surface layer of the metal, based on diffusion chemical-thermal processes. CTT (chemical–thermal treatment) combines thermal and chemical effects on metals and alloys and is in the process of diffusion saturation of the surface layer of the material with various chemical elements (CR, Al, Si solid materials and gases C, N, O, B, etc.). With this method of processing is a change not only in the chemical composition, but also, as a consequence of phase transformations, the structure of the metal, which allows to obtain a large difference between the properties of the core and the surface.

Among the majority of CTT methods, studied and known to date, nitriding is the most common and used, along with cementation and HFQ-current, a method of hardening in engineering. This method of surface treatment at temperatures of the order of $T \sim 500$ °C (not higher) makes it possible to significantly increase the hardness and wear resistance of the workpieces, as well as provide high corrosion resistance in corrosive environments. The most modern and efficient processes today are those in liquid salt melts and in glow discharge plasma.

However, in real production in the manufacture of a product where the achievements of vacuum-plasma methods could be used, currently it is often preferred to use traditional, proven over the years, but obsolete technology, for example, instead of ion-plasma nitriding – traditional cementation of steel parts in a solid carburetor, followed by surface hardening of high frequency currents. Another example is the galvanic coating (for example, chrome) on the internal working surface of the cavities of any parts. This circumstance is probably caused

by the insufficiently known at present the effectiveness of vacuum methods of plasma treatment for each specific case, or by unsatisfactory results of some individual episodic cases of using of any methods of processing real products.

In connection with the foregoing, the tasks of developing new approaches and principles of the organization of ion-plasma nitriding technologies used for processing of certain types of surfaces of real machine-building parts are becoming topical. In particular, the topic of hardening in the glow discharge of internal cavities of different configuration and cross-section, as well as the development and implementation of new types of equipment that guarantee the use of a real positive result of improving the properties of products is very relevant. It is the study of these issues is devoted to the proposed protection of this final qualifying work.

The first Chapter contains a literature review, which analyzes the methods of nitriding the quality of the layers obtained and with new characteristics for the equipment for proving the nitriding process. The second Chapter presents the materials and equipment used in the course of this work justified their choice. The third Chapter presents the experimental results of the study of hardening of cavities of different diameters, shows the features of the processes of establishing the loan connection of the process parameters with the characteristics of the hardened layers.

Throughout the work, the processes of hardening in the glow discharge are analyzed, both in terms of studying the phenomena and patterns occurring in the plasma and in terms of changing the properties of the inner surface of the workpieces. Experimental studies were carried out on the equipment of the laboratory of plasma emission electronics at the Institute of High-Current Electronics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk.

CHAPTER 1. CHANGES IN THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF THE SURFACE MATERIALS. BASIC CHARACTERISTICS AND METHODS OF IMPLEMENTATION.

The surface properties can be changed in the necessary direction in various ways, and these methods can be divided into two by giving out;

- 3) Applying a new material to the surface with the necessary properties;
- 4) Changes in the composition of the surface layer of the metal, which provided the desired change in properties;

In the first case, such as well known coatings, such as galvanic, chemical, surfacing, etc., are used. On the surface of the metal alloys, non-metallic materials are also applied with enamel, paint, and various synthetic materials.

In the second case, the surface layers of the metal undergo a diffusion chemical-thermal treatment (CTT), as a result of which the surface of the article forms a new alloy different from the core.

CTT allows to obtain in the surface layer of the product an alloy of practically any composition and, consequently, to provide a set of necessary properties-physical, chemical, mechanical, etc.

In the coming time, a lot of experience has been accumulated on the application of various types and methods of CTT such as cementation, borating and nitriding.

1.1. MAIN TECHNOLOGIES OF CHEMICAL-THERMAL TREATMENT OF METALS.

Any CTT process involves three main stages:

4. reactions occurring in the external environment (formation of active gas);
5. adsorption and absorption of gas atoms on a metal surface;
6. diffusion - the movement of adsorbed atoms inside the metal;

Cementation - this process is widely used in industry. It allows you to create a layer on the working surface of the part that has a high hardness, wear resistance,

erosion resistance, contact endurance. The main features of the process: mainly low-alloyed carbon steels are treated, the cutting temperature is $T \sim 900-1000 \text{ }^\circ\text{C}$, the thickness of the layers $d \sim 1,0-1,3 \text{ mm}$, with the weight of the packing 600-700 kg requires subsequent hardening, grinding and polishing. To obtain 1.3-1.6 mm thick layer, the exposure at $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ is increased by 1 hour.

Borating - saturation of the surface layers of metal and boron alloys - is carried out mainly with a view to increasing their surface hardness and wear resistance and corrosion resistance. Hardening of the surface layer and its thickness by the borating process can be obtained in various ways, for example, sealed containers at a temperature of $900-1050 \text{ }^\circ\text{C}$ in 2-6 hours can receive 50-300 microns, and a liquid (electrolytic) method at $800-1000 \text{ }^\circ\text{C}$ in 2- 6 hours can receive 60-450 microns. Gas (without electrolysis) at $900-1050 \text{ }^\circ\text{C}$ 2-6 can be obtained 40-250 microns. The hardness and thickness of the layers depends on the composition of the gas mixture%.

Aluminizing is the process of diffusion saturation of the surface of metals and alloys with aluminum, in order to increase the heat resistance of corrosion and erosion resistance. Currently, carbon and alloy steels, cast iron, heat-resistant and heat-resistant steels and alloys, refractory metals and alloys based on titanium, copper and other materials are subjected to aluminizing. Many methods of aluminizing have been developed, but the industrial applications have mainly been found in three: powder mixtures, in baths with expanded aluminum and metallization of the surface of metals and alloys with aluminum followed by diffusion annealing.

Of all the known methods, the most widespread and technological equipment is connected with nitriding.

Nitriding - is the saturation of the surface layer of steel with nitrogen when heated to the appropriate medium from 500 to $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. There are two types: low

temperature up to 500 and high temperature over 600 to 900 (for titanium and high-alloy steels).

As a result of nitriding, steel acquires a high hardness from 600 to 1300 kg / mm², depends on doping on the surface, which does not change when heated to 400-450 ° C; low tendency to scuffing and high resistance to wear; high fatigue strength and cavitation resistance; good resistance to corrosion in the atmosphere, fresh water and steam.

In the process of nitriding, workpieces experience slight (less significant) deformation.

1.2. BASIC METHODS OF NITRATION OF STEEL PARTS

Nitriding methods are often distinguished by the aggregate nitrogen state in the initial state:

- liquid: Carbonitriding (cyanidation) in the melt of salts
- gaseous: Gas nitriding and carbonitriding
- ionized gas: nitriding and carbonitriding in a glow discharge plasma.

Often, different types of discharges are used to activate processes in gas medium. The most widespread and often used in mechanical engineering method of hardening of steels is nitriding in conditions of a glow discharge - ion nitriding. Most often this process is carried out in the environment of three gases (Nitrogen, Argon, Methane). Due to the sputtering effect of the ionized gas, saturation in a glow discharge is carried out more intensively than other nitriding methods. As a result of bombardment with positively charged ions, the surface is heated. Therefore, in this case, the use of special technological units for additional heating of the workpieces is excluded.

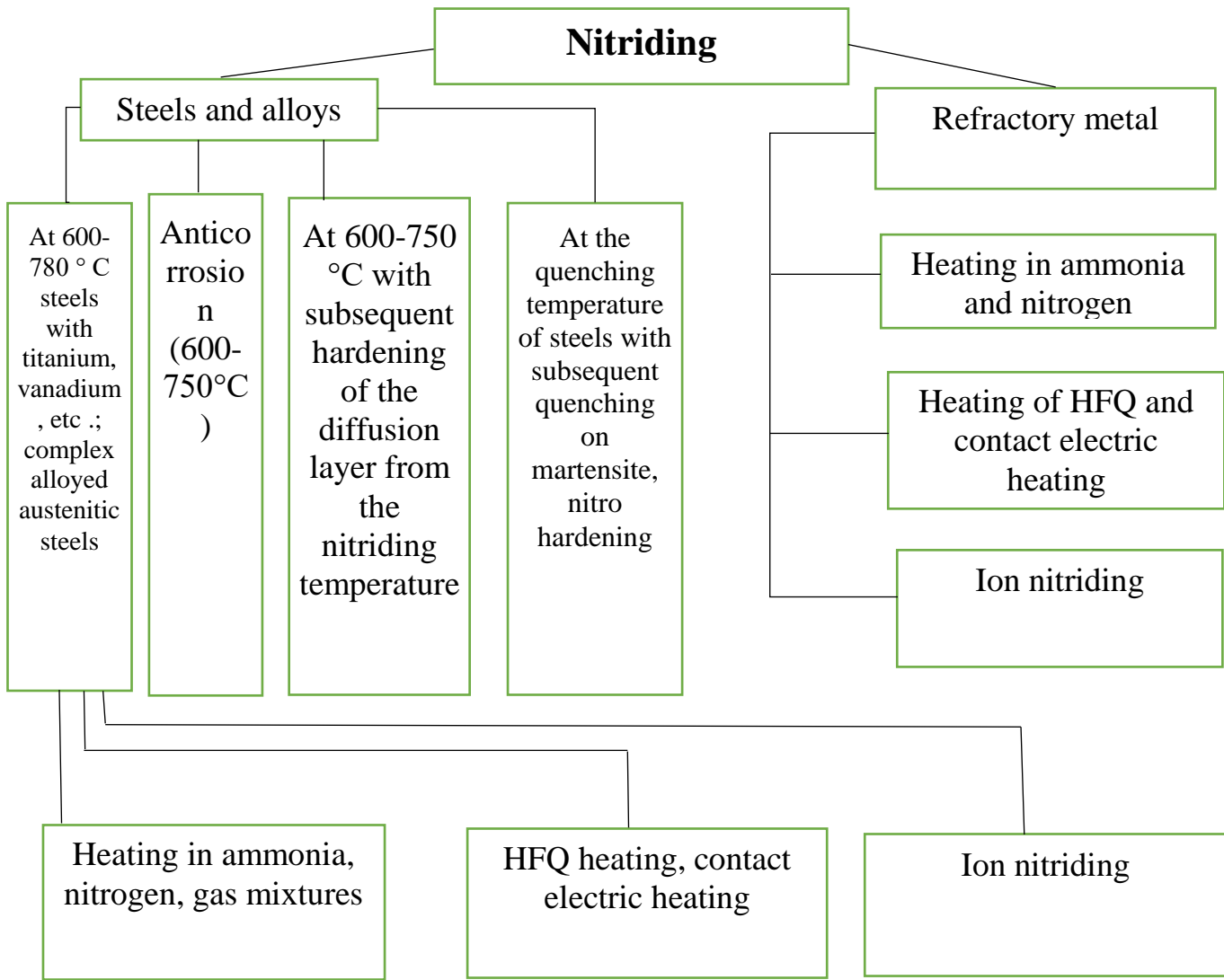


Fig.1.1. Scheme of technological options for nitriding.

Nitriding can be subjected to steel of various structural classes: structural, tool, pearlitic, ferritic, austenitic, heat-resistant, martensitic-aging, etc. The nitriding process, widely used in industry, can significantly increase such important characteristics as strength, hardness, wear resistance, fatigue and corrosion resistance of steels and alloys.

When nitriding metal, multilayer diffusion layers are formed, consisting of the surface zone of the chemical compound, often called the white layer and the diffusion sublayer - the internal nitriding zone. When nitriding the iron, phases are formed in the form of successive layers $\alpha \rightarrow \gamma' (\text{Fe}_4\text{N}) \rightarrow \varepsilon (\text{Fe}_{2-3}\text{N})$, which are

arranged according to the state diagram Fe – N. The zone of chemical compounds is most often represented by two nitrides: the ϵ -phase type with a hardness of 150-300 HV and the γ -phase type having a higher hardness of ~ 550 HV compared to the ϵ -phase (400 HV), which is brittle enough. Therefore, the bond zone is called nitride. The properties of the nitride zone are determined by its thickness and phase uniformity. Depending on the ratio of the γ and ϵ - phases, the degree of alloying of the steel with nitride-forming elements (aluminum, titanium, chromium, vanadium, etc.), as well as nitrogen concentrations in these phases, the hardness of the nitride zone is in the range 1000-1500 HV. The alloying, for example, of the γ - phase with titanium and especially aluminum makes it possible to increase its hardness to 1100 - 1200 HV. The diffusion zone is a hetero-phase zone based on a highly nitrogenous α -solid solution with excess emissions of γ -phase nitrides or special nitrides. The main indicators characterizing the diffusion layer are: surface hardness; the hardness distribution along the thickness of the nitride zone and the internal nitriding zone; hardness change gradient per unit thickness of the layer (ΔH / unit length); effective layer thickness. The hardness of the diffusion zone is lower than that of the nitride band and monotonically decreases from the boundary of the two zones of the layer to the values of the hardness of non-nitrided steel. Nitriding regimes and the number of alloying elements significantly influence the hardness of the diffusion zone.

The determining parameter for ion nitriding is the pressure of the working gas. The change in the pressure value makes it possible to control the temperature of the process. Nitriding in the glow discharge is carried out at high pressures (100-500 Pa), which allows stable ignition and combustion of the discharge. The advantage of the method is also the simplicity of obtaining plasma in large volumes. However, due to the high pressure, it is necessary to apply a high combustion voltage, which increases the energy consumption. It should be noted that because of the high pressures of the ion nitriding process in the glow discharge, charged particles experience multiple collisions, and as a consequence have low kinetic energy. This amount of energy is insufficient to destroy the oxide

films formed on the surface during nitriding at high pressure and prevent the penetration of nitrogen into the sample. Therefore, it is necessary to introduce more than 5 percent of hydrogen into the vacuum chamber for reduction reactions from iron.

1.3 Nitriding in gas medium

1.3.1.Glow discharge

In recent years, the energy of the smoldering discharge is increasingly used in the technology of electronic warfare. A glow discharge is an independent discharge in gases with cold electrodes (cathode-anode) at currents 10^{-5} - 1A the voltage drop near the cathode is not less than 100 V. Visually, it is represented as an alternation of dark and luminous areas of different colors and intensity of luminescence between the electrodes.

A typical current-voltage characteristic of different types of discharges in gases at a pressure of 133 PA (1 mm Hg.V.)

In the current range 10^{-4} -- 10^{-1} A there is a normal glow discharge, whose current-voltage characteristic is a straight line parallel to the current axis, that is, the voltage between the electrodes does not depend on the current strength. This is explained by the fact that only part of the surface of the cathode is covered by the discharge and its area increases with increasing current, so that the current density remains constant.

The main energy processes ensuring the existence and maintenance of the discharge occur in the cathode regions of the discharge and the cathode proper. When the position of the cathode is changed, the cathode regions of the discharge are mixed with it, without changing its structure.

The positive column and the anode regions of the discharge are insignificant for the discharge, their role in providing a closed circuit of current in the discharge.

The existence of the discharge is provided by electrons emitted cathode when it is bombarded with positive ions which are accelerated by the blue field near the cathode and also due to the photoelectric effect due to the emission of atoms in the

discharge. These electrons are accelerated in the electric field when moving toward the anode produce ionization of atoms than generates new electrons towards the anode and ions bombarding the cathode and intensifying the emission. Based on the general law of the similarity of the gas discharges of Pashenn, a regularity is established; the potential for ignition of electrical discharges depends not on the pressure and distance between the electrodes, but on their products.

In the anomalous glow discharge of a work $L_k \cdot P$ decreases with increasing U_k . And the ratio j/P^2 increases sharply and the current density of the same values U_k increases with increasing gas pressure. In normal glow discharge current density $j : P \cdot 1.7 \cdot 10^4$ (мкА • см² • Па⁻²).

To obtain a higher current density, the use of argon is preferable to helium or hydrogen.

For identical materials of electrodes and gases at a fixed voltage, the current density increases with increasing pressure. The typical current-voltage characteristic for a glow discharge are covered in a number of regions in fig. 1.2. since the shape of the discharge is essentially determined by the mean free path of the charges (pressure) and the interelectrode plant l , then the transition to small $p \cdot l$ area of the normal discharge disappears and there are only horizontal and sharply increasing parts of the characteristics remain.

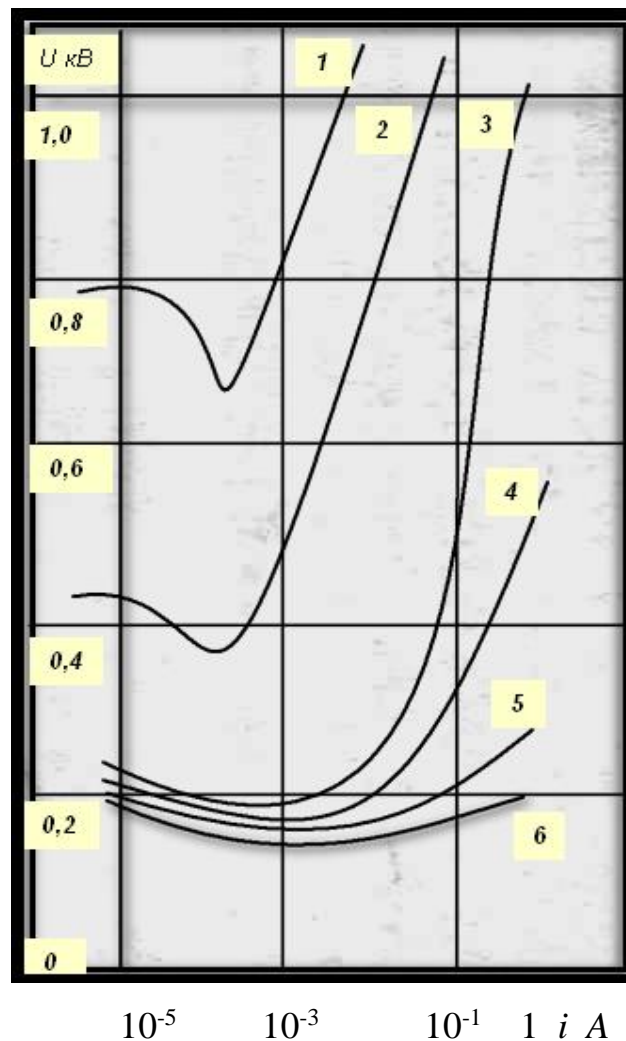


Fig 1.2. Current-voltage characteristic of a glow discharge in neon with copper electrodes at different pressures. Burning voltages up to 1 kV and $l = 16$ mm; 1- $p = 58.5$ Pa; 2 - $p = 66.5$ Pa; 3 - $p = 80$ Pa; 4 - $p = 133$ Pa; 5 - $p = 665$ Pa; 6 - $p = 1995$ Pa.

At currents of several amperes, the discharge goes into an arc. These steady-state currents in the gas are characterized by a low U_k . The differences between the arc and the glow discharge in the following;

- 6) a significant lower value of U_k (by an order of magnitude);
- 7) high current density at the cathode ($10\text{-}10^7 \text{ A} / \text{cm}^2$).

The lower limit of the current density of the arc ($10\text{-}10 \text{ A} / \text{cm}^2$) is overlapped by the upper limit of the current density at the cathode for an anomalous glow discharge.

The transition from the glow discharge to an arc discharge, occurs abruptly. In an anomalous glow discharge, to increase the current, it is necessary to increase the voltage U_a , since its current-voltage characteristic is increasing. The process of lifting U_a continues until the temperature of the cathode reaches 1520-2020 K. at such temperatures, the emission of electrons due to the bombardment of the cathode surface by positive ions becomes comparable in order of magnitude to the thermionic emission of the cathode.

$$W = K \cdot P^n \cdot 1.3 \cdot 10^2 \quad (1)$$

The main energy transformations in the glow discharge occur in the rolled-up area, approximately 85% of the discharge energy is converted at the cathode into a heat bond between the specific heat power at the cathode to heat. The relationship between the specific heat power at the cathode W of the gas pressure P is expressed by the dependence

1.3.2. Hollow cathode effect

If the shape of the cathode represents a cavity whose dimensions are commensurate with the dimensions of the cathode regions of the glow discharge, then the character of the cathode, other things being equal, will be different from a discharge with a flat cathode. For a hollow cathode, the distance between the electrodes L becomes uncertain, as different points of the surface of the hollow cathode are removed from the anode by different distances. At the surface of such cathode, there is an inhomogeneity in the distribution of j and U_k , the curvature of the equipotential surfaces of the electric field. As a result, due to the oscillation inside the band of a significant amount of fast electrons (the dinatron effect), the hollow cathode effect arises that in order to obtain a current a certain value in the discharge requires a different voltage than in the case of a conventional glow discharge with a flat cathode. The current inside the cathode cavity rises sharply

and the voltage across the discharge gap drops, then the conditions for burning the discharge are similar to the conditions for the transition of a glow discharge into an arc. The current varies to different degrees depending on the pressure change or the distance of the anode from the cavity of the cathode. As the distance decreases, the current rises rapidly, but changes insignificantly with decreasing pressure. Fig 1.3. shows comparative curves for the variation of the current of flat and hollow cathodes. The current-voltage characteristic of a discharge with a cathode floor can have regions with a falling characteristic and a negative differential resistance. The cause of the falling sections of the current-voltage characteristic can be the effect of atoms of the atomized cathode material. The discharge does not cover the cavity, but also the outer surface of the cathode. Therefore, the characteristics may reflect the presence of a bypass discharge from external surfaces.

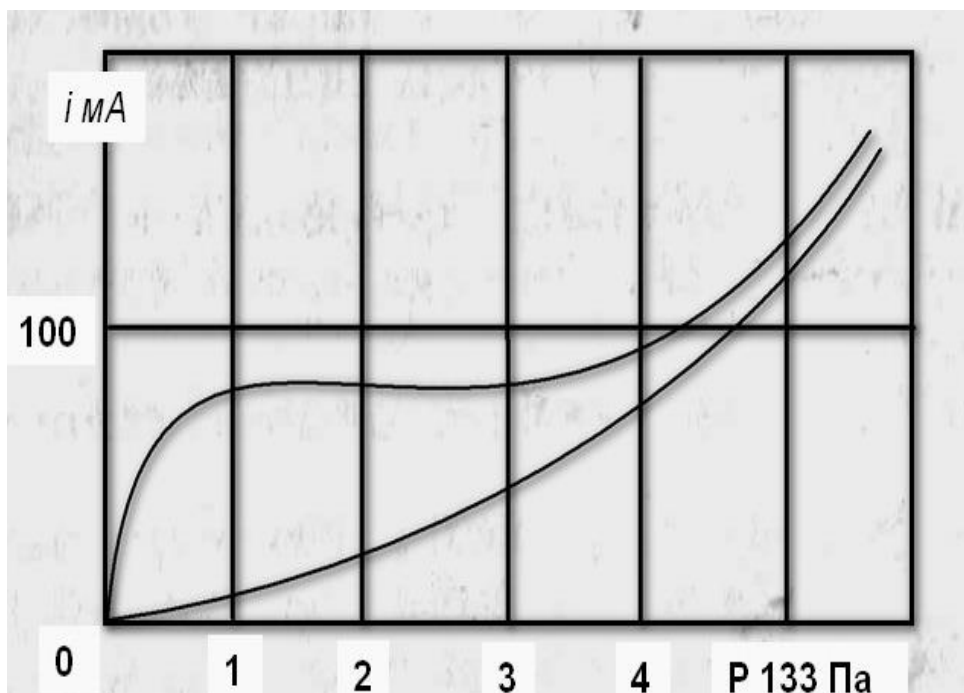


Fig 1.3. Changes in the current of hollow 1 and a flat 2 with a pressure for $U = 350$. In working gas hydrogen

In furnaces for gas nitriding (nitriding carbon, etc.), it became possible to obtain any gas mixtures, which opens the way for flexible "controlled" processes, on the basis of which it is possible to obtain the required surface layers on a wide

variety of materials and details. This creates conditions for highly productive special technological processes, as well as their numerous variants.

1.3.3. Uniformity heating of the cathode

Negative factors of the hollow cathode effect are the uneven sputtering of the cathode material and the transfer of material from the areas of the intense spray surface to the places where the sputtering is weak. With prolonged burning of the discharge, this process leads to a noticeable change in the shape of the region due to the reflow of the protrusions and edges of the cathode parts.

At cathode-anode distances less than 10 mm, the uniformity of heating the cathode part depends on the shape and location of the anode. A symmetrical mutual arrangement of the cathode and anode is necessary, and the shape of the latter is selected individually for each cathode node.

1.3.4. Stability of discharge and incoming processes

Due to the low specific modulation of heating by a normal glow discharge, the high-temperature treatment of most structural materials is carried out in the region of an anomalous glow discharge, that is, at the maximum permissible current conditions. However, an anomalous glow discharge with a high current density j is unstable form and easily passes into an arc discharge.

The shape of the cathode and the state of its surface, on the contrary, significantly affect the transition of a glow discharge into an arc discharge. There is observed selective attachment of the arc to the determination of the places on the cathode, as the rules farthest from the anode. The state of the surface of the cathode (purity) determines the maximum permissible discharge power: the more frequently the surface, the higher the heating power, an arc may arise. Thoroughly defatted parts that were cathode could be heated to a higher temperature without switching the discharge into an arc. The authors showed that the mechanism of a

glow discharge in an arc consists in the occurrence of short-term single arc discharges in sections of cavities and wedge gaps with further conversion and stabilization of their form of arc edges and protrusions.

The stability of burning of a glow discharge can be increased by the appropriate choice of the circuit of a high-voltage power supply unit of the discharge and the introduction of elements of the arc-assisted quenching.

1.4. Statement of the task and purpose of the work

The purpose of this work is to study the features of nitriding the plasma glow discharge of the inner surface of the extended holes in details for two types of steels.

To achieve this goal, it was necessary to perform the following tasks:

- 8) Selection of modes of glow discharge in which there is a uniform treatment of the inner surface of the cylindrical cavities (heating parts, measuring temperature, pressure, duration of processes).
- 9) Hardness and depth measurements of the nitrified layer depend on the material of the treated steel and on the process parameters (on the cavity diameter and the process parameter).
- 10) According to the experimental data of measurements of physical and mechanical properties of nitrified layers, to argue the advantages and limitations of this method.