

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) – Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АЗОТИРОВАНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 669.18:621.785.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ71	Кодиров Алиер Бахтиер угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова С. Н.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рагозин Д В	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Исаева Е. С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

15.04.01 «Машиностроение»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нано технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования, на защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности

P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение школы (НОЦ) материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ71	Кодиров Алиер Бахтиер угли

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АЗОТИРОВАНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (<i>Целью исследовательской работы: является разработка и применение на практике нового вида химико-термической обработки – электродуговое азотирование для улучшения эксплуатационных свойств, которое станет одним из преобладающих процессов обработки материалов и изделий</i>
--	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рагозин Д.В.
Социальная ответственность	Исаева Е.С.
Раздел выполненные на иностранном языке	Рыбушкина С.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Материалы, методы и оборудование

Materials, methods and equipment

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова С Н	к.ф-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ71	Кодиров А Б		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 122 страниц, 22 таблиц, 27 Рисунков, 73 Источников, 1 приложение.

Ключевые слова: азот, диффузии атомов азота, катод, покрытия, вакуумно-дуговые покрытия, твердость,

Объект исследования являются в третьей главе описывается ход экспериментов, показаны схемы установки образцов при испытаниях, графически предоставляются результаты экспериментов, фотографии азотированных слоев.

Целью исследовательской работы: является разработка и применение на практике нового вида химико-термической обработки – электродуговое азотирование для улучшения эксплуатационных свойств, которое станет одним из преобладающих процессов обработки материалов и изделий.

В данной работе были представлены наиболее эффективные схемы технологического процесса азотирования сталей в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда с учетом отрицательного потенциала, подводимого к обрабатываемым образцам. Предпринимались попытки сконструировать нагревательный прибор средней мощности для нагрева образца с возможностью применения в среде высокого вакуума.

Подводя итог по проделанной работе, можно сказать, что результаты данных исследований позволят ускорить процесс внедрения в производство метод азотирования сталей в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда.

Содержание

Введение.....	10
1. Основные виды и технологии азотирования сталей.....	13
1.1. Азотирование сталей.....	13
1.2. Основные технологии азотирования сталей и сплавов.....	14
1.3. Процессы формирования структуры азотированной зоны в конструкционных сталях.....	16
1.4. Азотирование в тлеющем разряде.....	19
1.5. Использование дуговых разрядов для азотирования материалов.....	22
1.6. Свойства азотированных сталей.....	23
2. Оборудование для азотирования сталей, материалы и методика исследований.....	27
2.1. Оборудование для азотирования сталей в дуговом разряде.....	27
2.2. Материалы для исследования.....	32
2.3. Технология подготовки образцов к испытаниям и исследованиям.....	33
2.4. Измерение микротвердости.....	35
2.5. Метод оптической металлографии.....	38
3. Исследование температурно-временных характеристик	41
3.1. Описание процесса азотирования на модернизированной установке «ННВ-6.6-И1».....	41
3.2. Изготовление дополнительного источника нагрева.....	47
3.3. Влияние напряжения смещения на динамику нагрева образца.....	53
4. Исследование параметров азотированных слоев и определение оптимальных режимов азотирования	57

4.1.	Параметры и схема эксперимента	57
4.2.	Измерение микротвердости поверхностного слоя после азотирования при смещениях 400В, 600В, 900В	59
4.3.	Измерение толщины нитридной зоны азотированных образцов при смещениях 400В, 600В, 900	60
4.4.	Влияние режима азотирования на качество модифицированного слоя.....	62
5.	Финансовый менеджмент, ресурс эффективность.....	71
5.1.	SWOT-анализ.....	72
5.2.	Инициация проекта.....	74
5.2.1.	Организационная структура проекта	75
5.3.	Ограничения и допущения проекта	76
5.3.1.	Бюджет научного проекта	77
5.3.2.	Отчисления на социальные нужды	79
5.3.3.	Затраты на электроэнергию	79
5.3.4.	Затраты на водоснабжение	80
5.3.5.	Затраты на водоотведение	80
5.3.6.	Полная смета затрат на выполнение НИР	80
5.3.7.	Расчет прибыли	81
6.	Социальная ответственность	82
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...84	
6.2	Производственная безопасность	87
6.2.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов	88
6.2.1.1	Превышение уровня шума	89
6.2.1.2.	Вредные вещества	90

6.2.1.3. Отклонение показателей микроклимата.....	91
6.2.1.4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	92
6.2.1.5. Опасность поражения электрическим током.....	93
6.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.....	95
6.2.2.1 Превышение уровня шума.....	95
6.2.2.2 Вредные вещества	95
6.2.2.3 Отклонение показателей микроклимата	96
6.2.2.4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны	97
6.2.2.5. Опасность поражения электрическим током	98
6.3 Экологическая безопасность	99
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	100
Заключение	104
Список используемой литературы	107
Приложение	111

Введение

Основной технологической базой, определяющей развитие всей промышленности любого государства является машиностроительная отрасль. Поэтому темпы роста машиностроения должны в значительной мере превышать аналогичные показатели других отраслей народного хозяйства. В настоящее время в связи со сложностью выпускаемого технологического оборудования и его стоимости машиностроение сильно отстает от научно-технического прогресса. При конструировании и производстве современных машин и оборудования одним из обязательных требований является увеличение его производительности. Повышение загруженности и напряженности эксплуатации машин во многом влияет на их надежность. Потеря работоспособности лишь у одной детали достаточна для отказа машины в целом. Борьба с преждевременным износом детали и инструмента в настоящее время приобретает все большее значение, поэтому разрабатываются различные способы химико-термической обработки для повышения их эксплуатационных характеристик.

Актуальность. Работоспособность детали машин и инструмента во многом определяется состоянием поверхностного слоя. С ростом требований к качеству упроченного слоя, к показателям экономической эффективности процессов, к подбору материалов в зависимости от поверхностных свойств, диффузионному слою, а также вследствие увеличения объемной доли легированных сталей и сплавов в процессе производства деталей и инструмента, становится актуальным применение ионного азотирования.

В последнее время все большее развитие и применение получают методы и способы ионного азотирования. Они не только позволяют избавиться от недостатков традиционных методов, но и получить ряд преимуществ: возможность регулирования параметров обработки в широком интервале режимов и за счет этого – структуры, фазового состава, твердости,

износостойкости, шероховатости; высокую скорость насыщения; высокий класс чистоты поверхностей; большую экономичность процесса за счет значительного сокращения общего времени обработки; повышение коэффициента использования электроэнергии; процесс не токсичен и отвечает требованиям по защите окружающей среды.

Причиной повышенного внимания к проблеме высокотемпературного азотирования являются уникальные свойства поверхности изделия, которые формируются в результате обработки. Поэтому актуальное значение приобретает создание различных технологических вариантов ХТО, которые позволяют регулировать заданную структуру и фазовый состав поверхностного слоя, обеспечивающие оптимальные характеристики изделий.

Для преодоления вышесказанных недостатков и совершенствования процесса в направлении увеличения скорости формирования упрочненного слоя, ресурсосбережения, безопасности требуются новые технические решения. В данной работе в качестве решения таких проблем был предложен дуговой газовый разряд на основе безводородной плазмы, работающий при давлениях насыщающей среды в 1000 раз меньше, чем у тлеющего разряда. Этот способ позволяет сформировать диффузионные слои при температуре 550°C за 5-6 часов.

Целью исследовательской работы является разработка и применение на практике нового вида химико-термической обработки – электродуговое азотирование для улучшения эксплуатационных свойств, которое станет одним из преобладающих процессов обработки материалов и изделий.

Для достижения указанной цели нами были поставлены и решены следующие **задачи**:

- установить влияние выбранной для исследования термической обработки на исходное структурное состояние изучаемой стали;

- выбрать необходимые параметры обработки- диапазоны технологических параметров азотирования (температуры, составы насыщающих сред, продолжительность насыщения), позволяющие в широком интервале целенаправленно варьировать фазовый состав упрочненного слоя;
- определить комплекс экспериментальных методов исследования, позволяющих получить необходимую информацию о строении и свойствах выбранной стали после термической обработки;
- экспериментально установить особенности строения упрочненного слоя, его микроструктуру, фазовый состав и толщину.

Объект исследования – технологический процесс электродугового азотирования и его влияние на структуру стали, изменение прочностных характеристик.

Предмет исследования – физико-термические процессы формирования диффузионных упрочняющих слоев на поверхности стали марки 40Х.

Научная новизна работы состоит в совершенствовании на основе теоретических и экспериментальных исследований методом поверхностного упрочнения выбранной стали путем применения нового вида азотирования.

Практическая значимость заключается в обосновании эффективной технологии упрочнения стали, обеспечивающей высокие эксплуатационные свойства, в частности износостойкость и твердость.

Разработанная технология отличается высокой эффективностью, не требует использования дорогих и дефицитных материалов, а также отвечает требованиям экологической безопасности.

1 Основные виды и технологии азотирования сталей

1.1. Азотирование сталей

Азотирование – это один из видов химико-термической обработки изделий из сталей и сплавов, заключающийся в насыщении их поверхностного слоя азотом путем выдержки в течение определенного времени при повышенной температуре в активной среде с целью модификации различных функциональных свойств поверхности, таких как твердость, коррозионная стойкость, износостойкость, задиростойкость и т.д. [1, 4]. К настоящему времени разработано большое число методов диффузионного насыщения сталей и сплавов азотом: печное газовое азотирование [5], низкоэнергетичная ионная имплантация при повышенных температурах [6], лазерное азотирование [7], азотирование в тлеющем разряде [8, 9] и т.д. Приоритетными направлениями развития современной промышленности и науки в сфере модификации поверхностных свойств изделий являются повышение энергетической эффективности, экологической безопасности и производительности методов и установок, поэтому некоторые из существующих методов азотирования по этим критериям значительно устарели. Современным требованиям в наибольшей степени удовлетворяют ионно-плазменные методы азотирования сталей и сплавов, такие как низкоэнергетичная ионная имплантация, азотирование в тлеющем разряде, азотирование в плазме дугового разряда и другие аналогичные им, однако и у этих способов имеются недостатки, препятствующие их широкому распространению во многих отраслях промышленности. Поэтому разработка новых методов ионно-плазменного азотирования, а также модернизация уже существующих установок являются актуальными научными и техническими задачами.

1.2. Основы технологии азотирования сталей и сплавов

В основе азотирования лежит процесс диффузионного насыщения приповерхностного слоя нагретой детали азотом, для описания которого используется первое уравнение Фика для термически активированной диффузии [10]:

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x} \quad 1.2.1$$

где J – плотность потока вещества, D – коэффициент диффузии, C – концентрация растворенного вещества. Согласно этому закону основной движущей силой процесса диффузии является градиент концентрации внедренного вещества по толщине приповерхностного слоя. Кинетика же процесса азотирования обычно описывается параболической зависимостью (уравнением Вагнера) [11]:

$$\frac{d^2}{t} = D \quad 1.2.2$$

где d – толщина азотированного слоя, а t – длительность обработки. Интенсивность этого процесса зависит от коэффициента диффузии D , который, в свою очередь, определяется температурой процесса T и энергией активации диффузии E_a согласно уравнению Аррениуса:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad 1.2.3$$

На энергию активации диффузии E_a в значительной степени влияют состав и энергетическое состояние активных частиц газовой среды. Основными характеристиками, определяющими свойства азотированного слоя, являются микротвердость поверхности, распределение микротвердости по толщине модифицированного слоя, фазовый состав этого слоя, а также градиент изменения твердости на единицу толщины слоя. Изменение параметров обработки изделий (время выдержки, температура, давление и

состав газовой смеси, тип насыщающей среды) приводит к соответствующему изменению каждого из показателей, характеризующих упрочненный слой.

Основными механизмами упрочнения при азотировании сталей или сплавов являются, во-первых, формирование дисперсных нитридов легирующих элементов высокой твердости (CrN, AlN, TiN, VN и др), происходящее при диффузии атомов азота вглубь материала в результате химических реакций азота с этими элементами, а, во-вторых, образование твердого раствора азота в матрице азотируемого материала.

Одним из первых методов насыщения поверхностных слоев изделий азотом было печное газовое азотирование, которое получило широкое распространение в промышленности в 1920-х годах благодаря простоте оборудования и метода модификации. Обычно газовое азотирование проводится в специальных печах в атмосфере азотсодержащего газа, чаще всего аммиака (NH_3), который диссоциирует на молекулы азота и водорода при температуре более 500°C . Детали из различных сталей и сплавов выдерживаются при достаточно высокой температуре ($800 - 1200^\circ\text{C}$) в течение длительного времени (от 20 – 30 до 100 ч), в результате чего на поверхности формируются упрочненные слои толщиной от нескольких десятков до нескольких сотен микрон, в зависимости от азотируемого материала, с поверхностной микротвердостью, многократно превышающей исходную твердость изделия [14].

Одной из последних модификаций технологии газового азотирования является каталитическое газовое азотирование, в котором активной насыщающей средой является аммиак, диссоциированный и ионизованный с помощью каталитического элемента [15]. Использование катализатора существенно снижает интенсивность образования нитридов на поверхности и

увеличивает долю твердорастворной диффузии в процессе перехода азота из газовой среды в объем азотируемого изделия, что способствует формированию более толстых диффузионных слоев. Применение катализатора позволяет уменьшить температуру обработки до 400 – 600°С, и сократить время выдержки изделий до нескольких часов для формирования слоев, сопоставимых по толщине и другим характеристикам с упрочненными слоями, полученными методом традиционного газового азотирования. Однако использование в качестве рабочего газа аммиака создает проблемы, связанные прежде всего с экологической безопасностью, а также с взрывоопасностью установок.

1.3. Процессы формирования структуры азотированной зоны в конструкционных сталях

Формирование структуры азотированной зоны в конструкционных сталях происходит примерно так же, как и при азотировании чистого железа. Образующийся при азотировании сплавов железа модифицированный слой состоит из поверхностной зоны нитридов $\xi(\text{Fe}_2\text{N})$, $\varepsilon(\text{Fe}_{2-3}\text{N})$, $\gamma'(\text{Fe}_4\text{N})$ и диффузионного подслоя (твердого раствора азота на базе α - или γ -железа) – зоны внутреннего азотирования. Зона внутреннего азотирования α -фаза представляет собой азотистый феррит с ОЦК решеткой с периодом $\sim 0,286$ нм, причем азот занимает поры в решетке α -Fe. Азотистый аустенит γ -фаза имеет ГЦК решетку с периодом $\sim 0,360 \div 0,366$ нм при неупорядоченным расположением атомов азота в октаэдрических порах. Азот в α - и γ - фазах располагается также в вакансиях, на дислокациях и других несовершенствах решетки. Растворимость азота в α - и γ - фазах не превышает соответственно 0,11 % и 2,8 % по массе. Твердый раствор на базе нитрида Fe_4N , соответствующий γ' -фазе, кристаллизуется в ГЦК решетке из атомов железа с упорядоченным расположением атомов азота в центрах элементарных

кубов ($1/2, 1/2, 1/2$) с растворимостью азота в пределах 5,30 – 5,75 % по массе [15]. Периоды решетки равны: со стороны железа $a=0,379$ нм и со стороны азота $a=0,380$ нм. Эта фаза устойчива только до $T=670^{\circ}\text{C}$, при более высоких температурах она превращается в ϵ -фазу – твердый раствор на базе нитрида Fe_{2-3}N . Основой кристаллического строения ϵ -фазы является плотная гексагональная упаковка атомов железа, атомы же азота располагаются в порах, образующих подрешетку типа графита. При температуре выше 650°C эта фаза устойчива и имеет широкий интервал растворения азота в ней $\sim 4,5 - 11,0$ %. При высоком содержании азота (10-11 % по массе) в ϵ -фазе возникает хрупкая ξ -фаза (Fe_2N), образующаяся при охлаждении и имеющая ромбическую решетку с упорядоченно распределенными атомами азота. Ее кристаллическую структуру можно рассматривать как искаженную модификацию ϵ -фазы (псевдогексагональная). Содержание азота в ξ -фазе находится в узком диапазоне 11,07 – 11,32 % по массе, упаковка атомов азота самая плотная, в связи с чем, большое количество атомов азота вызывает сдвиг атомов железа. Этот высший нитрид железа, обладающий низкой пластичностью, сопровождающейся охрупчиванием поверхности и появлением пор, наименее устойчив и распадается при температуре выше 450°C даже при небольшом содержании водорода [15]. По мере насыщения низкоуглеродистой нелегированной стали азотом при температуре ниже 590°C сначала образуется α -твердый раствор внедрения азота в железо, затем после достижения предела растворимости азота в α -фазе происходит выделение γ' -фаз и завершается процесс азотирования образованием на поверхности слоя ϵ -фазы в широком интервале концентраций азота. При азотировании конструкционных сталей с увеличением содержания углерода уменьшается скорость диффузии азота и возможно образование карбонитридных фаз с уменьшением твердости в поверхностной зоне карбонитрида. На технически чистых металлах

твердость зон внутреннего азотирования повышается незначительно, так как в нелегированных металлах концентрация азота в твердом растворе мала, а выделяющиеся в процессе охлаждения нитриды основного металла – крупнодисперсны. Так в системе Fe – N зоны внутреннего азотирования обладают следующей твердостью: 150-300 HV(α -фаза); 550 HV (γ' -фаза); 400 HV(ϵ -фаза).

Значительно большая твердость достигается при азотировании специально легированных сталей, у которых легирующий элемент имеет большее сродство к азоту, чем железо. Легирование изменяет состав фаз и температурные границы их образования. Легирование γ' -фазы титаном и особенно алюминием позволяет повысить ее твердость до 1100 – 1200 HV. Повышение твердости связано с выделением из твердых растворов дисперсных нитридов легирующих элементов, затрудняющих пластическую деформацию (движение дислокаций). Большинство легирующих элементов (Cr, Mo, V и т.д.) за исключением Al, Si, Ti, растворяясь в ϵ -фазе (Fe, M)₂₋₃(N, C), уменьшают в ней содержание азота и ее толщину. Алюминий, кремний и титан способствуют развитию γ' -фазы с образованием (Fe, M)₄N в виде сплошного слоя или игл (пластин), расположенных по плоскостям скольжения и границам зерен на значительную глубину. Установлено, что при азотировании упрочнение α -фазы в легированных сталях происходит по механизму старения пересыщенных твердых растворов. Выделение дисперсных нитридов сопровождается обеднением твердого раствора как по азоту, так и по нитридообразующему элементу. Таким образом, зона внутреннего азотирования представляет собой многофазную область, состоящую из азотистого твердого раствора основного металла, его нитридов и нитридов легирующих элементов. Варьирование температуры и продолжительности азотирования позволяет фиксировать в диффузионном слое различные стадии процесса выделения и, следовательно, разный

уровень прочности. Глубина азотированного слоя подчиняется параболической зависимости, однако, ввиду низких температур процесса (500-600°C) и в связи с тем, что формирование диффузионного слоя подчиняется общей для всех переходных металлов закономерности, обусловленной максимальной диффузионной подвижностью азота в твердом растворе и замедлением диффузии азота в нитридных фазах, наращивание слоя происходит медленно. Если пытаться ускорить процесс повышением температуры, то при этом снижается твердость на поверхности, что не эффективно.

1.4. Азотирование в тлеющем разряде

Для повышения насыщающей способности активной газовой среды чаще всего используются различные виды газовых разрядов. Наибольшее распространение в промышленности получило ионно-плазменное азотирование в тлеющем разряде. Стенки вакуумной камеры служат анодом тлеющего разряда, а садка с азотируемыми изделиями помещается под катодным потенциалом. Обычно процесс в таких системах происходит при давлении в несколько сотен паскалей, однако при таком давлении достаточно высоко парциальное давление остаточного кислорода в вакуумной камере, для дезактивации которого в рабочую газовую смесь добавляют водород, либо используют в качестве рабочей среды водородсодержащий газ (аммиак).

В настоящее время существует два основных теоретических подхода, характеризующих процесс азотирования в тлеющем разряде [17]. Первый из них сформулирован научной группой под руководством Ю.М. Лахтина. В основе предложенной модели лежит предположение о том, что атомы железа в плазме тлеющего разряда соединяются с азотом, образуя при этом нитриды железа. Они, в свою очередь, под воздействием направленной

бомбардировки заряженными частицами двигаются в направлении катода и адсорбируются поверхностью. Затем уже на поверхности под действием бомбардировки поверхности падающим потоком нитриды преобразуются, превращаясь из ϵ -фазы в γ -фазу, высвободившийся при этом атомарный азот образует твердый раствор α -фазы, который диффундирует вглубь поверхности. Таким образом азот поступает в поверхность не только из газовой фазы, но и в результате преобразования нитридов. Согласно другому подходу, предложенному Б.Н. Арзамасовым, ведущую роль в процессе азотирования в тлеющем разряде играют атомарные ионы азота, а интенсивность процесса определяется их концентрацией в плазме. Под воздействием падающего потока частицы адсорбированного слоя могут распыляться или внедряться в поверхность, создавая твердый раствор [17].

Таким образом, принципиальным отличием между изложенными подходами является прежде всего вопрос о первичности образования в поверхностных слоях металла нитридов или твердого раствора. Согласно первой модели сначала образуются нитриды, следствием преобразования которых и будет образование твердого раствора. По второй же модели избыточная концентрация азота в твердом растворе в совокупности с энергетическим влиянием падающего потока способствует химическим преобразованиям [18].

Обычно при азотировании материалов в качестве газовой среды используют не чистый азот, а его смесь с различными газами (аргон, гелий, неон, водород). Инертные газы позволяют значительно повысить интенсивность ионизационных процессов в плазме, а водород необходим для связывания остаточного кислорода, парциального давления которого при повышенных рабочих давлениях газа (до 500 Па) достаточно для формирования оксидных пленок, блокирующих поступление активного азота к поверхности детали.

Однако использование газообразного водорода в установках создает проблему взрывоопасности, а поскольку чаще всего в качестве водородсодержащей среды при азотировании в тлеющем разряде используется аммиак, то ко всему прочему возникают проблемы и с экологической безопасностью установки.

Существуют и другие, менее распространенные способы азотирования, такие как лазерное азотирование, низкоэнергетичная ионная имплантация при повышенных температурах, плазменная иммерсионная ионная имплантация, которые, однако, не так широко распространены в промышленности. Первый способ (лазерное азотирование) не получил промышленного применения, несмотря на высокие показатели твердости и толщины азотированных слоев, в силу следующих причин: во-первых, в результате поверхностной обработки лазерным лучом полностью изменяется микроструктура модифицированного слоя и значительно увеличивается шероховатость поверхности [28, 29]; во-вторых, малый диаметр луча, и, как следствие, малая область облучения поверхности, а также высокая плотность мощности излучения не могут обеспечить равномерный нагрев поверхности, в результате чего существенно увеличивается вероятность образования поверхностных микротрещин [28, 29]; и, в-третьих, низкий КПД и высокая стоимость лазерного оборудования, в том числе необходимость использования системы сканирования луча по поверхности изделия, существенно снижают экономический эффект от использования этой технологии.

Имплантация ионов азота представляется более перспективным методом азотирования. Однако трудности обработки сложнопрофильных деталей, а также высокая сложность и дороговизна ионных источников и высоковольтного оборудования, и, соответственно, обработанных деталей, ограничивают область распространения этого способа азотирования.

1.5. Использование дуговых разрядов для азотирования материалов

Дуговые разряды различных видов также могут быть эффективно использованы при создании генераторов плазмы для ионно-плазменной обработки изделий. Так, в работе описывается метод локального азотирования поверхности с помощью дугового разряда с накаливаемым полым катодом. При азотировании титана при давлении газа у поверхности образца до 600 Па и токе разряда до 30 А за время ~5 мин на поверхности удавалось сформировать слой нитрида титана толщиной 5 – 7 мкм с твердостью до 7 ГПа, толщина диффузионной зоны при этом составляла 70–90 мкм. Высокая эффективность азотирования, по мнению авторов, обусловлена, скорее всего, высокой температурой области азотирования (~900°C), а также высокой концентрацией активных компонентов плазмы, и прежде всего атомарного азота, вблизи поверхности изделия. Главным недостатком этого метода является малая площадь азотируемой поверхности (1 – 10 см²), что затрудняет равномерную обработку изделий сложной формы или изделий с большей площадью поверхности.

В работе были проведены исследования особенностей азотирования стали Р6М5. Диапазон рабочих давлений этого типа разряда составлял 0,01 – 0,1 Па, а температура обработки варьировалась от 400 до 570 °С. В результате азотирования стали Р6М5 в течение 240 – 300 минут были получены слои с повышенной твердостью на глубине до 70 мкм. Однако, загрязнение плазмы продуктами эрозии катодов ограничивает применение этого метода в технологиях, требующих высокого уровня чистоты плазмы. Особого внимания в этой работе заслуживает тот факт, что толщина азотированного слоя не зависела от полярности напряжения смещения на образцах.

Возможны также комбинированные подходы к методам генерации азотной плазмы, когда для интенсификации процесса азотирования она

создается с помощью не одного типа разряда, а с использованием дополнительных источников ионизации газа (например дополнительного термоэмиссионного катода). В таких системах расширяются возможности изменения различных параметров обработки, таких как плотность ионного тока, давление рабочего газа, энергия ионов и т.д. Авторами работы была разработана двухступенчатая разрядная система на основе дугового разряда с холодным полым катодом и несамостоятельного тлеющего разряда с полым катодом. Разработанная электроразрядная система для азотирования титана позволяет зажигать и поддерживать стабильно горение разряда при давлениях $\sim 0,5$ Па, обеспечивая, благодаря использованию вспомогательного дугового разряда и эффекту полого катода, высокую плотность ионного тока (до 4 мА/см^2) на поверхность азотируемых изделий. При этом напряжение горения несамостоятельного разряда в рабочих режимах достаточно высоко (до 1500 В), что способствует интенсивному распылению азотируемой поверхности и увеличению ее шероховатости. Данный метод, однако, позволил авторам успешно провести низкотемпературное (600°C) азотирование титана, формируя за короткое время (до $4,5$ часов) упрочненные слои с поверхностной твердостью до 14 ГПа и глубиной диффузионной зоны с повышенной твердостью до 70 мкм .

1.6 Свойства азотированных сталей

В настоящее время в различных отраслях машиностроения применяется азотирование поверхностей сталей. Требования, предъявляемые к таким изделиям, сводятся к повышению износостойкости, коррозионной стойкости и усталостной прочности, в том числе контактной выносливости. При этом обеспечение высокой точности геометрических параметров азотируемой детали при отсутствии деформации (коробления), а также простые и надежные методы насыщения отдельных элементов деталей (местное азотирование)

делают ионное азотирование весьма экономически выгодным способом химико-термической обработки, особенно в условиях серийного производства.

Высокая твердость поверхности – необходимое условие обеспечения износостойкости при большинстве видов изнашивания. Твердость диффузионной зоны ниже, чем внешней зоны соединений, и ее значения монотонно уменьшаются от границы двух зон слоя до значений, соответствующих твердости не азотированной стали. Большое влияние на эту характеристику оказывают характер и количество легирующих элементов в стали и режим азотирования. Распределение микротвердости по толщине азотированного слоя является важной эксплуатационной характеристикой. Повышение твердости диффузионной зоны может быть достигнуто введением углеродсодержащего газа.

Способность противостоять разрушению при динамическом нагружении азотированной детали является одним из основных свойств стали, определяющим конструктивную прочность, т.е. обеспечивающим надежность упрочненных деталей при эксплуатации. Пластичность слоев, получаемых после ионного азотирования, более высокая, чем после обычного насыщения, что обусловлено особенностями их структуры, описанными выше, и является одним из основных достоинств ионной обработки.

Повышение износостойкости – основная цель азотирования сталей. Чем тверже азотированный слой, тем выше сопротивление абразивному изнашиванию. Высокая износостойкость сталей после ионного азотирования особенно характерна для деталей, работающих в условиях трения без смазочного материала или при недостатке его. Для обеспечения наибольшей износостойкости высокая твердость должна сочетаться с определенной пластичностью.

Ионное азотирование приводит к снижению коэффициента трения обработанных поверхностей. Два азотированных слоя, полученных ионным

способом, хорошо скользят один относительно другого, т.е. в этом случае не происходит адгезионного взаимодействия.

Благодаря появлению сжимающих напряжений на поверхности металла вследствие насыщения ее азотом, ионное азотирование существенно повышает сопротивление усталости всех конструкционных сталей.

При образовании плотной внешней нитридной зоны коррозионная стойкость даже нелегированных сталей в атмосфере, пресной воде и паре существенно повышается. После снятия путем шлифования слоя 0,05...0,15 мм ионное азотирование имеет явное преимущество по сравнению с обычным процессом.

По данным многочисленных исследований, такая обработка не изменяет морфологическое состояние поверхности, так как ионное азотирование проводят при низкой температуре в разреженной атмосфере. Состояние поверхности детали не изменяется вплоть до самых малых степеней шероховатости, соответствующих полированной поверхности. Благодаря катодному распылению улучшается или сохраняется чистота поверхности азотируемых деталей. Внедрение азота в кристаллическую решетку стали, наряду с образованием полезных сжимающих напряжений в поверхностном слое, должно приводить к некоторому увеличению размеров. Благодаря же эффекту катодного распыления можно частично или полностью компенсировать обычный прирост слоя при азотировании.

Дополнительно снизить деформации позволяет уменьшение температуры и продолжительности насыщения, учитывая значительную интенсификацию диффузии азота при ионной ХТО. Изменение размеров азотированного слоя не превышает 10 мкм [26]. При этом шероховатость поверхности после ионного азотирования сохраняется такой же, какой была до обработки.

Приведенные данные позволяют рекомендовать ионное азотирование для окончательной обработки деталей, при этом исключается трудоемкая

финишная операция шлифования, при котором удаляется часть азотированного слоя, что часто нежелательно.

Таким образом, исходя из выше изложенных литературных данных, можно отметить что каким бы способом не проводилось азотирование, необходимо стремиться к снижению энергоресурсов, увеличению безопасности и экологичности проведения процесса.

В первой главе данной работы были рассмотрены различные способы ХТО, но так как выбор пал на исследование дугового разряда, то хотелось бы привести достоинства и недостатки других методов по отношению к способу азотирования сталей в безводородной газовой среде низкого давления. Лазерное азотирование, достоинства: высокая твердость и толщина азотированного слоя; недостатки: полностью изменяется микроструктура азотированного слоя и значительно увеличивается шероховатость, неравномерный нагрев увеличивает вероятность образования поверхностных микротрещин, низкий КПД и высокая стоимость лазерного оборудования. Имплантация ионов азота, недостатки: трудности обработки сложнопрофильных деталей, а также высокая сложность и дороговизна ионных источников и высоковольтного оборудования.

Глава 2. Оборудование для азотирования сталей, материалы и методики исследований образцов

Данная глава посвящена описанию оборудования на котором проводись все эксперименты, обусловлены причины выбора материала образцов для данной работы, методик анализа результатов и их описание.

2.1. Оборудование для азотирования сталей в дуговом разряде

Внешний вид установки, на которой проводили эксперименты методом безводородного ионно-плазменного азотирования в дуговом разряде низкого давления, приведен на рисунке 1



Рисунок 1. Внешний вид установки для азотирования в дуговом разряде

Модернизированная установка «ННВ-6.6-И1» представляет собой комплексное оборудование, состоящее из следующих блоков. Прямоугольная вакуумная камера из нержавеющей стали с системой планетарного вращения обрабатываемых деталей. На верхней и боковой стенках вакуумной камеры установлены газоразрядные плазмодгенераторы на основе несамостоятельного

дугового разряда. Вакуумная откачка происходит в автоматическом режиме с использованием форвакуумного и турбомолекулярного насосов. Управление технологическим процессом осуществляется как в ручном, так и в автоматическом режимах с использованием промышленного компьютера и специально написанной программы, что позволяет контролировать и воспроизводить все его фазы: очистку, нагрев деталей, степень вакуумирования, параметры разряда, длительность циклов и т.д. Установка оснащена источником питания отрицательного напряжения смещения до 1000 В на обрабатываемые детали, работающей как в стационарном, так и в импульсном режимах. Импульсный режим с частотой до 40 кГц позволяет избежать появления микродуг на поверхности деталей в начальной стадии обработки.

Вакуумная система вместо диффузионного пароструйного насоса выполнена на базе турбомолекулярного насоса ТМН-500 подключенного к форвакуумному насосу НВЗ-20Д, тем самым, обеспечивая высокую производительность при повышенных расходах рабочего газа. Вакуумпроводы и запорная арматура имеют условные проходы, соответствующие высокопроизводительной откачке. Управление, система электропитания и измерения вакуума модернизированы под новую вакуумную систему, в том числе установка оснащена дополнительным широкодиапазонным вакуумметром для точного измерения значений вакуума в условиях применения смеси газов «аргон-азот» в различном соотношении в диапазоне 0,05-500 Па. Система управления вакуумной системой работает как в ручном, так и в автоматическом режимах. Предусмотрены блокировки запрещающие:

- открытие затвора турбомолекулярного насоса при высоком давлении в камере;
- открытие затвора турбомолекулярного насоса при открытом клапане откачки камеры форвакуумным насосом;

- открытие клапана откачки турбомолекулярного насоса при выключенном форвакуумном насосе;
- включение турбомолекулярного насоса при выключенном форвакуумном насосе;
- включение турбомолекулярного насоса при отсутствии охлаждающей воды;
- открытие клапана форвакуумной откачки камеры при открытом затворе турбомолекулярного насоса;
- открытие клапана форвакуумной откачки при открытой двери камеры и открытым клапаном напуска воздуха в камеру.

Дополнительное оснащение. Два плазменных источника с накаливаемым катодом для генерации газовой плазмы дугового разряда. Штатные источники питания дугового разряда типа «ВД-300» заменены на электронные источники питания. Система подачи газа, выполненная на основе двух автоматических натекателей РРГ-10, обеспечивающих максимальный расход до 18 л/мин.

Общие технические характеристики установки:

1. Занимаемая площадь установки (ориентировочно) – 6 м².
2. Вес (ориентировочно) – до 2000 кг
3. Размер шкафа стойки управления – 800 (длина) x 600 (ширина) x 2000 (высота) мм
4. Потребляемая мощность – до 30 кВт
5. Напряжение питания – 3 фазы 380/220 В
6. Рабочее давление – 0,01 - 1 Па

Размеры рабочей камеры:

- длина – 600 мм;
- ширина – 600 мм;
- высота – 600 мм.

Корпус камеры выполнен в виде кубического сосуда с боковым проемом, закрываемым дверцей.

Нанесение покрытия TiCuN проводилось вакуумно-дуговым методом на экспериментальной установке, разработанной и изготовленной в ИСЭ. Внешний вид(а) и схема(б) приведены на рисунке 2.

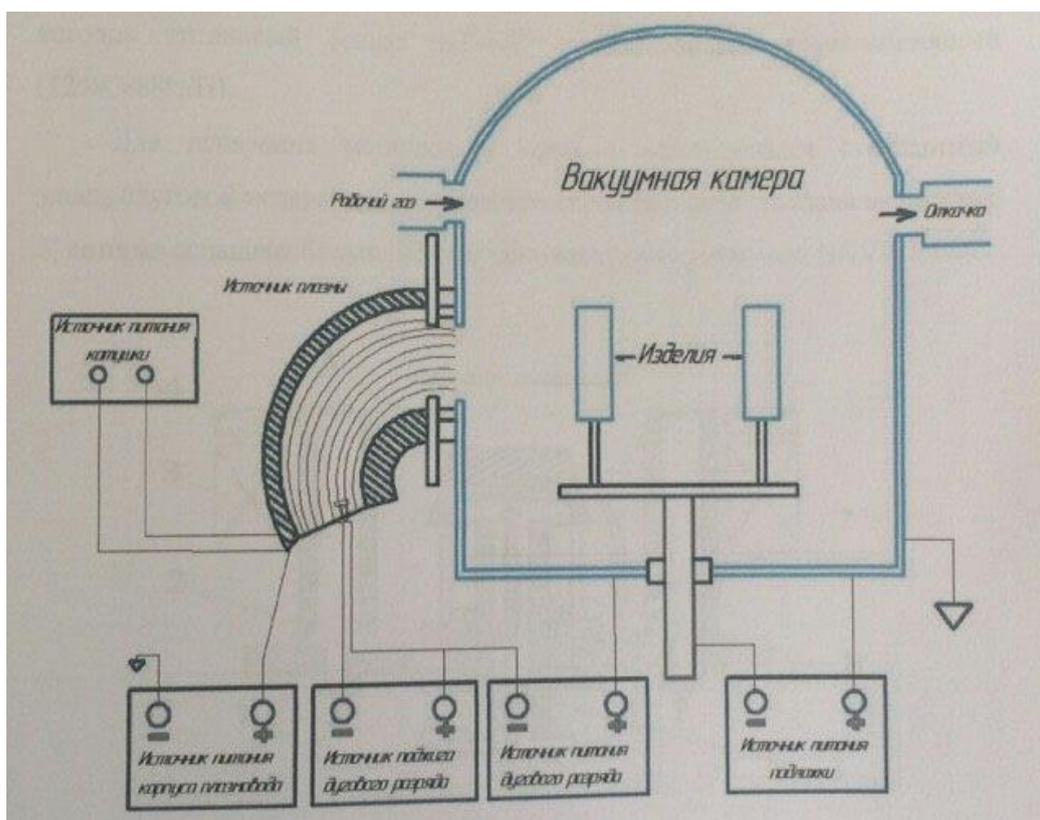


Рисунок 2. Блок-схема экспериментальной установки

Блок питания плазмогенератора ПИНК – 2 шт.

Источник питания разряда:

выходной ток	5-200 А
рабочее напряжение	20-50 В
напряжение холостого хода	100±20 В
дискретность регулирования тока, не хуже	1 А
режим работы	непрерывный

напряжение питания	380/220 В, 50Гц, 3ф
Стабилизация тока	± 5%
<u>Источник накала ПИНКа:</u>	
Напряжение	12В
Рабочий ток	50-200 А
Переменный ток, частота	50 Гц
напряжение питания	380/220 В, 50Гц, 3ф
Стабилизация тока	± 5%
<u>Источник питания магнитной катушки – 1 шт.</u>	
выходной ток	50-2000 мА
выходное напряжение, не менее	150 В
дискретность регулирования тока, не хуже	10 мА
режим работы	непрерывный
напряжение питания	220 В, 50Гц, 1ф
Стабилизация тока	± 5%
Управление блоками питания дистанционное по от системы управления установкой	RS-232 или RS-485
<u>Источник питания смещения подложки</u>	
Напряжение	«-»300/1200 В,
Рабочий ток	до 15 А
Мощность	до 15 кВт,
Импульсный, частота	1 - 40 кГц

2.2. Материалы для исследования

В данной работе проведены исследования с использованием образцов из материала сталь 40Х. Данная марка стали была выбрана в связи ее широким применением в различных отраслях машиностроения.

Химический состав стали 40Х (%)

C : 0.36-0.44

Si: 0.17-0.37

Mn: 0.5-0.8

Ni: до 0.3

S: до 0.035

P: до 0.035

Cr: 0.8-1.1

Cu: до 0.3

Fe: ~97

Удельный вес: 7820 кг/м³

Твердость материала: НВ 10⁻¹ = 217 М Па ;

Температура критических точек: Ас₁ = 743 , Ас₃(Ас_м) = 815 , Аг₃(Агс_м)=730,
Аг₁ = 693

Обрабатываемость резанием: в горячекатаном состоянии при НВ 163-168

и $\sigma_{\text{в}}=610$ МПа, $K_{\text{в тв. спл}}=1,2$ и $K_{\text{в б.ст}}=0,95$

Склонность к отпускной хрупкости: склонна

Сталь 40Х применяется: для изготовления осей, валов, вал-шестерней, плунжеров, штоков, коленчатых и кулачковых валов, колец, шпинделей, оправок, реек, зубчатых венцов, болтов, полуосей, втулок и других улучшаемых деталей повышенной прочности.

2.3. Особенности приготовления экспериментальных образцов

При испытании непосредственно на поверхности необходимо обеспечить хорошую подготовку места измерения. Тщательная подготовка поверхности должна быть проведена по возможности в лаборатории, так как неаккуратная полировка или зачистка шкуркой приводит к неправильной интерпретации результатов. Качество подготовленной поверхности напрямую влияет на результат азотированного слоя [31].

Процесс подготовки образцов весьма трудоемок и занимает много времени. Для начала берется пруток из необходимого материала, определенного диаметра (в нашем случае сталь 40X, D=16 мм) и нарезается на определенной толщины цилиндры (10 мм), далее начинаем процесс шлифования на нескольких типах шкурок, соблюдая порядок от первой к четвертой:

Шкурка №1: ЭМ14А20Н СФК – Шлифовальная шкурка на тканевой основе, абразив нанесён электростатическим способом, водостойкая, для первичной шлифовки, шлифматериал – нормальный электрокорунд, среднезернистая(размер зерна 200-250 мкм), фенольная связка.

Шкурка №2: ЭМ14А6Н СФК - Шлифовальная шкурка на тканевой основе, абразив нанесён электростатическим способом, водостойкая, для промежуточной шлифовки, шлифматериал – нормальный электрокорунд, мелкозернистая(размер зерна 63-80 мкм), фенольная связка.

Шкурка №3: ЭМ14А Р600 СФК - Шлифовальная шкурка на тканевой основе, абразив нанесён электростатическим способом, водостойкая, для окончательной шлифовки, шлифматериал – нормальный электрокорунд, мелкозернистая(размер зерна 20-28 мкм), фенольная связка.

Шкурка №4: ЭМ14А Р2000 СФК - Шлифовальная шкурка на тканевой основе, абразив нанесён электростатическим способом, водостойкая, для тонкой шлифовки и полировки, шлифматериал – нормальный электрокорунд, мелкозернистая(размер зерна 5-7 мкм), фенольная связка.

Шлифовку необходимо выполнять возвратно-поступательными движениями, после смены очередной шкурки необходимо сменить направление шлифа на 90° относительно предыдущего. Шлифовать до момента полного исчезновения рисок оставшихся от предыдущей шкурки. После шлифовки на всех четырех шкурках, необходимо промыть образец (желательно в спирту) и приступить к окончательной полировке образца на алмазных пастах двух типов.

Алмазная паста № 1: АСМ28/20 мазеобразная консистенция, микропорошок из синтетических алмазов, для полирования и доводки различных материалов, параметр шероховатости обработанной поверхности 0,32-0,05 мкм.

Алмазная паста № 2: АСМ1/0 мазеобразная консистенция, микропорошок из синтетических алмазов, для полирования и доводки различных материалов, параметр шероховатости обработанной поверхности 0,25-0,02 мкм.

Для полировки образцов на алмазной пасте необходимо нанести немного пасты на ткань (бязь), расположить ткань на ровной поверхности (например стекло), смочить пасту бензином и полировать согласно последовательности при шлифовке. После полировки обработать образец спиртом, чтобы не оставалось следов пасты. В результате должна получиться зеркальная поверхность, которая обеспечит корректность полученных измерений.

Вышеперечисленные стадии подготовки поверхности образцов необходимы для получения корректных результатов измерения поверхностной твердости, определения величины шероховатости, толщины нитридной зоны.

2.4. Измерение микротвердости

В рамках исследовательских работ были проведены измерения твердости поверхности неизвестных по составу образцов. Данные измерений были усреднены и сравнены со значениями, представленными в таблице № 1. Испытания твердости проводили с помощью прибора ПМТ-3.

Таблица 1. Значения твердости поверхности исследуемого образца из спеченного сплава, полученные при разных значениях испытательной нагрузки.

Таблица 1.

Испытательная нагрузка, г	50	100
№ Отпечатка		
1	2336	1789
2	1947	1413
3	1006	2336
4	1006	1413
5	2336	1789
6	1789	1413
7	1413	1006
8	1648	1789
9	1648	1006
10	1789	1413
Σ/N	1691.8	1536.7

Помимо измерения микротвердости при помощи микроскопа ПМТ-3, оценили твердость твердого сплава при помощи фотографии отпечатка (рисунок.3). Такой метод более точен, т.к. он исключает перечисленные выше погрешности. В микромасштабе сложно измерять глубину вдавливания индентора, легче измерить размеры отпечатка в плоскости шлифа.



Рисунок 3. Фотография отпечатка, оставленного алмазным индентором Виккерса на поверхности исследуемого образца из твердого сплава в процессе испытаний на микротвердость.

Учитывая форму индентора, по диаметру отпечатка мы вычислили его глубину и определили твердость сплава. При вдавливании поверхность образца увеличилась до 333 кгс/мм². По фотографии отчетливо видно, что получаемая микротвердость сильно зависит от места, в которое внедряется вдавливаемая пирамидка. В некоторых случаях величина микротвердости может достигать значений, больших или меньших чем реальные. Это объясняет разброс значений микротвердости в табл.1.

В настоящей работе применялся метод определения микротвердости по восстановленному отпечатку после вдавливания четырехгранной алмазной пирамидки с квадратным основанием и углом между противоположными гранями 136°С. По диагоналям отпечатка и углу α при вершине пирамиды значения микротвердости вычисляли по формуле:

$$H=P/S= \frac{2*\sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1,854*P}{d^2}$$

2.4.1.

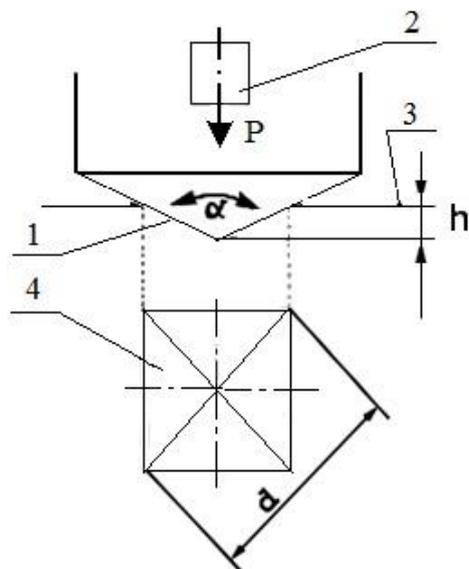
где d – диагональ отпечатка в мкм, α – пространственный угол при вершине, P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику в граммах [30].

При испытании на микротвердость применяли нагрузки 0,49 и 0,981 Н (50 г и 100 г). Величина микротвердости определялась как среднее из пяти замеров. При нанесении отпечатков необходимо следить, чтобы расстояние от края образца до первого отпечатка составляло бы не менее 1.5 его диагоналей, а между двумя соседними отпечатками не менее двух - трех диагоналей большего из них. При малых размерах квадратного отпечатка (диагональ < 10 мкм) погрешность определения твердости при увеличении 487 раз оптической системы прибора ПМТ-3 может достигать 20 %. По кривым распределения твердости оценивалась эффективная протяженность азотированного слоя, соответствующая значению, рассчитанному из соотношения:

$$H_{\text{эф}} = KH + \Delta H / 2, \quad 2.4.2.$$

где KH – твердость сердцевины (среднее значение из 5 замеров), ΔH – разность между значением твердости на поверхности и твердостью сердцевины [30].

Определение твердости вдавливанием является наиболее наглядным и распространенным видом механических испытаний материалов. Он заключается в том, что в испытуемый материал под действием нагрузки, действующей определенное время вдавливаются индентор (наконечник) в форме шарика, конуса или пирамиды. При испытании на твердость деформируется некоторый объем материала. Чем меньше прилагаемая нагрузка, тем меньше деформируемый объем, тем точнее выявляется распределение свойств материала. Определение микротвердости осуществляется на приборе ПМТ-3 [30].



- 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).

Рисунок 4. Принцип действия прибора, основанного на вдавливании алмазного индентора Виккерса

Принцип действия прибора основан на вдавливании алмазного индентора Виккерса (рисунок 4), выполненного в виде правильной четырехгранной пирамиды, под определенной нагрузкой (от 5 до 200 г.) в плоскую поверхность исследуемого материала и измерении линейной величины диагонали полученного квадратного отпечатка.

Величина твердости при вдавливании – среднее напряжение вдавливания, отнесенное к поверхности отпечатка и вычисляемое в кгс/мм² (килограмм сила на квадратный миллиметр) [30].

2.5. Метод оптической металлографии

Чтобы исследовать микроструктуру поперечного шлифа, выявить нитридный слой на поверхности образца, определить его толщину был использован метод оптической металлографии при больших увеличениях (x494 и x620) микроскопа.

Металлографический анализ заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа. В зависимости от

требуемого увеличения, использование белого света и обычной оптической системы в микроскопах позволяет четко наблюдать все присутствующие фазы, их распределение и форму. Максимальная разрешающая способность оптической системы определяется из условий дифракции согласно уравнению:

$$d=\lambda(2n*\text{Sin } \alpha/2) \quad 2.5.1.$$

где λ – длина волны излучения (для белого света 600 нм, для электронного пучка при ускоряющем напряжении 100 кВ – 0,0037 нм), n – коэффициент преломления, $\alpha/2$ – половина угла раскрытия входящего пучка. Общее увеличение микроскопа можно определить опытным путем с помощью объект-микрометра – линейки на которой нанесен 1 мм с разбиением на 100 частей. В настоящей работе для наблюдения и фотографирования микроструктуры объектов применялись световой металлографический микроскоп ММР-4. Для выявления структуры азотированных слоев сталей, травление поперечных шлифов осуществляли 4% - ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Существуют и другие методы исследования структуры, например метод избирательного окисления структурных составляющих при нагреве. Поперечные микрошлифы нагревают в атмосфере воздуха до 260°C [4]. В процессе окисления нитриды окрашиваются в светло-желтый цвет, а эвтектоид в коричнево-фиолетовый.

При изготовлении шлифов возможно заваливание поверхности. Поэтому образцы готовятся, закрепляя их в струбцинах с прокладками из поливинилхлоридной пленки. При этом удается обеспечить жесткий контакт образца с оправкой и предотвратить завал края шлифа.

Исходя из материала изложенного во второй главе, можно сказать что оборудование на котором проводятся эксперименты, методики исследований, измерений, подготовки поверхностей образцов находятся на высоком уровне, не являются устаревшими, что позволяет проводить исследования на соответствующем уровне, и предоставлять корректные результаты. К тому же в

значительной степени качество азотированного слоя зависит от величины исходной шероховатости поверхности.

При помощи оборудования, описанного во второй главе, были исследованы процессы безводородного азотирования стальных изделий в плазме дугового разряда низкого давления, которые представлены в следующих главах. На подготовленных и прошедших ХТО образцах была измерена микротвердость, так же с помощью оптического микроскопа исследовалась микроструктура поперечного шлифа.

3. Исследование температурно-временных характеристик

В третьей главе описывается ход экспериментов, показаны схемы установки образцов при испытаниях, графически предоставляются результаты экспериментов, фотографии азотированных слоев. Также данная глава содержит варианты разработок нагревательного элемента и включает сравнение этих данных.

3.1. Описание процесса азотирования в дуговом разряде

Конструкция плазмогенератора такова, что у него имеется накаливаемый катод который является эмиттером электронов, этот катод сделан из вольфрамовой нити, и как накаливаемая она нагревается до очень высоких температур, до белого свечения. Фактически он является не только эмиттером, но и дополнительным подогревательным устройством. Поэтому было интересно проследить, а как же происходит процесс нагревания детали, если исключить мощность инфракрасного излучения от катода. Т.е. подогрев будет осуществляться только за счет горения плазмы.

Исходя из этого, эксперименты были построены следующим образом: мы попытались проследить как изменяется температура нагрева деталей при азотировании, изменяя напряжение смещения, когда у нас свечение на деталь от накаливаемого катода не перекрыто и когда это прямое свечение попадает на экран а не на деталь, но плазма работает.

Для того чтобы провести такие эксперименты необходимо неоднократно пройти полный цикл от включения установки в сеть до извлечения образца из камеры. Далее такой цикл будет подробно рассмотрен. Во-первых, чтобы эксперимент прошел удачно, необходимо провести некоторые подготовительные работы, а именно:

- 1) очистить стенки камеры от загрязнений, оставшихся после проведения предыдущих экспериментов. Для этого достаточно взять

шлифовальную шкурку средней зернистости, можно грубую, и очистить налет со стенок камеры, после чего протереть их тряпочкой смоченной в бензине.

- 2) Обязательно заменить накаливаемый катод, так как перегорание катода в середине процесса, заставит вас начать процесс заново, что является пустой тратой большого количества времени и сил. В то время как процесс замены катода занимает максимум 10 минут.
- 3) ВАЖНО! При установке плазмогенератора необходимо протереть место уплотнения спиртом, так же необходимо протирать спиртом уплотнительную резиновую прокладку между дверью и камерой, после каждого открывания двери.

Далее устанавливаем образец на державку. Чтобы был хороший контакт для подведения смещения, а так же удачное расположение образца на державке, его приваривают контактной сваркой через полоски нихромовой фольги.

В образце изготавливается технологическое глухое отверстие, для помещения в него кварцевого стаканчика с термопарой, чтобы измерять температуру внутри образца. Погрешность термопары составляет $+20^{\circ}\text{C}$. Образец помещался в камеру таким образом, чтобы излучение от накаливаемого катода попадало прямо на него (рисунок 5). Таким образом мы получаем максимально эффективный нагрев образца от излучения. Во втором случае между накаливаемым катодом и образцом устанавливается защитный экран, который полностью перекрывает излучение (рисунок 12).

После того как мы провели все подготовительные работы и сделали закладку в камеру, переходим непосредственно к проведению процесса. Поэтапное выполнение действий для проведения процесса на установке приведено ниже.

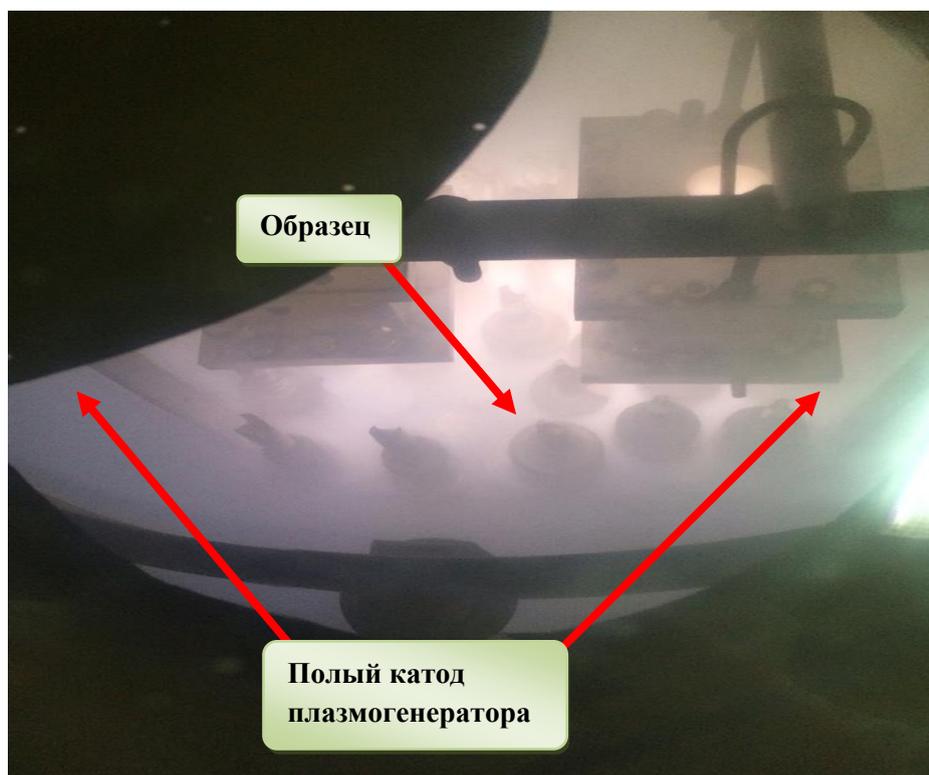


Рисунок 5. Камера установки для азотирования в дуговом разряде

Этапы действий при работе с установкой:

1. Включаем установку в сеть.
2. Открываем подачу воды и сливные клапаны.
3. Включаем компьютер установки и запускаем специальную программу, рабочая область которой показана на рисунке 5
4. Закрываем крышку камеры и запускаем форвакуумный насос
5. Откачав воздух в каналах между форвакуумным и турбомолекулярным насосом до 6-7 Па, запускаем ТМР (Turbo-molecular pump) и ждем пока он выйдет на рабочий режим. Данный процесс обычно занимает от 15 до 30 минут.
6. Откачиваем воздух из камеры только форвакуумным насосом до давления в 8-9 Па, изолировав турбо молекулярный. Так как начав откачивать воздух с атмосферного давления при помощи ТМР, мы загубим насос.

7. После того как вышли на форвакуумный диапазон, подключаем к откачке ТМР. Откачиваем до давления порядка 0,002 Па
8. Напускаем в камеру азот.
9. Включаем блоки питания (рисунок 8), выставляем необходимые параметры и зажигаем разряд. Плазма в азотной среде горит розовым цветом. (Рисунок 7.)

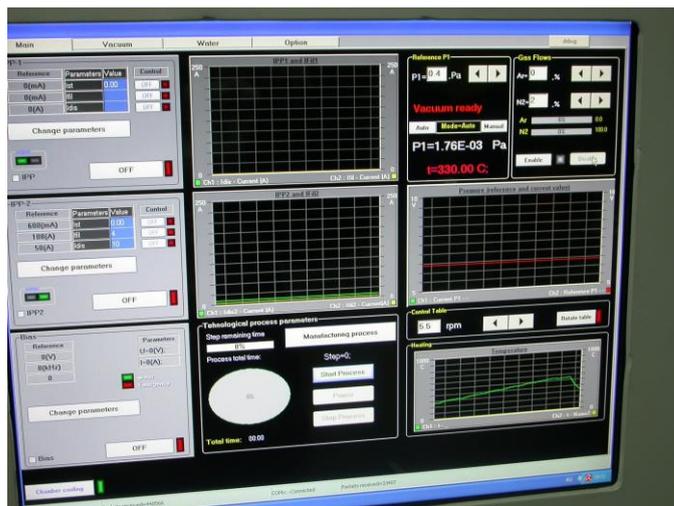


Рисунок 6. Рабочая область программного обеспечения установки

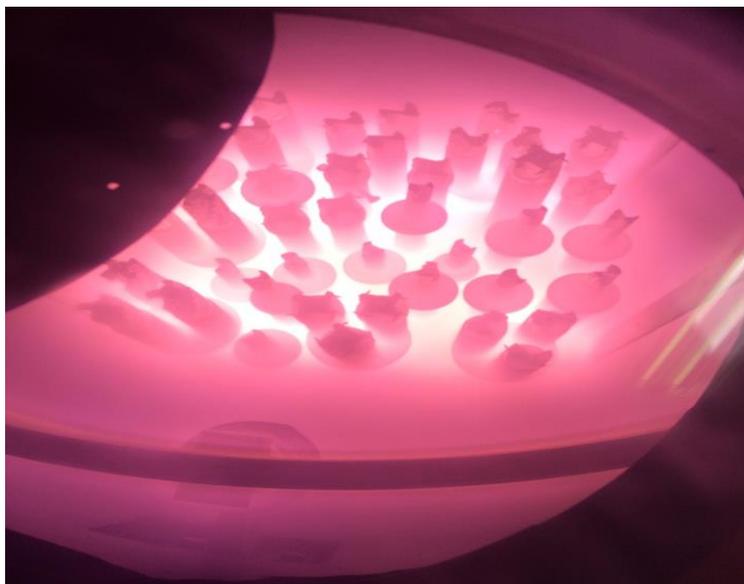


Рисунок 7. Камера установки плазма в азотной среде горит розовым цветом.



Рисунок 8. Блок питания

Параметры эксперимента:

Напряжение разряда	55-65 В
Ток разряда	50А
Ток накала	115-125А
Давление в камере	0,4 Па
Напряжение смещения	0-900В (шаг 100В)
Плотность ионного тока	2,5-6 мА/см ²

1. Выставляем необходимое смещение и записываем изменение температуры с интервалом в 5 минут. По результатам этих данных строятся кривые роста температуры.
2. Когда скорость роста температуры не будет превышать 3°С за 5 минут, можно считать что мы достигли максимально возможного уровня нагрева детали, при заданных параметрах. Поэтому чтобы начать проводить следующий процесс, необходимо отключить отрицательное смещение, погасить разряд, перекрыть подачу газа и дать остыть образцу в камере не напуская воздух до 150 – 200°С. Если напустить воздух в камеру когда

образец еще нагрет до высокой температуры (400-500°С), то произойдет быстрое окисление поверхности образца.

3. Далее повторяем цикл с начала.

Как уже говорилось выше на данном этапе изменяется напряжение смещения от 0 В до 900 В, с шагом в 100 В, и записываются данные по температуре. Сначала серия опытов без экрана, а затем с экраном. Кратко, полный цикл измерения температуры с одним из заданных напряжений смещения можно описать следующим образом: загрузка образца в камеру, откачка воздуха, нагрев образца от комнатной температуры до максимально возможной, запись данных, остывание образца до комнатной температуры. Полный цикл занимает по времени около 4-5 часов. Проведя весь комплекс необходимых измерений, мы сравнили полученные результаты и сделали определенные выводы, которые отображены в третьем пункте данной главы.

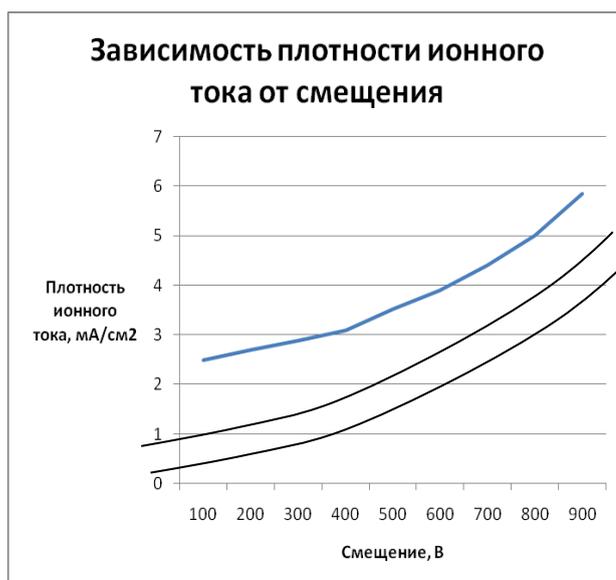


Рисунок 9. Зависимость плотности ионного тока от величины смещения, с доверительным интервалом

На рисунке 9 представлен график зависимости плотности ионного тока от смещения подаваемого на образец. Он наглядно показывает как сильно возрастает количество ионов, бомбардирующих поверхность деталей. Как и

предполагалось, при увеличении напряжения смещения, число ионов, приходящихся на единицу площади, возрастает, причем с нарастанием скорости.

3.2. Изготовление дополнительного источника нагрева

Чтобы обеспечить максимальную насыщающую способность азотосодержащей газовой среды в условиях дугового разряда и эффективность процесса поверхностного насыщения металлов азотом необходимо нагреть детали до 500 – 550°С. На данный момент существуют некоторые установленные параметры процесса азотирования, позволяющие получать поверхностные слои необходимого качества и высокой твердости за 2-6 часов. Однако эти параметры еще далеки от совершенства. Одним из принадлежащих им минусов являются жесткие условия эксплуатации накаливаемого катода из вольфрамовой нити. В результате чего они часто перегорают, выводя из строя плазмогенератор и обрывая процесс. В связи с этим возникают сложности с проведением процесса на крупногабаритных изделиях, так как мощности одного плазмогенератора не хватает для разогрева детали до температуры насыщения. Конечно, логически эту проблему можно решить установкой нескольких плазмогенераторов, даже нескольких десятков [27]. Но в таком случае увеличивается риск перегорания катодов, и если в процессе азотирования выйдет из строя один или сразу несколько плазмогенераторов, процесс придется остановить. Существует вероятность, что мы и вовсе не сможем завершить процесс, так как будут постоянно перегорать то одни, то другие катоды.

Немного подумав, мы предположили следующее: а что если использовать всего один плазмогенератор, а деталь нагревать до температуры насыщения внешним источником. Ведь чтобы обеспечить достаточную концентрацию ионов для проведения процесса азотирования достаточно одного плазмогенератора. Плазма горит по всему объему и подогревает образец до определенной температуры, однако чтобы процесс начался, необходимо нагреть деталь до 500°С. И в зависимости от габаритов детали,

не всегда может хватить мощности разряда и плазмогенератора. Схему эксперимента было решено построить следующим образом: образец необходимо экранировать от катода и индивидуально подогреть его до температуры азотирования (500°C), т. е. мы объединили два источника нагрева – газоразрядную плазму одного источника на основе дугового разряда и резистивный нагреватель в виде нихромовой спирали. Проведем процесс и получим определенные результаты. Мы надеемся, что получим нормальный азотированный слой в не зависимости от мощности разряда. С данной целью, а так же с целью увеличения экономичности и уменьшению энергозатрат процесса были предприняты попытки создать нагревательный элемент для направленного нагрева образца. Варианты полученных приборов показаны на рисунках 8-10.



Рисунок 10. Нагревательный прибор №1

Данный нагревательный прибор был достаточно компактным, подходил для нагрева образца в высоком вакууме. К сожалению, он оказался не достаточно мощным чтобы нагреть образец до температуры 500°C , к тому же

при подаче смещения по нему начинали бегать микродуги, что приводило к невозможности проведения процесса. Появление микродуг было обусловлено несовершенством конструкции прибора.

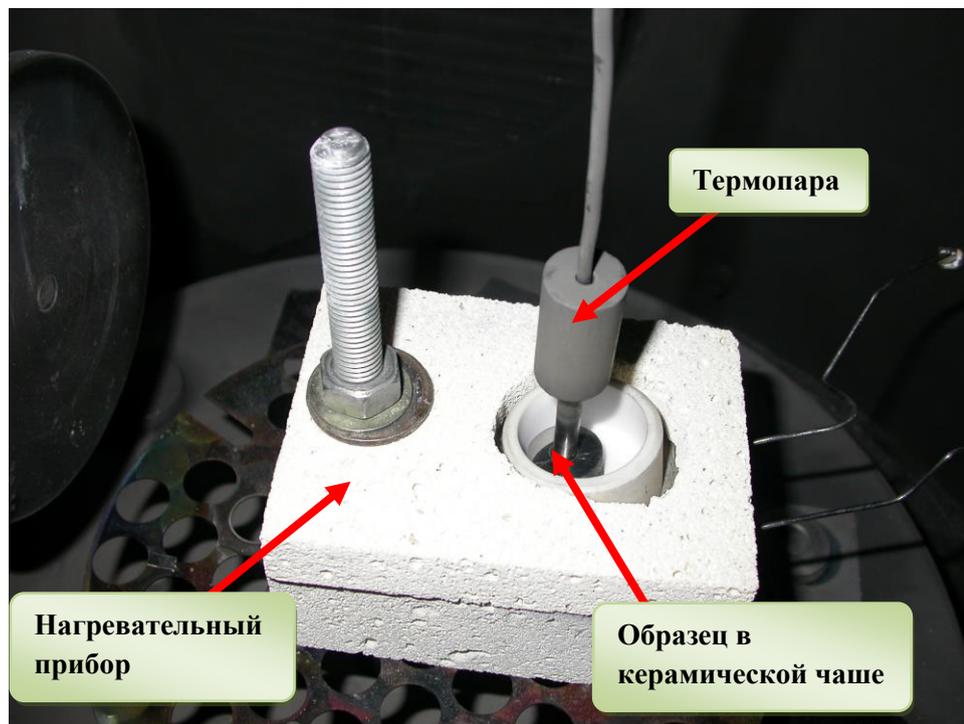
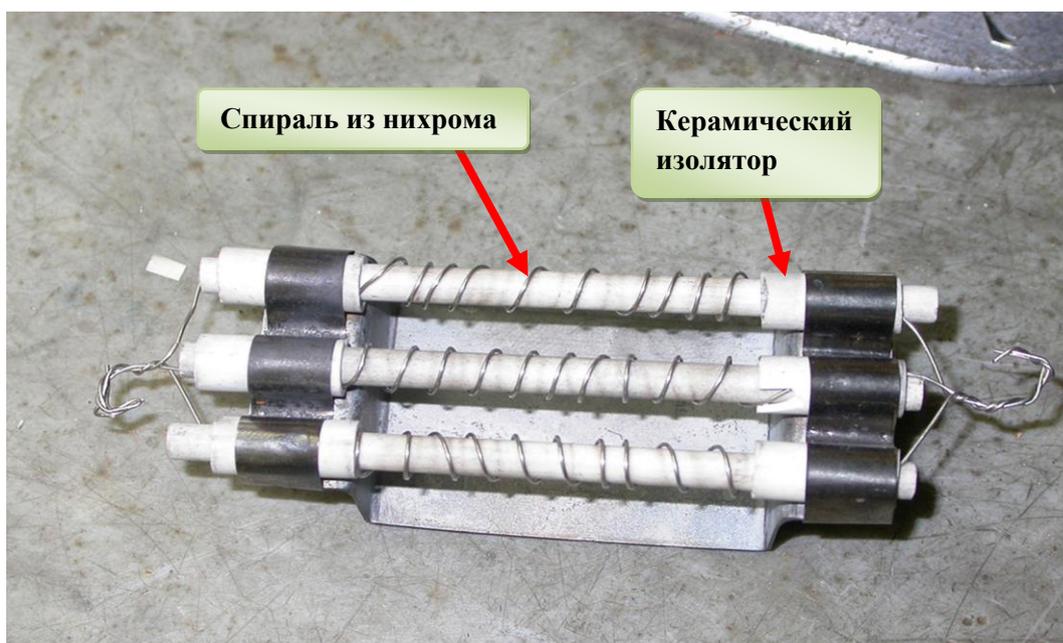


Рисунок 11. Нагревательный прибор №2

Следующий изготовленный нагреватель показал хорошую динамику нагрева. Буквально за 15-20 минут, мы достигли температуры 550°C. Но в тоже время мы столкнулись с другой проблемой. Так как материал «печки» был пористым, то откачка воздуха до необходимого вакуума оказалась невозможной.



Рисунок 12. Нагревательный прибор №3



Нагреватели (3 шт.) – нихромовая проволока $\varnothing 0,4$ мм, свитая в спираль с внешним $\varnothing 6$ мм.
 Сопротивление каждого отдельного нагревателя $R = 1,7$ Ом.
 Длина проводника одного нагревательного элемента $L = 275$ мм
 Соединитель нагревателей – стальная шпилька М6.
 Подводка к источнику питания – стальная проволока $\varnothing 1,5$ мм.
 Сопротивление нагревателей в сборе $R = 0,57$ Ом

Рисунок 13. Нагревательный элемент «печки» №3

Мощность этого прибора была выше чем у первого, но все равно не достаточной, к тому же мы избавились от микродуг. С таким нагревательным прибором нам удалось достичь максимум 400 градусов, это на 100 градусов меньше необходимого.

Из всех этих приборов только один (№2) показал желаемую, можно сказать идеальную динамику нагрева образца показанную на рисунке 14.

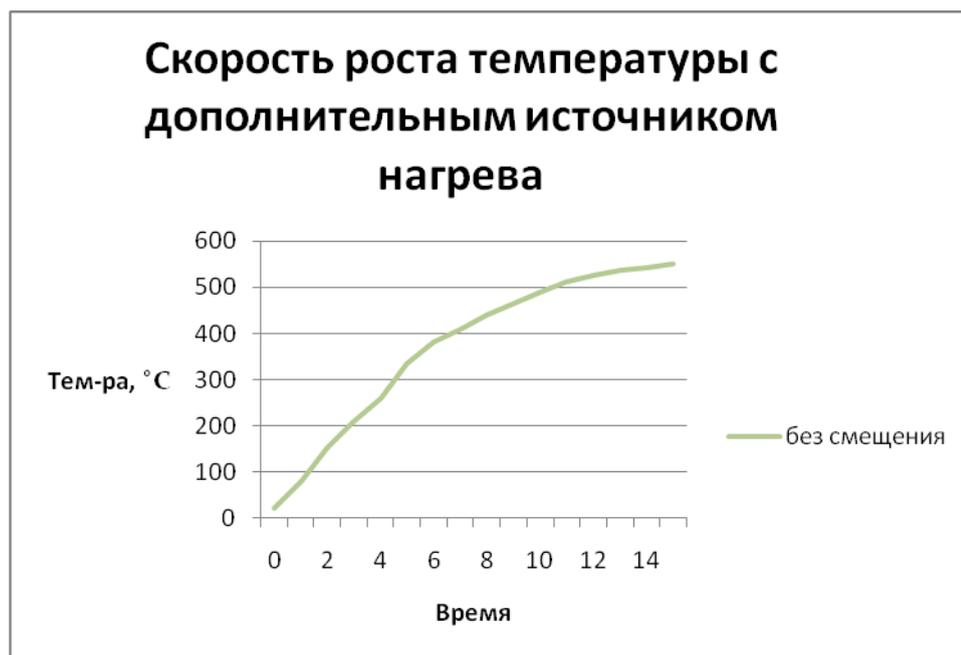


Рисунок 14. Динамика роста температуры с использованием дополнительного источника нагрева, без плазмы. Доверительный интервал $+20^{\circ}\text{C}$

На рисунке 15 показана схема установки при измерении температуры без экранирования образца. Термопара заведена в кварцевый стаканчик, который вставляется в глухое отверстие в центре цилиндрической болванки, на которой установлен образец. Он приварен на контактную сварку через пластины нихромовой фольги.

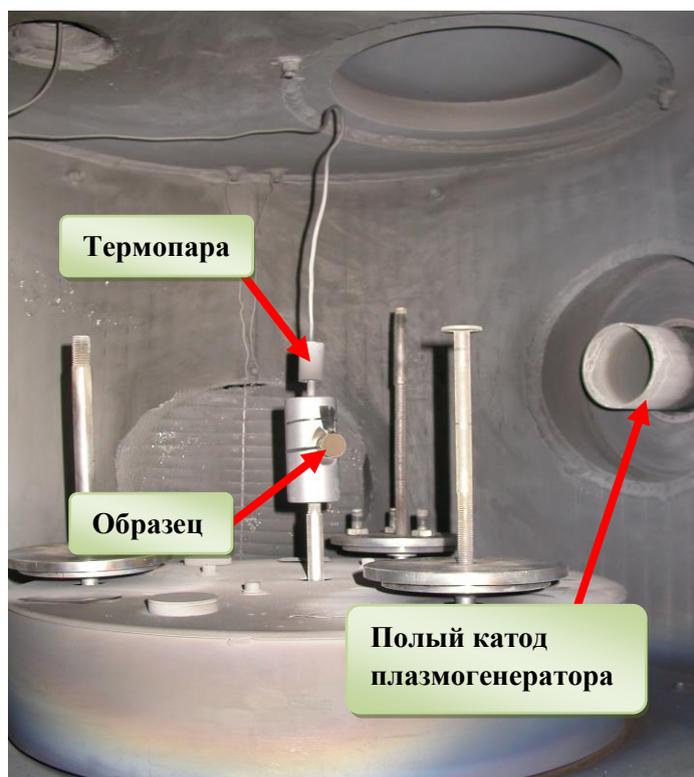


Рисунок 15. Схема установки эксперимента измерения температуры без экранирования образца

Подводя итоги нашим попыткам создать дополнительный источник нагрева можно сказать, что все они оказались не очень удачными, это связано с разными причинами, зачастую нам не хватало мощности источника нагрева. Это связано с тем, что в высоком вакууме практически отсутствуют эффекты конвекции. При этом образец был экранирован от излучения катода. В общем, максимум в вакууме нам удалось нагреть до 400 градусов. Правда, когда в качестве корпуса нагревателя у нас был пористый шамотный кирпич, мы не смогли откачать хорошо вакуум (7×10^1 Па), но при этом, отчасти за счет эффектов конвекции, мы получили привлекательную кривую динамики нагрева образца. Когда же мы сделали конструкцию из не пористого материала, нам удалось откачать вакуум до нужной степени, но при этом мы не смогли достаточно нагреть образец.

Исходя из всего выше перечисленного можно дать некоторые рекомендации по созданию таких источников нагрева:

Во-первых, все проводящие элементы должны быть хорошо изолированы от отрицательного потенциала смещения, желательно керамикой толщиной не менее 1-2 мм.

Во-вторых, материал корпуса нагревателя должен быть изготовлен из непористого материала, иначе достигнуть необходимого вакуума не удастся.

В третьих, лучше использовать для внешнего подогрева мощный источник не резистивного, а инфракрасного типа.

Идеологией создания нагревательных элементов является более рациональное использование плазмы дугового газового разряда, так как большая часть мощности разряда приходится на банальный нагрев деталей. Возникает вопрос: зачем тратить эту мощность, что является дорого и с применением сложного оборудования, когда нагрев можно обеспечить более простыми, дешевыми и доступными способами. При этом все узлы источника плазмы будут работать в щадящем режиме, а не в форсированном.

3.3. Влияние напряжения смещения на динамику нагрева образца

Как уже говорилось выше, накалинный катод является не только эмиттером электронов, но и дополнительным нагревательным элементом. Мы предположили что, если исключить мощность излучения от накалинного катода, то возможно нам даже не удастся нагреть образец до температуры азотирования. Проведя серию опытов с нагревом образца при экранировании излучения и без, мы получили результаты представленные ниже:

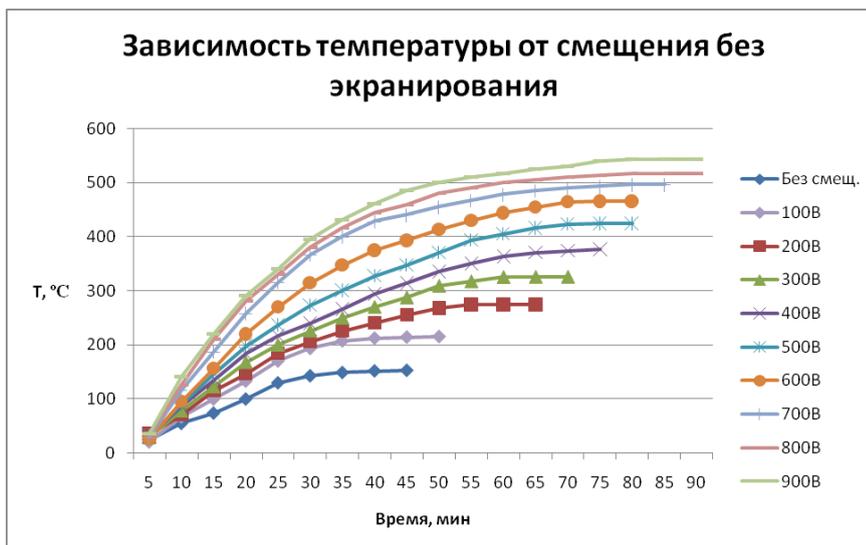


Рисунок 16. Динамика роста температуры в зависимости от отрицательного смещения без использования экрана. Доверительный интервал +20 °С.

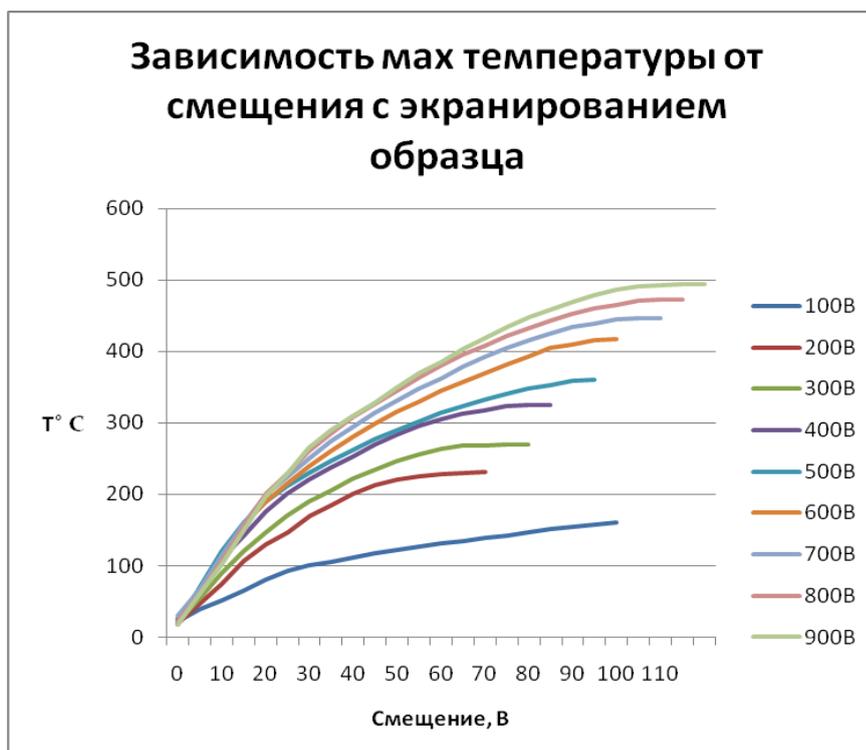


Рисунок 17. Динамика роста температуры в зависимости от отрицательного смещения с использованием экрана. Доверительный интервал +20 °С.

Из графиков (рисунок 16, 17) видно, что скорость нарастания температуры образцов без экранирования свечения, круче чем в случае когда у нас работает только разряд. Во вторых, общая температура, для каждого напряжения смещения отличается на 50-60 градусов. Т.е. это дополнительное излучение позволяет более быстро вести процесс и использовать более низкие напряжения смещения. Что в свою очередь ведет к снижению энергозатрат. Так же, температуры необходимой для азотирования (500°C) можно достичь только при высоких смещениях (от 600 В). Либо необходимо увеличивать ток разряда. В любом случае высокие величины смещения влияют на морфологию поверхности не в лучшую сторону, а увеличение токов приводит к повешенному расходу энергии.

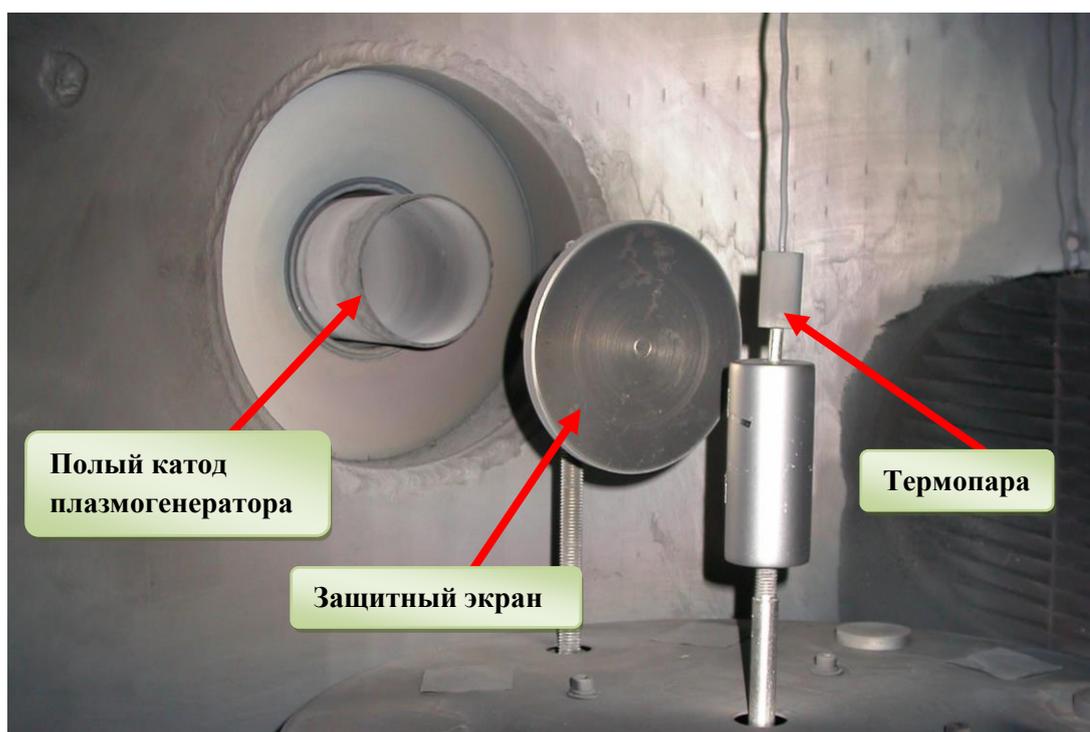


Рисунок 18. Схема эксперимента с экранированием образца

На рисунке 18 представлена схема эксперимента при получении динамики роста температуры с экранированием образца. Излучение, как тепловое так и инфракрасное, направленное в сторону образца попадает на экран, тем самым

нагревая его, а не образец. За счет того, что эффекты конвекции в высоком вакууме практически отсутствуют, то тепловое излучение от экрана не доходит до образца.

Таблица 2.

Величина смещения, В	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Макс. t детали, °С	150	215	274	326	376	424	466	496	517	542
Средняя скорость нагрева, °С/мин	3,3	3,9	4,1	4,6	4,9	5,3	5,8	5,9	5,5	5,7

Было установлено, что с увеличением величины отрицательного потенциала смещения, температура образца возрастает, так же возрастает и скорость нагрева образца. Это объясняется увеличением мощности разряда. Численные данные по результатам приведены в таблице 2 (без экранирования).

4. Исследование параметров азотированных слоев и определение оптимальных режимов азотирования

В данной главе будут показаны различия между азотированными слоями, при одинаковом давлении в камере, температуре образцов в ходе процесса, времени процесса и постоянном токе разряда. Изменяться при этом будет только напряжение смещения. Подобраны три варианта напряжения смещения: 400 В, 600 В, 900 В.

4.1. Параметры и схема эксперимента

Физическая сущность процессов ионного азотирования в водородосодержащих и безводородных средах одинакова. Однако качественные и количественные характеристики отдельных стадий этих процессов имеют свои отличия, что оказывает влияние на структуру и кинетику формирования азотированного слоя.

Отличие азотирования в дуговом разряде заключается в следующем. При подаче питания к термокатоду, постоянного напряжения к разрядному промежутку и установлении напуска рабочего газа, испускаемые термокатодом электроны ионизируют газ. Ионы, образованные во время ионизации, ускоряются в пристеночном слое и бомбардируют поверхность внутренних стенок катодной полости, вызывая тем самым эмиссию вторичных электронов, увеличивающих ионизацию газа. Так создаются условия для зажигания дугового разряда между полым катодом и стенками вакуумной камеры. В результате горения несамостоятельного дугового разряда с накалившимся катодом, камера заполняется достаточно однородной газоразрядной плазмой, имеющей положительный (~ 10 В) потенциал относительно стенок вакуумной камеры и помещенных в нее обрабатываемых деталей.

Чтобы понять как различные величины смещения влияют на структуру азотированного слоя, а именно величину нитридной пленки, глубину азотированного слоя, величину твердости на протяжении этого слоя. Было

решено провести серию опытов с различными величинами отрицательного потенциала смещения. Схема процесса приведена на рисунке 19. Детали азотировались совместно с промышленными изделиями и выступали в роли образцов-свидетелей. Ниже указаны параметры экспериментов.

Параметры эксперимента:

Напряжение разряда

55-65 В

Ток разряда

50А

Ток накала

115-125А

Давление в камере

0,4 Па

Напряжение смещения

400В, 600В, 900В

Ионный ток

3 - 3,2 А

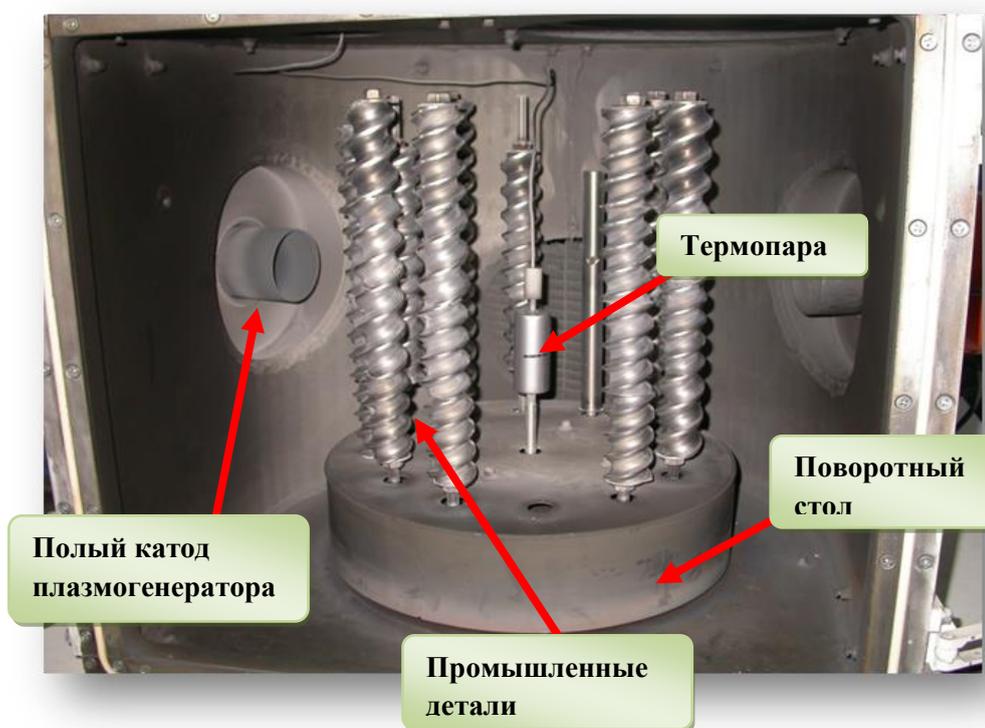


Рисунок 19. Схема эксперимента азотирования образца в дуговом разряде, совместно с промышленными изделиями.

4.2.Измерение микротвердости поверхностного слоя после азотирования при смещениях 400 В, 600 В и 900 В

Образцы загружались в камеру совместно с промышленными изделиями, которые в дальнейшем будут использоваться в производстве. Образец был закреплен в центре на цилиндрическую болванку точечной сваркой. Термопара установлена сверху в глухое отверстие. В ходе процесса поворотный стол вращается вокруг своей оси, а так же каждая деталь вращается еще и во круг своей вертикальной оси. Это обеспечивает более равномерный прогрев, а также более равномерный по толщине азотированный слой на всех деталях.

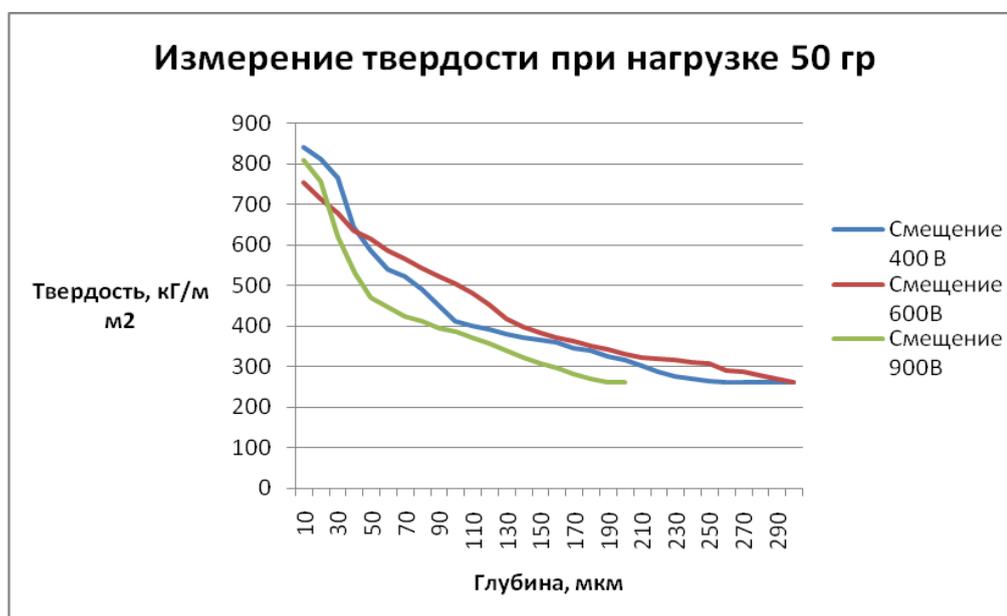


Рисунок 20. Результаты измерения микротвердости азотированных образцов.

Доверительный интервал ± 30 кг/мм²

После проведения процесса азотирования, на образцах была измерена поверхностная твердость (850 – 950 кгс/мм²) при всех трех величинах смещения. После чего был изготовлен поперечный шлиф, по которому измерялась твердость по глубине азотированного слоя, а также величина этого слоя. На рисунке 20 приведены результаты измерения микротвердости образцов в поверхностном слое, при различных режимах азотирования.

Числовые значения твердости приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Глубина, мкм	Твердость при 400 В, кг/мм ²	Твердость при 600 В, кг/мм ²	Твердость при 900 В, кг/мм ²
10	841	752.5	810
20	812	713	758
30	766	677	622
40	644	633	532
50	585	612	470
70	520	565	423
100	412	502	385
150	366	381	306
200	314	330	260
250	262	306	
260	260	290	
270	260	285	
280	260	278	
290	260	270	
300	260	260	

Из графиков можно увидеть, что при напряжении смещения 600 В и прочих равных параметрах можно достичь наибольшей глубины азотированного слоя. А при слишком высоком напряжении смещения (900 В) глубина азотированного слоя резко снижается.

4.3.Измерение нитридной зоны на поверхности азотированного образца при смещениях 400 В, 600 В и 900 В

На рисунке 21 показана фотография нитридной пленки после проведения процесса. В таблице 4 приведены числовые значения толщины нитридной зоны.

Таблица №4

Напряжение смещения, В	Толщина нитридной зоны, мкм
400	5 - 7,3
600	4 - 5,2
900	2 - 4,0

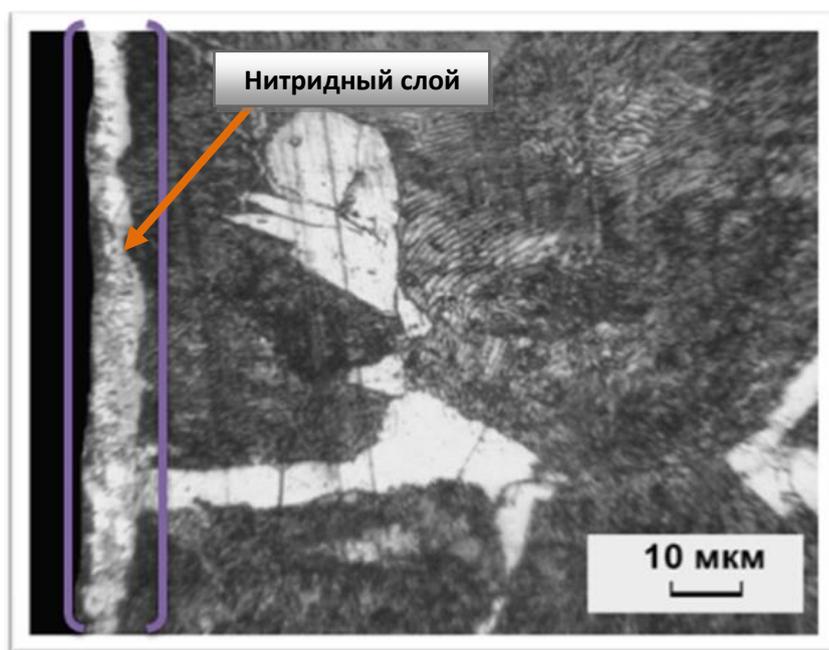


Рисунок 21. Нитридный слой при смещении 400 В, толщина 5-7.3 мкм

Как видно из таблицы, с увеличением напряжения смещения толщина нитридной зоны уменьшается, это обуславливается процессами распыления, которые возникают из за высокой энергии ионов, бомбардирующих поверхность образца. После проведения процесса при смещении 900 В, поверхность образца была очень сильно подпорчена, это было заметно невооруженным глазом. Исходя из полученных результатов можно сказать, что азотирование не рекомендуется проводить при больших напряжениях смещения, если важно качество поверхности (шероховатость) после азотирования. По результатам исследований данных образцов можно сделать выводы о качестве азотирования промышленных изделий, которые будут работать в реальных условиях. Полученные данные в будущем помогут в формировании поверхностных слоев с заданными параметрами путем азотирования в дуговом разряде.

4.4. Влияние режима азотирования на качество модифицированного слоя.

В экспериментах в качестве материалов для азотирования была также выбрана легированная сталь 40X. Выбор конструкционной стали обусловлен тем, что это достаточно широко распространенный конструкционный материал, который является хорошо азотируемым материалом.

Однако механические свойства этой стали недостаточно хороши для использования в приложениях, где требуется повышенная прочность и износостойкость изделия. Ионно-плазменное азотирование конструкционной стали позволяет существенно улучшить ее прочностные характеристики, а даже создать на ее поверхности антикоррозионный слой.

Одним из основных направлений исследований является изучение влияния тока разряда на скорость азотирования, а также на состав азотированных. Однако экспериментальное исследование влияния тока разряда в широких пределах затруднено из-за необходимости поддержания образцов при постоянной и достаточно высокой температуре, при данных параметрах оборудования этого метода плазменного азотирования.



Рисунок 22. Оборудования метода плазменного азотирования

Для достижения необходимой температуры для азотирования, т.е. 500°C было принято решение сконструировать и реализовать в этих экспериментах дополнительный источник нагрева образца-свидетеля.

В изложенном материале выше, говорилось о применении экрана, чтобы отгородить образец от прямого светового излучения плазмогенератора. Было принято решение установить деталь на место, ближайшее от плазмогенератора, и развернуть образец тыльной стороной к излучению. На боковой стороне было сделано отверстие, в котором была закреплена термопара. На образце, с помощью точечной сварки, был установлен небольшой экран, чтобы закрыть кварцевый стакан термопары от света. При данной схеме удалось достичь необходимой температуры.

Схема эксперимента выглядела следующим образом (рисунок.23).

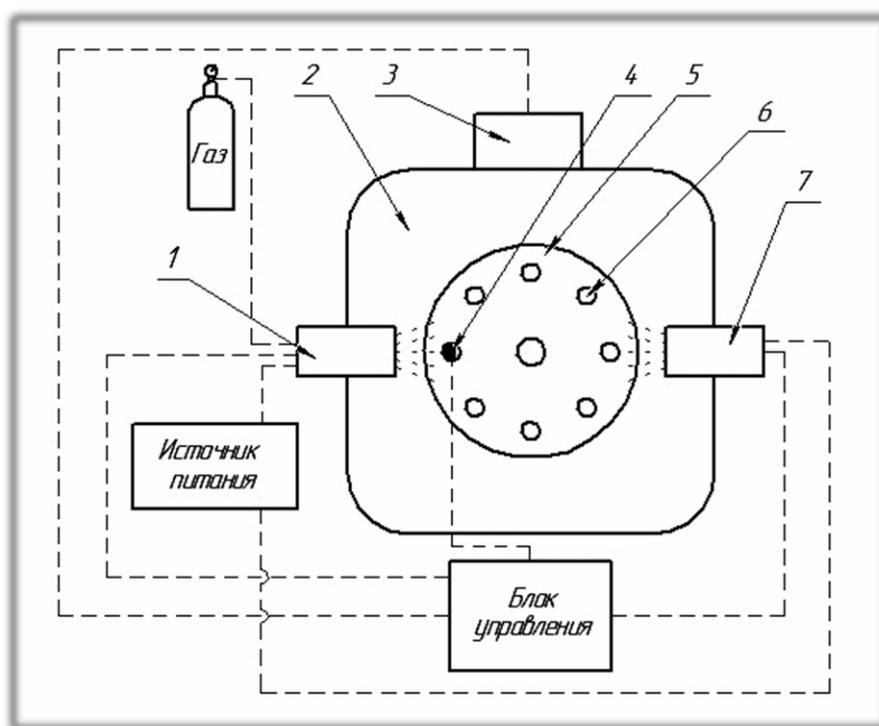


Рисунок 23. Схема эксперимента

Образец-свидетель устанавливался среди реальных машиностроительных деталей, называемыми металлическим балластом.

В рамках данной работы была поставлена задача, определения глубины модифицированного слоя образца, а также толщины нитридной зоны. Эксперимент проводили при следующих режимах (табл. 5).

Таблица 5.

Таблица 5. Режимы процесса, при которых проводились эксперименты						
	Сила тока разряда I, А	Сила тока накала I, А	Давление в камере P, Па	Напряжение смещения U, В	Температура процесса T, °C	Время процесса t, ч
Образец №1	50	120	0.4	250	500	2
Образец №2	75					
Образец №3	100					

Время процесса насыщения стали азотом при температуре 500°C для получения толщины слоя равной 500 мкм должно быть примерно 4-5 часов [33]. Время 2 часа было выбрано специально в рамках эксперимента, так как не стояла задача получения полноценного слоя.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Процессы проводились с использованием образцов из стали 40Х, находившихся первоначально в одном исходном состоянии, в состоянии поставки.

Как видно из представленной ниже температурно-временной характеристики (рисунок 24), образцы в зависимости от режимов обработки нагревались с разной скоростью. Это объясняется тем, что при увеличении тока разряда и кинетической энергии ионов увеличиваем вкладываемую мощность разряда.

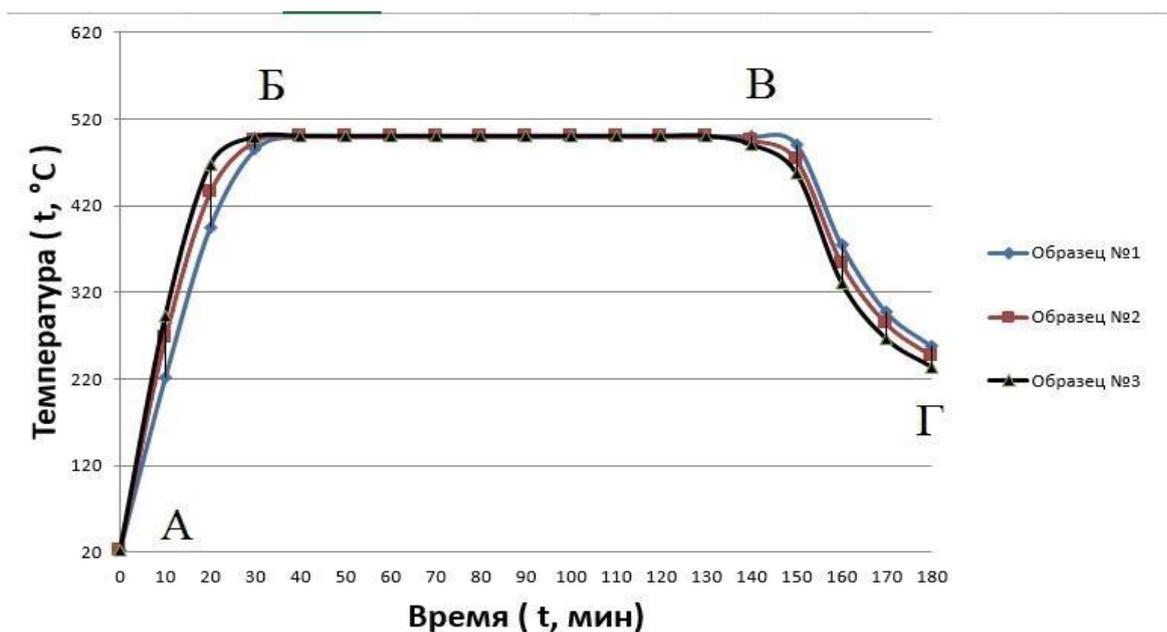


Рисунок 24. Температурно-временные характеристики процессов

Участок А-Б является нагревом и протекает примерно 25-30 мин в зависимости от тока разряда. При чем при увеличении тока разряда время уменьшается. По достижению 500°C начинается процесс азотирования, участок Б-В, который длился 2 часа для всех трех случаев. Затем процесс остывания, участок В-Г. Точкой Г на графике показана температура, до которой образец охлаждали в камере, до значения 220-230°C. Далее образцы

охлаждались уже на воздухе. До первоначальной температуры в 23-25°C образцы остывали в течении 3 часов.

Однако при увеличении силы тока разряда, был перегрев образцов, т.е. имели температуру больше чем 500°C. Эта проблема была решена путем увеличения расстояния образца от источника инфракрасного тепла. Температура во время процесса азотирования всех трех экспериментов была выдержана в пределах 500°C.

В таблице 6 представлены результаты, после азотирования образцов при заданных режимах.

Таблица 6.

Таблица 6. Параметры процессов азотирования стали 40X при заданных режимах обработки				
	Твердость на поверхности, НV	Глубина азотированного слоя, мкм	Твердость на глубине 100 мкм	Толщина нитридного слоя, мкм
Образец №1	800	250-260	390-400	5-6
Образец №2	800	250-260	390-400	7-8
Образец №3	800	250-260	390-400	8-9

Как видно из таблицы поверхностная твердость всех трех образцов одинаковая. На поверхности всех трех образцов образовался нитридный слой. При чем толщина нитридного слоя у образца, обработанного при силе тока разряда 50 А, оказалась наименьшей и составляет 5-6 мкм. Однако у образца,

азотированного при 100 А силы тока разряда, удалось достичь толщины нитридной зоны равной 8-9 мкм. Именно нитридный слой дает твердость этой стали равной 800 НV. После 2 часов азотирования данной стали в тлеющем разряде толщина нитридного слоя составляет около 2 мкм [33]. Видно явное преимущество азотирования в дуговом разряде. Хотя глубина модифицированного слоя у обоих методов после 2 часового азотирования одинаковая и составляет примерно 250 мкм. Далее микротвердость выходит на значение исходного материала.

Металлографические изображения на поперечных шлифах структуры стали 40Х сделаны на оптическом микроскопе. Снимки полученные после ионного азотирования при трех значениях силы тока разряда и одинаковой продолжительности процессов приведены на рисунке 25.

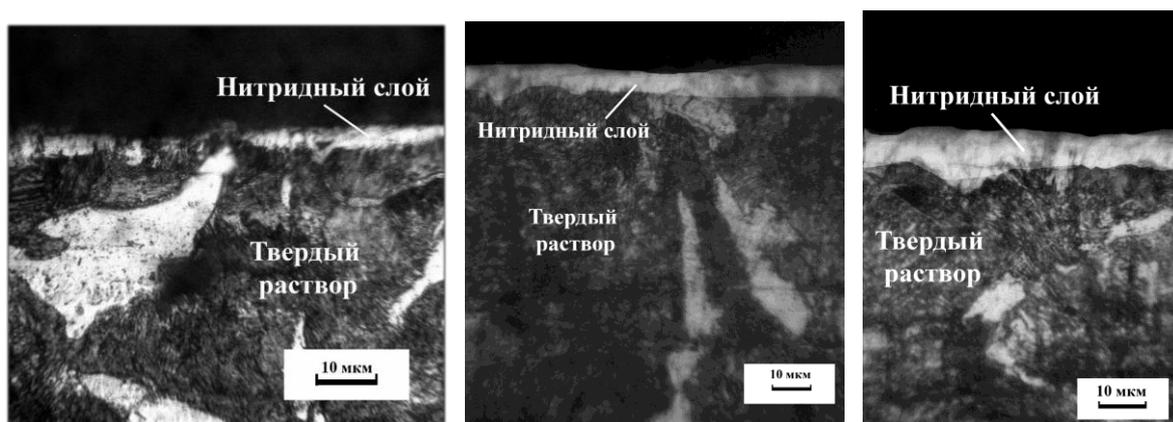


Рисунок 25. Микроструктура поперечных шлифов образцов азотированной стали 40Х, обработанной в плазме дугового разряда при $T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 2\text{ ч}$, при $I_{\text{H}}=50\text{A}$ (А), $I_{\text{H}}=75\text{A}$ (Б), $I_{\text{H}}=100\text{A}$ (В) $\times 494$

На фотографиях отчетливо видно сформировавшийся на поверхности белый слой, состоящий из γ' -фазы, а также четко видна граница между данным слоем и твердым раствором азота в железе. Используемый травитель - четырехпроцентная азотная кислота в спирте, способствовал выявлению

структуры азотированного слоя. Твердый раствор подвергся травлению и на нем можно наблюдать границы зерен. Нитрид железа не подвергается травлению в данной кислоте. На снимках также видно, что при увеличении силы тока разряда имеем более равномерную толщину нитридной зоны.

Результаты распределения микротвердости стали по глубине образцов приведены на рисунке 26.

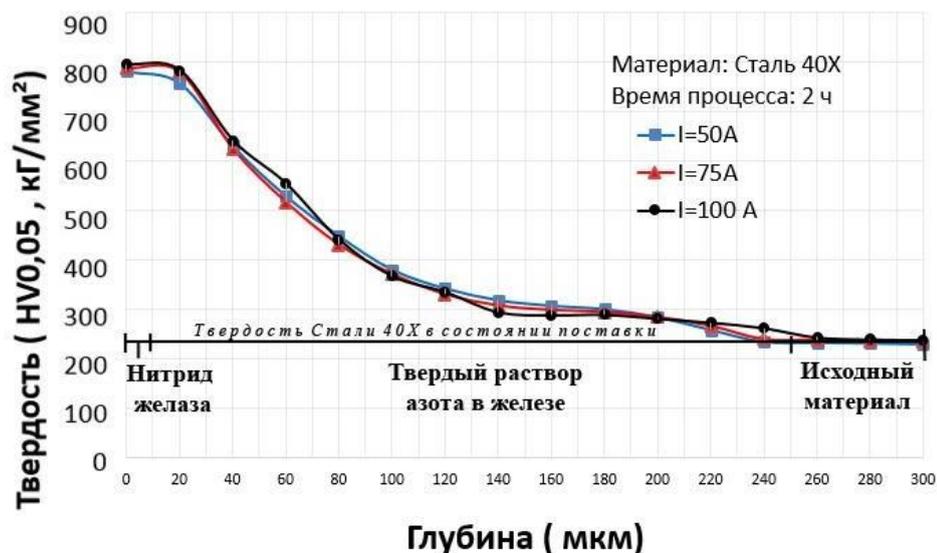


Рисунок 26. Влияние режимов обработки на распределение твердости по толщине азотированного слоя после ионного азотирования в дуговом разряде

Значения твердости всех трех образцов, азотированных при разных режимах, можно считать одинаковыми, так как они укладываются в значение погрешности равной ± 30 единиц твердости. Величина погрешности оговорена в инструкции к микротвердомеру ПМТ – 3.

Проведенные исследования показывают, что с увеличением силы тока дугового разряда, толщина азотированного слоя остается одинаковой. Скорость роста белого слоя Fe_4N (нитрида железа) максимальна на начальной стадии азотирования и в дальнейшем медленно затухает.

Энергия ионов, падающих на поверхность образцов определяется приложенным к держателю напряжением смещения $U_{см}$. Эксперименты показали, что при величине $U_{см}$ равной 200В твердость и толщина слоя нарастают с приемлемой скоростью, что, вероятно, является свидетельством достаточного уровня энергии ионов для эффективной ионной очистки поверхности от оксидных пленок и адсорбированных газов. Увеличение напряжения смещения может привести к сокращению толщины слоя и ухудшению шероховатости поверхности. Как следует из [36], толщина азотированного слоя h прямо пропорциональна коэффициенту диффузии азота D и обратно пропорциональна скорости ионного распыления U_s :

$$h = \frac{2D}{v_s} \quad (5);$$

Скорость ионного распыления U_s прямо пропорциональна плотности ионного тока j_i . При увеличении напряжения смещения происходит увеличение ионного тока что соответственно приводит к увеличению скорости ионного распыления. Также на плотность ионного тока влияет и изменение силы тока разряда однако это изменение не настолько существенно в отличие от напряжения смещения. Из формулы 3, видно, что плотность ионного тока прямо пропорционально зависит от ионного тока. Значения ионного тока трех режимов азотирования представлены в таблице 22.

Таблица 7. Значения ионного тока при заданных режимах азотирования	
Образец №1	5,2→4,5
Образец №2	5,7→4,9
Образец №3	6,0→5,1

В процессе азотирования ионный ток немного уменьшился. Это объясняется тем, что уменьшается количество ионного тока, вследствие изнашивания накаливаемого катода, в связи с тем, что уменьшается площадь поверхности вольфрамовой нити катода эмитирующие электроны, которые в свою очередь ионизируют атомы азота.

Таким образом, из проведенного выше анализа представленных результатов, можно сделать вывод, что азотирование в безводородной плазме дугового разряда является эффективным методом упрочнения поверхностей. Причем отмечено, что нет зависимости силы тока дугового разряда на азотированный слой, а точнее на значение поверхностной твердости, а также глубину модифицированного слоя. Величина тока разряда влияет на толщину нитридной зоны Fe_4N . Для получения необходимых технологических параметров будущего изделия, ее можно регулировать, путем изменения величины тока разряда.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ71	Кодиров Алиер Бахтиер угли

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема НИР:

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АЗОТИРОВАНИЯ НА
УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.**

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально – технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- стоимость расходных материалов;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- норматив заработной платы;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- коэффициенты для расчета заработной платы;
	- тариф на электроэнергию;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	- Выполнение SWOT – анализа проекта - Инициация проекта - Организационная структура проекта
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	- Определение трудоемкости выполнения работ; - Разработка графика проведения научного исследования; - Расчет материальных затрат НТИ; - Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.

Перечень графического материала:

1. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Рагозин Д.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ам71	Кодиров А.Б.		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

5.1. SWOT-анализ

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно-технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

В настоящей работе рассмотрены экспериментальные исследования параметров теплового тэна, установленного в вакуумной камере, для интенсификации ионно-плазменной обработки поверхности металлических деталей на разных стадиях технологического процесса.

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 8. –Матрица SWOT

	Сильные стороны научно исследовательского проекта: С1.Возможность модифицировать установку. С2. Высокая производительность С3. Снижение затрат на электроэнергию	Слабые стороны научно исследовательского проекта: Сл1. Большие затраты на комплексное оборудование. Сл2. Максимальная загрузка камеры- 60 кг. Сл3. Большой объем выполнение работы за короткий срок.
--	--	--

	С4. Увеличение срока службы инструмента С5. Актуальность темы.	Сл4.Вероятность получения брака.
--	---	----------------------------------

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. В связи с постоянным интересом к процессу упрочнения поверхности конструкционных сталей – высокая вероятность получить бюджетное финансирование.</p> <p>В3. Возможность использования широкомасштабног о применения технологии в производстве</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Использование консультаций специалистов.</p>	<p>С1В2 – вероятность расширения кол-ва поставщиков(снижение себестоимости изделия)</p> <p>С1В3 - упрощение внедрения технологии в производство за счет варьирования состава</p> <p>С1В4 – упрощение технологического процесса упрочнения поверхности за счет минимального расхода времени.</p>	<p>В1Сл4 –новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака.</p> <p>В1 Сл5 – модифицированное оборудование, 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>	<p>С1У1-возможность создания более модифицированного и качественного конкурентоспособного оборудования.</p>	
---	---	--

5.2.Инициация проекта

Таблица 9. 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 порошковых упрочненных деталей в процессе азотирования.

Таблица 10. Цели и результат проекта

<p>Цели проекта:</p>	<p>Экспериментальное исследование параметров теплового тэна, установленного в вакуумной камере, для интенсификации ионно-плазменной обработки поверхности металлических деталей на разных стадиях технологического процесса.</p>
-----------------------------	--

Ожидаемые результаты проекта:	Благодаря использованию тэна на данном технологическом оборудовании появится возможность отказаться от одного плазмогенератора и обеспечить ее работой источников питания.
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

5.2.1. Организационная структура проекта

Таблица 11. Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, дни
	Гончаренко И.М. , доцент, к.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
	Кодиров А.Б. , 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

Таблица 12. - Линейный график работ

Эт П	НР	И	Март				Апрель		Май		Июнь			
			0	1	2	4	50	60	70	80	90	100	110	
1	4,07	–	■											
2	3,5	0,35		■										
3	5,75	19,16			■									
4	4,07	0,39				■								
5	1,83	6,1					■							
6	14,25	9,9						■						
7	10,47	8,36							■					
8	–	15,1								■				
9	–	10,45									■			
10	–	7,84										■		
11	5,4	9											■	

5.3. Ограничения и допущения проекта

Таблица 13. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	469 979,9
3.1.1. Источник финансирования	ИФПМ СО РАН
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2018
3.2.2. Дата завершения проекта	03.05.2019

5.3.1. Бюджет научного проекта

Таблица 14. Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Азот газообразный высокой чистоты марка 6.0	ТУ 2114-009-45905715-2011 баллон, емк. 1-12 л.	3 кг	1200	3600
Наждачная бумага	ЭМ14А20Н СФК	7 м ²	329	2303
	ЭМ14А6Н СФК	7 м ²	235	1645
	ЭМ14А Р600 СФК	7 м ²	200	1400
	ЭМ14А Р2000 СФК	7 м ²	90	630
Алмазная паста	АСМ 28/20	7 шт	250	1750
	АСМ 1/0	7 шт	120	840
Всего за материалы				12168
Транспортно-заготовительные расходы				2000
Итого по статье С_м				26336

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

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

Таблица 15 – Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Срок службы, Т, дни	Время эксплуатации, t, дни	N_a норма амортизации	Амортизационные отчисления, руб.
Модифицированная установка для азотирования в дуговом разряде «ННВ-6.6-И1»	4000000	6570	10	0,015	1643

Трехмерный профилометр micro measure 3d station	328000	2190	1	0,4	359
ДРОН-7	400000	3650	4	0,1	712
Микротвердомер ПМТ-3	250000	5475	7	0,018	86
Шлифовально-полировальный станок Saphir 520	500000	3650	20	0,1	2739
Компьютер	30000	2190	60	0,045	16
ИТОГО					5555

Таблица 16. 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 сведен в таблицу

Таблица 17. Расчет заработной платы

Исполнители	Количество	Зарплата,	Количество	Всего	Дополнительная	Отчисления
		руб./мес.	отработанных	з.п,	з.п	на
			дней	руб		социальные
						нужды

Руководитель	1	25000	60	75000	9000	25200
Исполнитель	1	9000	593	242590	29110,8	81515
Итого:				317590	38110,8	106715

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

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

5.3.2. 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 %

5.3.3. Затраты на электроэнергию

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

Таблица 18 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность, кВт	Время эксплуатации, час	Расход электроэнергии, руб.
Модифицированная установка для азотирования в дуговом разряде «ННВ-6.6-И1»	8	80	2790
Трехмерный профилометр micro measure 3d station	0,2	80	70
ДРОН-7	5,5	32	767
Микротвердомер ПМТ-3	0,02	56	5

Шлифовально-полировальный станок Saphir 520	1,6	160	1116
Компьютер	0,35	240	366
ИТОГО			5114

5.3.4. Затраты на водоснабжение

Тариф на водоснабжение 30,22 руб/м³. Примерный расход воды за время исследований составляет 10 м³. Затраты на водоснабжение за весь период исследования составляет 302,2 руб.

5.3.5. Затраты на водоотведение

Тарифы на водоотведение 20,59 руб/м³. Затраты на водоотведение за весь период исследования составляет 205,9 руб.

5.3.6. Полная смета затрат на выполнение НИР

Таблица 19. Полная смета затрат

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	26336
Амортизационные отчисления	5555
Заработная плата	317590
Дополнительная заработная плата	38110,8
Отчисления на социальные нужды	106715
Затраты на электроэнергию	5114
Затраты на водоотведение	205,9
Затраты на водоснабжение	302,2
Итого	499928,9

Затраты на разработку составили $C = 499928,9$ руб.

5.3.7. Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20 \%$ от полной себестоимости проекта. В нашем примере она составляет 99985,78 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

Заключение

В ходе проделанной работы определены затраты на научно-исследовательскую работу. Рационально спланирована занятость каждого из участников и сроки проведения отдельных работ для организации процесса реализации исследовательской работы. Опытным-статистическим методом были определены продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

С учетом всех рассмотренных вопросов по разделу, анализе различных факторов и расчетов денежных затрат исследовательского проекта, можно резюмировать, что данная научно-исследовательская работа перспективна.

По результатам SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта. 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.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM71	Кодиров Алиер Бахтиер угли

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема ВКР:

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АЗОТИРОВАНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Целью исследовательской работы является разработка и применение на практике нового вида химико-термической обработки – электродуговое азотирование для улучшения эксплуатационных свойств, которое станет одним из превалирующих процессов обработки материалов и изделий. Научная работа выполнялась в лаборатории НИ ТПУ 10-го корпус</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ; – Положение об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН [Текст]. – Томск: ИФПМ СО РАН, 2018. – 18с; – Требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78; – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ должны обеспечиваться в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03; – средства пожаротушения предусматриваются согласно требованиям противопожарной безопасности по СНиП 2.01.02. -85; Использование электрических приборов осуществляются в соответствии с ГОСТ Р 52084-2003.
2. Производственная безопасность: <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Превышение уровня шума 2. Вредные вещества 3. Отклонение показателей микроклимата 4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны 5. Опасность поражения электрическим током

3. Экологическая безопасность:	<i>Воздействие на атмосферу в связи с токсичностью порошков. взрывоопасностью и пожароопасностью некоторых материалов и газов; Влияние на гидросферу посредством слива кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации..</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Возможные ЧС на объекте: поражение электрическим током; замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Превентивные меры по предупреждению ЧС: применение изоляции, недоступность токоведущих частей, применение малых напряжений, изоляция электрических частей от земли. Действия в результате возникшей ЧС и ликвидации ее последствий должны быть описаны в каждой инструкции охраны труда, при приеме на работу сотрудники должны проходить инструктаж по технике безопасности.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Исаева Е.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ71	Кодиров А Б		

6 Социальная ответственность

Введение

В данной научно-исследовательской работе проводится исследование физико-механических свойств наноструктурных покрытий на основе системы титан-кремний. В ходе оценки показателей качества разработанной методики необходимо проведение работ, связанных с наноструктурными материалами, которые могут оказать вредное воздействие на организм человека. В лабораториях используются приборы и оборудование, неосторожное обращение с которыми может стать причиной травм. В условиях производственной деятельности безопасность работника определяется соблюдением им специальных правил.

При проведении исследовательских работ для магистерской диссертации было использовано следующее оборудование: пресс гидравлический МС 500,

универсальная испытательная машина Walter+Bai AG LFM-125, микроскоп

АХIOVERT-200МАТ, шлифовально-полировальный станок МЕСАРОL Р 230, триботестер фирмы «Tribotechnic».

В процессе подготовки исследуемых образцов выполняется настройка оборудования, работа с ручным инструментом и работа с электронно-вычислительной машиной (ЭВМ).

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с законодательством Российской Федерации[1] нормальная продолжительность рабочего дня не может превышать 40 часов в неделю. При наличии вредных условий труда рабочий день лимитирован 26 часами в неделю. Накануне официальных праздничных дней продолжительность рабочего дня сокращается на один час. При работе в

ночное время (с 22 до 6 утра) продолжительность рабочего дня также сокращается на час. Указом Министерства здравоохранения от 29 декабря 1993 года №256 создан перечень тяжелых работ и опасных условий труда, согласно которому запрещается привлекать женщин к работам, которые связаны с постоянным (больше 2-х раз) на протяжении одного часа перемещением грузов массой свыше 7 кг. Если женщина занята подъемом или перемещением грузов до двух раз в течение часа, то ей может поручаться такая работа при весе груза до 10 кг. Причем в обоих случаях суммарная масса груза, который перемещается на протяжении каждого часа рабочей смены, не должна превышать 350 кг - с поверхности рабочего места и 175 кг с пола..

Основные принципы организации работы по охране труда, структуру и функции органов управления охраной труда, обязанности и ответственность Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН) устанавливается положением об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН. Организация работ по охране труда в ИФПМ СО РАН возлагается на работников отдела охраны труда и техники безопасности, пожарной безопасности, гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ОТ и ТБ, ПБ, ГО и ЧС)[2].

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

Сотруднику разъясняются основные опасные факторы среды, правила оказания первой помощи, расположения средств пожаротушения, планов эвакуации и аптечек первой помощи. На стенах лаборатории вывешены инструкции по технике безопасности, план эвакуации при пожаре.

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 4 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 зануленной 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.

6.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке проекта.

Для идентификации и описания потенциально опасных и вредных факторов, перечень которых приведен в таблице 1, использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Таблица 20 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Работы	и	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума			Эксплуатация и обслуживание машинно-оборудования	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности[2]
2. Вредные вещества			Эксплуатация и обслуживание машинно-оборудования	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности[3]

3.Отклонение показателей микроклимата			<p>1)СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»[6]</p> <p>2)ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия[7].</p>
4.Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны			<p>СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение[8].</p> <p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[9].</p>
5.Опасность поражения электрическим током			<p>ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля[10].</p>

6.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

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 12.0.003-2015.

К физическим факторам можно отнести опасность поражения электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием, питающимся от сети 220В 50Гц. Воздействие излучения монитора компьютера также относится к данной категории.

К химическим факторам относится наличие в воздухе металлической пыли, которая образуется при шлифовании образцов. При попадании в организм через дыхательные органы, через поры кожи пыль может вызывать профессиональные заболевания. При передвижении людей пыль может легко подниматься с пола вверх и проникать в легкие.

К психофизическим факторам можно отнести шумовое воздействие, монотонность работы, умственное перенапряжение и т.п. При обработке данных полученных на рентгеновском дифрактометре или на микроскопе, оператор выполняет монотонную работу, что может вызвать возникновение нервных расстройств или переутомляемость.

6.2.1.1 Превышение уровня шума

Шум – всякий нежелательный для человека звук. Звуковые волны возбуждают колебания частиц звуковой среды, в результате чего изменяется атмосферное давление. Шум, который возникает при работе оборудования и превышающий допустимые нормативные значения, воздействует на человека на вегетативную и центральную нервную систему и органы слуха. Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются вакуумная ионно-плазменная установка. Шум в лаборатории не должно превышать 80 дБА. Уровень шума установлен в ГОСТ 12.1.003-83.

Действие шума на человека зависит от уровня и характера шума, его продолжительности, а также от индивидуальных особенностей человека.

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 шумобезопасной 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) — противозумные вкладыши из ультратонкого волокна “Беруши” одноразового использования, а также противозумные 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 .

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются принтер, вентиляторы системы охлаждения, шлифовально-полировальный станок Saphir 520.

Уровень шума в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, не должен превышать 50 - 60 дБ А[3].

6.2.1.2. 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.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на чрезвычайно опасные (1-го класса), высокоопасные (2-го класса), умеренно опасные (3-го класса) и малоопасные (4-го класса). Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества попавшего в организм вещества.

Для выявления структуры металлических наплавов применяется метод травления азотной кислотой. Она является едким веществом и относится к веществам 3-го класса опасности. Азотная кислота вызывает сильные ожоги при контакте с кожей, а её пары поражают слизистые оболочки, дыхательные пути, вызывают конъюнктивит. Предельно допустимая концентрация вредного вещества третьего класса опасности в воздухе рабочей зоны составляет от 1,1 до 10 мг/м³ [4].

6.2.1.3. Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат – это сочетание температуры, влажности и скорости движения воздуха в рабочих помещениях. Микроклимат влияет на процессы теплообмена и характер работ. Длительное воздействие неблагоприятных условий на человека ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Рассмотрим воздействие факторов поподробнее:

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 температуре усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению;

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

ЭВМ является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В санитарных нормах СН-245-71 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасового рабочего дня. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут привести к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

6.2.1.4. Отсутствие или недостаток естественного света.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Создание комфортных световых условий труда улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благоприятно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на рабочих, повышая безопасность труда и снижая травматизм.

Недостаточное освещение приводит к перенапряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать рабочего.

6.2.1.5 Опасность поражения электрическим током

Опасность поражения электрическим током зависит от таких факторов, как сырость, жара, едкие пары и газы, токопроводящая пыль. При наличии данных факторов возникает возможность перехода напряжения на нетоковедущие части электрооборудования (корпуса, станины, кожухи), с которыми работающий находится в контакте. В таких условиях также понижается электрическое сопротивление тела человека, дополнительно увеличивая опасность поражения током.

Предельно допустимые величины напряжения и тока согласно ГОСТ 12.1.038-82 приведены в таблице 3.

Таблица 21 - Предельно допустимые величины напряжения и тока

Допустимое время действия, с	Длительность	Д				
		о 30	,5	,2	,1	
Величина тока, мА	1	60	00	50	00	
Величина напряжения, В	6	60	00	50	00	

Действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ) все помещения подразделены на следующие три класса:

I. Помещения без повышенной опасности: сухие, с нормальной температурой воздуха, с токонепроводящими полами.

II. Помещения с повышенной опасностью: сырые с относительной влажностью воздуха (длительной) 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.

III. Помещения особо опасные: особо сырые с относительной влажностью воздуха, близкой к 100%, химически активной средой, одновременным наличием двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА[11].

Одной из особенностей поражения электрическим током является отсутствие внешних признаков грозящей опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить с помощью органов чувств.

Ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы таких жизненно важных органов как сердце и легкие. Поэтому второй особенностью воздействия тока на человека является тяжесть поражения.

Третья особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что токи промышленной частоты силой в 10-15мА способны вызвать резко интенсивные судороги мышц.

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.

6.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

В данном подразделе разрабатываются решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов на работающих. Также предлагаются мероприятия, обеспечивающие безопасность технологического процесса и эксплуатации оборудования.

Также необходимым является рассмотрение требования безопасности, предъявляемые ко всем видам работ, установкам и устройствам, формирующим опасные факторы, в том числе и электротехническим установкам в соответствии с нормативно-технической документацией.

Предусматриваются мероприятия и средства защиты работающих от поражения электрическим током установок, разрабатываемых и используемых при выполнении исследовательской работы.

6.2.2.1 Превышение уровня шума

В целях уменьшения или устранения шума в лаборатории применяются следующие меры: машины, производящие сильный шум, находятся в отдельной комнате, изолированной от помещений, в которых находится рабочий персонал; при длительном использовании данного оборудования, рабочим выдаются средства индивидуальной защиты, в виде противошумных наушников.

6.2.2.2 Вредные вещества

Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски. Все работы проводятся в вытяжном шкафу.

Первая помощь - при попадании азотной кислоты в глаза их промывают проточной водой в течение 10 – 30 мин.; при попадании на кожу пораженную поверхность обмывают водой, прибавляя к ней питьевую соду, мыло. При проглатывании азотной кислоты показано промывание желудка обильным количеством воды, инъекции морфина, атропина.

6.2.2.3 Отклонение показателей микроклимата

Воздух, поступающий в рабочие помещения операторов ЭВМ, должен быть очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов.

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата(табл. 2)[6].

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19 °С[7].

В помещении имеется только естественная вентиляция (форточки окон, двери). Отопление зимой осуществляется через систему общего отопления (городская). В крайнем случае, устанавливаются электрические обогреватели в зимнее время и вентилятор в летнее[8].

Таблица 22 - Нормы подачи свежего воздуха в помещения с ЭВМ

Характеристика помещения	Объемный расход воздуха в помещении, м ³ /на одного человека в час
Объем до 20м ³ на человека	Не менее 30
20-40м ³ на человека	Не менее 20
Более 40м ³ на человека	Естественная вентиляция

6.2.2.4. Отсутствие или недостаток естественного света.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

В соответствии со СНиП II-4-79 в вычислительных центрах применяется система комбинированного освещения. Для работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3 - 0,5 мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5 %, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5 - 1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0 % [9].

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения. Для общего освещения производственных помещений следует использовать светодиоды и энергоэффективные разрядные источники света. Применение ламп накаливания общего назначения для освещения ограничивается в соответствии с Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»[10].

В помещениях, где установлены ЭВМ действуют следующие требования:

- при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300 лк, а комбинированная – 750 лк;
- при выполнении работ средней точности - 200 и 300 лк соответственно.

При этом крайне важно, чтобы все поле зрения было освещено равномерно. Это значит, что степень освещения помещения и яркость экрана ЭВМ должны быть примерно одинаковыми, так как яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости.

Для работы с ЭВМ рекомендуются помещения с односторонним боковым естественным освещением с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией светопроемов. Площадь световых проемов должна составлять 25 % от площади пола. Удовлетворительное естественное освещение проще создать в небольших помещениях на 5-6 рабочих мест, а больших помещений с числом сотрудников более 20, лучше избегать. В случае, если экран ЭВМ обращен к окну, должны быть предусмотрены специальные экранизирующие устройства.

6.2.2.5. Опасность поражения электрическим током

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000В. Устройства относятся к 1 классу, так как имеют рабочую изоляцию и место заземления.

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 по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.

Категория персонала – I (неэлектротехнический персонал), то есть это люди, прошедшие только первичный инструктаж.

Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены.

6.3 Экологическая безопасность

Под экологической безопасностью следует понимать состояние защищенности окружающей среды и здоровья человека от возможного негативного влияния производственной деятельности. Для охраны окружающей среды необходимо проводить комплекс мероприятий, предназначенный для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на следующие природные зоны: гидросфера; атмосфера; литосфера.

Любое предприятие, осуществляющее деятельность, неизбежно наносит тот или иной вред окружающей среде. В настоящем проекте основными факторами воздействия на среду являются:

токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов, газов применяемых в производстве;

взрывоопасность и пожароопасность некоторых материалов и газов;

слив кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации;

пыль на рабочем месте.

Наибольшее внимание в природоохроне уделяется охране атмосферы, в которые включено:

уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;

сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;

сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;

утилизация отходов вредных производств.

Полностью исключить факторы загрязнения невозможно, однако есть методы, позволяющие их существенно снизить. Оснащение производственных площадок современными пылеуловителями,

использование современных фильтрационных установок, новых видов фильтров и мембран. В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры. Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а также средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых применяют канализационную систему. Система канализации подсоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце рабочего дня они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д).

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При выполнении работ возможны следующие чрезвычайные ситуации: поражение электрическим током, короткое замыкание и пожар.

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [12].

Для большинства помещений вычислительного центра установлена категория пожарной опасности В. Характерной особенностью помещений является их отделка, перфокарты и перфоленты, эстетическая отделка помещений, изоляция кабелей. Источниками воспламенения могут быть электросхемы ЭВМ, устройства электропитания, в которых в результате неполадки образуются перегретые элементы, возникают электрические

искры и дуги, способные вызывать малый размер. Горючими компонентами в комнатах являются двери, перегородки, загорание горючих материалов. Для отвода тепла от ЭВМ используются системы охлаждения, кондиционирования воздуха. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования ВЦ, а также категорию его пожарной опасности, здания для ВЦ и части здания другого назначения, в которых предусмотрено размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени огнестойкости. Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники. Предусмотрены 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.

Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте, указанные ниже.

При возникновении пожара крайне важно соблюдать правила поведения при данном ЧС, так как данное явление может развиваться непредсказуемо и стремительно. Действия при пожаре прописаны в инструкции, которую обязан знать каждый сотрудник.

Действия персонала при пожаре на предприятии:

услышав крики: "Пожар", ни в коем случае не поддаваться панике, сохранять спокойствие;

осмотреться вокруг. Заметив телефон или кнопку пожарной безопасности, действовать незамедлительно - сообщить службам о возгорании;

попробовать самостоятельно потушить возгорание, используя огнетушитель, землю;

если ликвидировать пожар не получается, покинуть помещение через эвакуационный выход;

не поддаваться панике, стараться успокоить других;

двигаться к выходу, дышать через рукав одежды или носовой платок;

если в помещении сильная задымленность, перемещаться, опираясь на стены или поручни;

оказавшись на свежем воздухе, немедленно вызвать "Скорую помощь".

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

составление планов эвакуации;

назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;

ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации (рисунок 1), который должен висеть на видном месте.



Рисунок 27 – План эвакуации

Выводы по разделу

При рассмотрении безопасности и гигиены труда при исследовании особенностей формирования структуры и свойств вакуумно-дуговых покрытий при использовании композитных порошковых катодных материалов на основе титана, были выявлены вредные факторы рабочей зоны такие как содержания токсических и раздражающих веществ в воздухе рабочей зоны, а также опасные – поражение электрическим током, пожаро и взрывоопасность. Проведен их анализ по воздействию фактора на организм человека, по допустимым нормам и предлагаемым средствам защиты. Рассмотрена типичная чрезвычайная ситуация, поведение в ней и представлены превентивные меры по ее предупреждению. Проведено знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по данной теме.

Заключение

Подведя итог по проделанной работе, можно сказать, что результаты данных исследований позволят ускорить процесс внедрения в производство метод азотирования сталей в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда. В ходе проведения исследований в рамках магистерской работы были сделаны следующие выводы:

1) Установлена зависимость динамики роста температуры от величины отрицательного потенциала смещения. С увеличением подаваемого смещения, температура образца увеличивалась до определенного уровня нагрева (Таблица 1). Это можно объяснить тем что, при увеличении напряжения между плазмой и деталью, мощность разряда увеличивается.

2) При использовании экрана закрывающего прямую видимость накаливаемого катода от детали, температура этой детали на 50 – 60°С ниже, чем в случае когда экран отсутствует. Таким образом, показано, что излучение вольфрамовой нити подогревает деталь, как дополнительный источник.

3) В случае с установленным экраном, продолжительность этапа нагрева детали до температуры азотирования увеличивается на 30-45 минут, в зависимости от величины смещения. Таким образом, установлено, что экранирование детали от излучения катода замедляет процесс нагрева детали.

4) В ходе исследований было выяснено что при напряжениях смещения ниже 140-150 В на поверхности не наблюдается изменения твердости. Таким образом, был установлен минимальный порог величины отрицательного смещения, при котором имеет место процесс насыщения стальной поверхности азотом в безводородной плазме (150 В). Данный

результат имеет важное практическое значение для внедрение метода на производство.

5) При азотировании в безводородной плазме дугового разряда используются давления на несколько порядков ниже (0,4-1 Па), чем в плазме тлеющего разряда (133-400 Па). Время проведения процесса, в плазме дугового разряда, меньше в 4-5 раз (2-6 часов), по сравнению с тлеющим разрядом (10-24 часа). Формирование нитридного слоя происходит в $\sim 4 - 5$ раз, а диффузионной области в ~ 2 раза интенсивнее по сравнению с ионным азотированием в плазме тлеющего разряда. Азотирование в плазме дугового разряда, благодаря высокой кинетической энергии ионов, распыляющих оксидные пленки на поверхности, позволяет осуществлять процесс на технически чистом азоте без введения в рабочую среду водорода и аммиака, что делает сам процесс более безопасным.

б) Исходя из накопленных экспериментальных данных, для процесса азотирования в в плазме низковольтного дугового газового разряда, мы рекомендуем использовать следующие величины отрицательного потенциала смещения: от 400 до 700 В, при тех параметрах которые были использованы в данной работе. Оптимальным является режим азотирования при смещении 600 В, по сравнению с 400 В и 900 В, азотированный слой получается наиболее глубоким, а твердость на одинаковых глубинах выше на 20-50 кгс/мм². Величина нитридной пленки составляет 5-6 мкм, при 400 В она равно 5-7 мкм (что не существенно отличается, а при 900В – до 3 мкм, т.е. в два раза меньше.

В данной работе были представлены наиболее эффективные схемы технологического процесса азотирования сталей в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда с учетом отрицательного потенциала, подводимого к обрабатываемым образцам. Предпринимались попытки сконструировать нагревательный прибор средней мощности для нагрева образца с возможностью применения в среде высокого вакуума.

При этом удалось установить возможные проблемы при создании такого прибора, которые были перечислены во втором подпункте третьей главы.

В ходе выполнения работы на основе анализа литературных данных был выбран наиболее рациональный способ упрочнения, было изучено состояние вопроса, связанное с проблемой повышения механических свойств стали 40Х с помощью электродугового разряда, достоинства и недостатки этой технологии по сравнению с ионным азотированием. Также во время выполнения исследовательской работы был проведен литературный обзор, на основании которого можно утверждать, что азотирование является актуальным процессом прогрессивных упрочняющих технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М.: Металлургия. – 1985. – 256 с.
2. Чаттерджи-Фишер Р. Азотирование и карбонитрирование. Пер. с нем. под ред. Супова А.В./ Р. Чаттерджи-Фишер, Ф.-В. Эйзел, Р. Хоффман, Д. Лидтке. – М.: Металлургия. – 1990. – 280 с.
3. Бабад-Захряпин А. А. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде / А. А. Бабад-Захряпин, Г. Д. Кузнецов. – М.: Атомиздат. – 1975. – 175 с.
4. Лахтин Ю. М. Теория и технология азотирования: монография / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган, Г. Шпис, З. Бемер. – М.: Металлургия. – 1991. – 320 с.
5. Арзамасов Б.Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов и др. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 1999. – 400 с.
6. Будилов В. В. Ионное азотирование поверхности конструкционных сталей и сплавов в тлеющем разряде на основе эффекта полого катода / В. В. Будилов, Р. Д. Агзамов // Proc. of 6th 146 Intern. Conf. on Modif. of Mater. With Particle Beams and Plasma Flows. – Russia, Tomsk. – 2002. – P. 428 – 431.
7. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах / Б. С. Бокштейн. – М.: Металлургия. – 1978. – 248 с.
8. Бокштейн Б. С. Термодинамика и кинетика диффузии в твердых телах / Б. С. Бокштейн, С. З. Бокштейн, А. А. Жуховицкий. – М., Металлургия. – 1974. – 280 с.
9. Вульф Б. К. Термическая обработка титановых сплавов / Б. К. Вульф. – М.: Металлургия. – 1969. – 376 с.
10. Зинченко В. М. Газовое азотирование в каталитически приготовленных аммиачных средах / В. М. Зинченко, В. Я. Сыропятов, В. В. Барелко, Л. А. Быков // МиТОМ. – 1997. - № 7. – С. 3 – 9.

11. Григорьев С. Н. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента: учебное пособие / С. Н. Григорьев, В. П. Табаков, М. А. Волосова. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 380 с.
12. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 2006. – 304 с.
13. Андреев А. А. Азотирование сталей в газовом дуговом разряде низкого давления / А. А. Андреев, В. М. Шулаев, Л. П. Саблев // ФИП. – 2006. – Т. 4. – В. 3-4. – С. 191 – 197.
14. Панайоти Т. А. Создание максимальной насыщающей способности газовой среды при ионном азотировании сплавов / Т.А. Панайоти // Физика и химия обработки материалов. – 2003. – В. 4. – С. 70 – 78.
5. Каплун В. Г. Особенности формирования диффузионного слоя при ионном азотировании в безводородных средах / В. Г. Каплун // ФИП. – 2003. – Т. 1. – № 2. – С. 141 – 145.
16. Goncharenko I.M., Grigoriev S.V., Ivanov Yu.F., Kolubaeva Yu.A., Koval N.N., Schanin P.M., Yang Si-Ze, Mechanisms of low-temperature diffusion saturation of structural steel with nitrogen in the plasma of a low-pressure arc discharge. // in: Proc. 7th International Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, July 25-29, 2004, Tomsk, Russia, pp. 240-243.
17. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 2006. – 304 с.
18. Андреев А. А. Азотирование сталей в газовом дуговом разряде низкого давления / А. А. Андреев, В. М. Шулаев, Л. П. Саблев // ФИП. – 2006. – Т. 4. – В. 3-4. – С. 191 – 197.

19. Панайоти Т. А. Создание максимальной насыщающей способности газовой среды при ионном азотировании сплавов / Т.А. Панайоти // Физика и химия обработки материалов. – 2003. – В. 4. – С. 70 – 78.
20. Muratore C. Low-temperature nitriding of stainless steel in an electron beam generated plasma / C. Muratore, D. Leonhardt, S. G. Walton, D. D. Blackwell, R. F. Femsler, R. A. Meger // Surface & Coatings Technology. – 2005. – № 191. – P. 255 – 262.
21. Каплун В. Г. Особенности формирования диффузионного слоя при ионном азотировании в безводородных средах / В. Г. Каплун // ФИП. – 2003. – Т. 1. – № 2. – С. 141 – 145.
22. Williamson D. L. Relative roles of ion energy, ion flux, and sample temperature in low-energy nitrogen ion implantation of Fe-Cr-Ni stainless steel / D. L. Williamson, J. A. Davis, P. J. Wilbur, J. J. Vajo, R. Wei, J. N. Matossian // Nuclear Inst. And Methods in phys. Res. B. – 1997. – V. 127 – 128. – P. 930 – 934.
23. Meletis E. I. Plasma nitriding intensified by thermionic emission source. E. I. Meletis. US Patent and Trademark Office. – 1994. – Patent №5334264. – Aug. 22. – 1994.
24. Walton S. G. Low temperature nitriding rate of stainless steel in an electron beam generated plasma / S. G. Walton, C. Muratore, D. Leonhardt, R. F. Femsler, D. D. Blackwell, R. A. Meger // Surface & Coatings Technology. – 2004. – V. 186. – P. 40 – 46.
25. Zhecheva A. Enhancing the microstructure and properties of titanium alloys through nitriding and other surface engineering methods / A. Zhecheva, W. Sha, S. Malinov, A. Long // Surface & Coatings technology. – 2005. – V. 200. – P. 2192 – 2207.

26. Коротаев А.Д., Овчинников С.В., Тюменцев А.Н., Пинжин Ю.П., Гончаренко И.М., Коваль Н.Н., Щанин П.И. Ионное азотирование ферритно-перлитной и аустенитной сталей в газовых разрядах низкого давления. ФХОМ, 2004, №3, с.22-27.
27. Goncharenko I.M., Grigoriev S.V., Koval N.N., and Ivanov Yu.F., Evolution of the structure and phase composition of hardened 4140 steel in the process of plasma nitriding // Proc.: 5-th Conf. on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, Tomsk, 2000, pp. 330-333.
28. Borisov D.P., Goncharenko I.M., Koval N.N., Schanin P.M. Plasma-assisted deposition of a three-layer structure by vacuum and gas arcs. IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 26, no. 6, December 1998, pp. 1680-1684.
29. 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.
30. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976, 102с.
31. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. Вашуль Х.: Пер. с нем.– М.: Металлургия, 1988.– 320 с.

Приложение «А»

Раздел на иностранном языке

Глава 2. Материалы, методы и оборудование.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM71	Кодиров А Б		

Консультант отделения/школы _____ ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова С Н	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения материаловедения ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Рыбушкина С.В.	-		

Introduction

Currently there are many ways to increase the reliability and durability of critical components and machine parts. Since firstly the surface of the work piece is exposed to corrosion and mechanical wear, it is not economically viable to produce the item of expensive material out forming the functional surface layer with the required mechanical and other properties. Thermochemical treatment (TCT) of steels and alloys is the diffusion saturation of the products surface layers by different elements (nitrogen, carbon, boron, etc.). TCT allows creating modified layers of sufficient thickness with the desired properties on the product surface [1]. While processing by such methods there is no problem of adhesion of the functional formed layer to the substrate, which is one of the key in the formation of surfaces by applying protective coatings. Another important advantage of this method is no significant changes in the geometric dimensions of the work piece, which allows using TCT on the stage of finishing. The most widely used types of thermochemical treatment are nitriding, carburizing and carbonitriding, whose essence consists of nitrogen, carbon and nitrogen alloying of heated products surface layers. As a result such characteristics of products as hardness, wear resistance, score resistance, endurance and corrosion resistance are significantly improved [2]. The process of steels nitrogen saturation received industrial applications in the twenties of 20-th century. Nitriding is preferred in cases of undesirable deformation of components while strengthening improvement of corrosion resistance or when high wear resistance of surface is needed because nitrided layer acquires high hardness without any thermochemical treatment. The traditional method of ion nitriding in a glow discharge of nitrogen-hydrogen saturating gas medium has some serious disadvantages, including: saturation duration is 20-30 hours, high probability of cathode spots formation on the nitrided products surface, thickness unevenness of nitrided layer on the component surface of complex shape caused by the heterogeneity of the cathode fall layer.

To overcome these disadvantages and improve the process in the direction of increasing the hardened layer formation rate, resource saving, security, new technical solutions are required. As one of these solutions arc gas discharge on the plasma hydrogen-free base can be offered, operating at saturating environment pressures in thousand times fewer than of the glow discharge and allowing to form a diffusion layer at a work pieces temperature of 550 C per 5-6 hours.

Unit №1. Key types and technologies of steels nitriding.

1.1. Steels nitriding

Nitriding is a type of thermochemical treatment of products made of steel and alloys comprising insurface layer saturation by nitrogen exposure during a certain time at elevated temperature in the active medium in order to modify various functional surface properties such as hardness, corrosion resistance, wear resistance, score resistance, etc [1, 4]. To date a large number of diffusion saturation methods of steels and alloys with nitrogen are developed: furnace gas nitriding [5], low-energy ion implantation at elevated temperatures [6], laser nitriding [7], nitriding in a glow discharge [8, 9], etc.

The priority directions of modern industry and science development in the field of modification of the products surface properties are energy efficiency, environmental safety and performance techniques and facilities, so some of the existing methods of nitriding are significantly outdated on these criteria. The ion-plasma nitriding methods of steels and alloys foremost satisfy modern requirements, such as low-energy ion implantation, nitriding in a glow discharge, arc plasma nitriding and other similar to them, however, these methods have disadvantages that prevent their wide distribution in many industries. Therefore, the development of new methods for ion-plasma nitriding, and the modernization of existing installations are relevant scientific and technical challenges.

1.2. The basic technology of the nitriding of steels and alloys.

There is a process of diffusion saturation of the surface layer of the detail heated by nitrogen at the core of the nitriding, which is described by Fick's first equation for thermally activated diffusion [10]:

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

Where: J - is substance density,

D – is coefficient of diffusion ,

C- is a concentration of solute.

According to this law the main moving force for diffusion is the gradient of concentration of intercalated compound through the thickness of the surface layer. The kinetics of the nitriding process is usually described by a parabolic dependence (Wagner equation) [11]:

$$\frac{d^2}{t} = D$$

Where d – is the thickness of the nitrided layer, and t – is treatment duration.

The intensity of this process depends on the coefficient of diffusion D, which in its turn is determined by the process temperature T and the diffusion activation energy E_a according to Arrhenius equation [10]:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

The composition and energy in the gas environment greatly affect the diffusion activation energy E_a . The main characteristics that define the properties of the nitrided layer are surface micro-hardness, micro-hardness distribution through the thickness of the modified layer, phase composition of this layer and the gradient of hardness change per unit layer thickness [4]. Changing the parameters of products processing (exposure time, temperature, pressure and gas composition, type of saturating environment) leads to a corresponding change of each of the parameters characterizing the hardened layer. The main mechanisms of hardening while steels or alloys nitriding are, firstly, formation of dispersed nitrides of high hardness alloying elements (CrN, AlN, TiN, VN, etc.), which occurs at the depth diffusion of the nitrogen atoms of the material by chemical reaction of nitrogen with these elements, and, secondly, formation of solid solution of nitrogen in the matrix of nitrided material.

One of the first methods of saturation of the products surface layers with nitrogen was furnace gas nitriding, which was widespread in the industry in the 1920s, thanks to the simplicity of the equipment and the modification method. Usually, gas nitriding is carried out in special furnace under nitrogen gas, usually ammonia (NH₃), which dissociates into molecules of nitrogen and hydrogen at a temperature above 500 °C. Details of different steels and alloys are maintained at sufficiently high temperatures (800 - 1200 °C) for a long time (from 20 - 30 to 100 hours). As the result hardened layers with a thickness from several tens to several hundreds of microns are formed on the hardened surface layers, depending on the nitriding material, with surface microhardness, many times greater than the initial product hardness [14].

One of the latest models of gas nitriding technology is catalytic gas nitriding, where the active saturation medium is ammonia disassociated and ionized by the catalytic element [15]. Using catalyst significantly reduces the rate of formation of nitrides on the surface and increases the proportion of solid solution diffusion in

the transition of nitrogen from gaseous medium to the scope of nitrated products that contributes to the formation of thicker diffusion layers. Use of the catalyst allows reducing the processing temperature to 400 - 600 ° C and to reduce the products exposure time to several hours to form a layer of comparable thickness and other characteristics with hardened layers produced by traditional gas nitriding. However, the use of ammonia as the working gas creates problems caused primarily by environmental safety, as well as with of installation.

1.3. The processes of nitrated zone structure formation in the structural steels

Nitrated zone structure formation in structural steels is approximately the same as for pure iron nitriding [2]. A modified layer formed while iron alloy nitriding consists of ξ (Fe₂N), ϵ (Fe₂₋₃N), γ' (Fe₄N) and diffusion sublayer (a solid solution of nitrogen based on the α - and γ -iron) - areas of internal nitriding. Area of internal nitriding α -phase is a nitrogen ferrite with body-centered cubic lattice with a period of $\sim 0,286$ nm and nitrogen occupies the pores in the lattice of α -Fe. Nitrogen austenite γ -phase has a face-centered cubic lattice (fcc) with a period of $\sim 0,360 \div 0,366$ nm with a disordered arrangement of the nitrogen atoms in the octahedral pores. Nitrogen in the α - and γ -phases is also situated in vacancies, dislocations and other lattice imperfections. Nitrogen solubility in α - and γ -phases respectively is less than 0.11% and 2.8% by weight. The solid solution based on nitride Fe₄N, appropriate to the γ' -phase crystallizes in the fcc lattice of iron atoms with an ordered arrangement of nitrogen atoms in the centers of elementary cubes (1/2, 1/2, 1/2), the nitrogen solubility is in range of 5.30 - 5.75% by weight. The lattice periods are: from iron $a = 0,379$ nm and from nitrogen $a = 0,380$ nm. This phase is stable only up to $T = 670$ °C, at higher temperatures it becomes ϵ -phase, it's a solid solution based on nitride Fe₂₋₃N.

The basis of the crystal structure of ϵ -phase is a dense hexagonal packing of the iron atoms, the nitrogen atoms are also located in the pores that form a sublattice like graphite. At temperatures above 650 °C this phase is stable and has a wide range of nitrogen dissolved in it - 4.5 ~ 11.0%. At high nitrogen content (10 -11% by weight) in the ϵ -phase occurs fragile ξ -phase (Fe_2N), which is formed while cooling and has a rhombic lattice with an ordered distribution of nitrogen atoms.

Its crystal structure can be regarded as a distorted modification of ϵ -phase (pseudohexagonal). Nitrogen content in ξ -phase is in narrow range of 11.07 - 11.32 wt%, the closest packing of nitrogen atoms causes shift of iron atoms. This highest iron nitride with a low ductility, is followed by brittleness and pore formation, less stable and decomposes at temperatures above 450 °C even at low hydrogen content. With the saturation of low-carbon non-alloy steel with nitrogen at a temperature below 590 °C solid solution of nitrogen into iron is firstly formed, then, after reaching the solubility limit of nitrogen into α -phase precipitation of γ' -phase occurs and nitriding comes to an end with formation of ϵ -phase on the surface layer in a wide range of nitrogen concentrations. While nitriding structural steels the carbon content increases with the decrease of nitrogen diffusion rate and formation of a carbonitride phase with the decrease of surface area carbonitride hardness. In pure metals hardness of internal nitriding zones increases slightly, because the nitrogen concentration in a solid solution in unalloyed metals is low and the base metal nitrides released during cooling are coarse particles. So in the Fe - N system the internal nitriding zones have the following hardness: 150-300 HV (α -phase); 550 HV (γ' -phase); 400 HV (ϵ -phase).

Significantly greater hardness is achieved while nitriding specially alloyed steel [3, 4], in which the alloying element has a greater affinity for nitrogen than iron. Alloying changes the phase composition and the temperature limits of their formation. Titanium and aluminum alloying of γ' -phase improves its hardness up

to 1100 - 1200 HV. Most of the alloying elements (Cr, Mo, V, etc.), except Al, Si, Ti, dissolving in ϵ -phase $(\text{Fe, M})_{2-3}(\text{N, C})$, reduce its nitrogen content and the thickness. Aluminum, silicon and titanium aid development of γ' -phase with the formation of $(\text{Fe, M})_4\text{N}$ as a continuous layer or needles (plates) arranged on the sweeping planes, and the grain boundaries to a considerable depth. It is established that during nitriding hardening of α -phase in alloy steels happens by the mechanism of aging of supersaturated solid solutions. Dispersed nitrides isolation accompanied depletion of the solid solution both in nitrogen and in the nitrided element. Thus, the internal nitriding zone is a multiphase area, which consists of a nitrogen base metal solid solution, its nitride and alloying elements nitrides. Temperature and duration variation of the nitriding allows fixing different stages of the selection in diffusion layer, and hence, different levels of strength. The depth of the nitrided layer obeys the parabolic dependence, however, because of the low process temperatures (500-600 °C) and due to the fact that diffusion layer formation obeys common to all transition metals regularity caused maximum diffusion mobility of nitrogen in solid solution, slow diffusion of nitrogen in the nitride phases, layer build-up is slow. Hardness of the surface is reduced while speeding up the process of temperature increase that isn't effective.

1.4. Using arcs for materials nitriding

Different types of arcs can also be effectively used to create plasma generators for ion-plasma processing of products. For example, in work [12] a method of the local surface nitriding by arc discharge with a hollow cathode glows is described. During titanium nitriding with the gas pressure at the sample surface about 600 Pa and the discharge current about 30 A at the time of ~ 5 minutes the titanium nitride layer thickness of 5 - 7 microns with a hardness of 7 GPa is formed on the surface with thickness of the diffusion zone of about 70 - 90 microns.

High efficiency of nitriding, according to the authors, is caused by high temperature of the nitridation area (~900 °C) and high plasma concentration of active ingredients and primarily close position of atomic nitrogen to the product surface. The main disadvantage of this method is the small surface of the nitriding area (1 - 10 cm²), which hinders uniform treatment of products of complex shape or products with a larger surface area.

In the work [13] research of steel R₆M₅ nitriding features has been carried out. This type pressure limit was 0.01 - 0.1 Pa and treatment temperature varied from 400 to 570 °C. As follows from the steel R₆M₅ nitriding for 240 - 300 minutes high hardness layers at a depth of 70 microns were prepared. However, plasma contamination by the cathode erosion products limits its application in technologies which require a high degree of plasma purity. The fact that the thickness of the nitrated layer is not dependent on the polarity of bias voltage on the sample deserves close attention in this study.

Combined approaches to methods of nitrogen plasma generation are also possible, when the intensification of the nitriding process is created with the help of not one type discharge, but using additional sources of ionization (eg additional thermionic cathode [14]). In such systems, the possibilities of changing different process

parameters are expanding, such as ion current density, the working gas pressure, the ions energy. Two stages bit system based on arc discharge with a cold hollow cathode and non-self-sustained glow discharge with the hollow cathode (Fig. 123) was developed by the authors of the work [17]. The developed system for the electric discharge of titanium nitriding allows to kindle and maintain a stable discharge at pressures about 0.5 Pa, providing, by the use of an auxiliary arc, and the hollow cathode effect, a high ion current density (mA/cm² to 4) on the nitriding products surface. Thus the pressure in the combustion of non-self-sustained discharge operation modes is high enough (up to 1500 V), which promotes intensive spraying of nitriding surface and increase its roughness. This method, however, has successfully allowed the authors to make low temperature titanium nitriding (600°C), forming at a short time (4.5 hours) hardened surface layers with the hardness up to 14 GPa, and the depth of the diffusion zone with high hardness up to 70 microns.

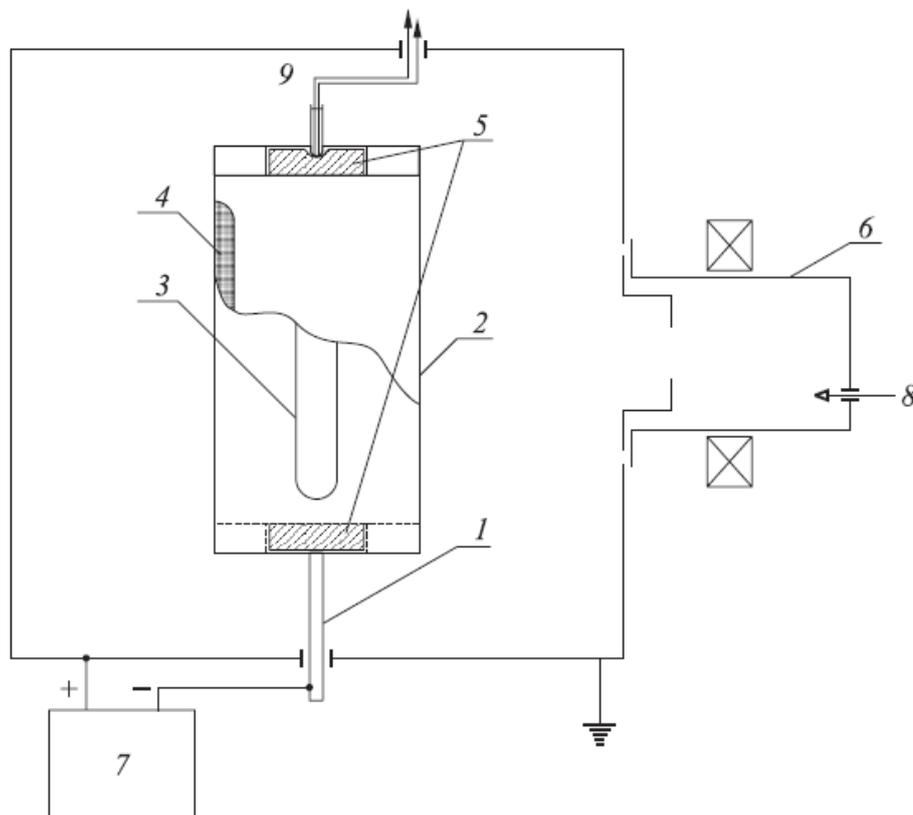


Fig.23. The experimental setup for plasma nitriding non-self-sustained glow discharge with a hollow cathode [35]

1 - the holder, 2 - hollow cathode, 3 - a window 4 - window covered with fine mesh structure, 5 - samples, 6 - hollow cathode 7 - high voltage power supply, 8 - gas inlet, 9 - thermocouple.

The aim of this paper is to develop optimum conditions of technological process for ion-plasma steel surface layers hardening by saturation with pure nitrogen at low pressure (~ 0.1 Pa).

The object of this study is the technological process of nitriding in low-hydrogenplasma of arc gas discharge in a vacuum.

Research subjects are physical and chemical processes of formation of the diffusion layer on the reinforcing 40Cr steel surface (0.4%-C; 1, 0%-Cr).

To achieve this goal it is required to solve the following tasks:

1. To study and analyze the relationship of magnitude of the negative potential bias applied to the workpieces, placed in plasma with a low-voltage arc gas discharge, with the level of heating.
2. Experimental determination and estimation of parameters of nitrated layers of 40Cr steel under different conditions of ion bombardment in the plasma discharge.
3. Comparison of the results of ion nitriding in two ways: the traditional - in a glow discharge plasma in an atmosphere of dissociated ammonia and proposed –in nitrogen low-hydrogenplasmaof arc.
4. Substantiation of effective schemes of the process of steels nitriding in low-hydrogen plasma of low-voltage gas arc discharge considering negative potential applied to the treated samples.