

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

Институт физики высоких технологий
Направление 15.04.01 подготовки машиностроение
Кафедра физики высоких технологий в машиностроении

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оборудование и технологические способы увеличения эффективности применения ионно-плазменной обработки в вакууме для деталей машиностроения.

УДК 621.793.74:048.7:533.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM51	Жуманкулов Бауыржан Сакенулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Гончаренко И.М.	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черепанова Н.В.	К.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле А.В.	К.м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФВТМ	Псахье С.Г.	Профессор, доктор ф.м.н.		

Томск – 2017 г.

**ПО ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ
15.04.01 МАШИНОСТРОЕНИЕ,
КВАЛИФИКАЦИЯ – МАГИСТР**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Способность демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания физико-химических и технологических основ получения деталей из порошков методом жидкофазное спекание, и применять их для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне
P2	Способность планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своей специализации с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы, использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.
P3	Способность интегрировать знания различных и смежных видов деятельности и решать задачи, требующие абстрактного мышления и оригинальности анализа для концептуализации инженерных моделей выбранного технологического направления
P4	Способность оценивать экономическую эффективность новых разработок и их инновационную направленность, выполнять требования по защите окружающей среды

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

Институт физики высоких технологий
Направление 15.04.01 подготовки машиностроение
Кафедра физики высоких технологий в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой, профессор,
доктор ф.м.н.,
_____ С.Г. Псахье
(Подпись) (Дата)
(Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ51	Жуманкулов Бауыржан Сакенулы

Тема работы:

Оборудование и технологические способы увеличения эффективности применения ионно-плазменной обработки в вакууме для деталей машиностроения.
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.17 г.
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе .	Образцы стали 40Х
-----------------------------------	-------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основные виды и технологии азотирования сталей Методика эксперимента; 2. Оборудование для азотирования сталей, материалы и методики исследований образцов; 3. Экспериментальное исследование, влияние дополнительного источника нагрева на насыщение поверхностных слоев заготовок из стали 40Х азотом 4. Исследование параметров азотированных слоев и определение оптимальных режимов азотирования
--	--

<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация в формате Microsoft Power Point, слайдов 13</p>
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Черепанова Н.В</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Штейнле А.В</p>

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

<ul style="list-style-type: none"> • Оборудование для азотирования сталей, материалы и методики исследований образцов
--

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>доцент</p>	<p>Гончаренко И.М.</p>	<p>К.т.н</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4АМ51</p>	<p>Жуманкулов Бауыржан Сакенулы</p>		

Реферат

Выпускная квалификационная работа представлена на 122 страницах, включает 23 иллюстраций, 18 таблиц, 31 источников литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: нитридные покрытия, вакуумно-дуговой напыление, шероховатость, диффузия, тлеющий разряд, тэн.

Объектом настоящего исследования являлся технологический процесс азотирования в безводородной плазме дугового газового разряда в вакууме.

Предметом исследования – создание дополнительного нагревательного тэна. Экспериментальное исследование, влияние дополнительного источника нагрева на насыщение поверхностных слоев заготовок из стали 40Х азотом.

Цель работы заключалась в экспериментальном исследовании параметров процессов безводородного азотирования в плазме дугового разряда с использованием дополнительного нагревательного тэна.

Для достижения поставленной цели требовалось решение следующих задач:

1. Оптимизировать условия нагрева деталей за счет сочетания двух тепловых источников: газового разряда и теплового потока генерируемого индукционным тэном.
2. Осуществить нагрев детали до температуры диффузии (450-550 °С) при минимальном энергетическом воздействии газоразрядной плазмой.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Химико-термическая обработка (ХТО) сталей и сплавов, заключается в диффузионном насыщении поверхностных слоев изделий различными элементами (азот, углерод, бор и др.).

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

Плазмогенератор «ПИНК» предназначен для создания плотной однородной плазмы в больших вакуумных объемах, может использоваться для модернизации промышленных технологических установок (типа ННВ 6.6-И1.), для реализации комплексных технологий поверхностной обработки изделий, что существенно расширяет технологические возможности серийного оборудования и, соответственно, номенклатуру обрабатываемых изделий

Термопара - представляет собой два соединенных в одном конце проводника из различных материалов, являющихся частью устройства для замера температуры.

Содержание

Введение	9
Глава 1. Основные виды и технологии азотирования сталей.....	12
1.1. Азотирование сталей	12
1.2. Основы технологии азотирования сталей и сплавов	13
1.3. Процессы формирования структуры азотированной зоны в конструкционных сталях.....	15
1.4. Использование дуговых разрядов для азотирования материалов	18
1.5. Азотирование в тлеющем разряде.....	19
1.6 Свойства азотированных сталей.....	22
Глава 2. Оборудование для азотирования сталей, материалы и методики исследований образцов	26
2.1. Оборудование для азотирования сталей в дуговом разряде	26
2.2. Характеристика рабочей среды азотирования в дуговом разряде.....	31
2.3. Материалы для исследования	31
2.4. Особенности приготовления экспериментальных образцов.....	32
2.5. Измерение микротвердости	34
2.6. Измерение шероховатости	36
2.6.1. Определение шероховатости поверхности	38
2.6.2. Оборудование измерения шероховатости.....	40
Вывод:	42
ГЛАВА 3. Экспериментальное исследование, влияние дополнительного источника нагрева на насыщение поверхностных слоев заготовок из стали 40Х азотом	43
3.1. Описание процесса азотирования в дуговом разряде	43
3.2. Выбор и установка термо-резистивного датчика температуры (термопара)	46
3.3. Изготовление дополнительного источника нагрева.....	47
3.4. Параметры и схема эксперимента	51
3.5 Исследование кинетики нагрева образцов при азотировании с различными значениями потенциала смещения.....	53
Вывод	55

ГЛАВА 4. Исследование параметров азотированных слоев и определение оптимальных режимов азотирования	56
4.1. Влияние дополнительного нагревательного элемента на физико- механические характеристики поверхностного слоя после азотирования	56
4.2 Морфология поверхности образцов стали 40X	60
4.3 Исследование шероховатости поверхности образцов из стали 40X	62
Заключение	64
Приложение	66
Глава 1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	68
1.1.SWOT-анализ.....	68
1.2. Инициация проекта.....	70
1.2.1. Организационная структура проекта	71
1.3. Ограничения и допущения проекта	72
1.3.1. Бюджет научного проекта.....	72
1.3.2. Отчисления на социальные нужды	74
1.3.3. Затраты на электроэнергию	74
1.3.4. Затраты на водоснабжение.....	75
1.3.5. Затраты на водоотведение.....	75
1.3.6. Полная смета затрат на выполнение НИР	75
Выводы.....	76
ГЛАВА 2 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	79
Введение	79
2.1 Техногенная безопасность.....	80
2.1.1. Анализ вредных факторов производственной среды.....	80
2.1.2. Микроклимат	80
2.1.3. Вредные вещества	83
2.1.4. Производственный шум	84
2.1.5. Расчет уровня шума	86
2.1.6. Освещенность	87
2.2. Анализ опасных факторов производственной среды.....	91
2.2.1.Факторы электрической природы	91

2.2.2. Электробезопасность.....	93
2.2.3. Давление	95
2.3. Региональная безопасность.....	100
2.3.1. Защита атмосферы	100
2.4. Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	101
2.5. Особенности законодательного регулирования проектных решений.	103
2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	104
2.6.1. Факторы пожарной и взрывной природы.....	105
Вывод	110
Приложение №2	111
Chapter 2. Equipment for nitriding of steels, materials and techniques for samples examination.	112
2.3. Features of preparation of the experimental samples	117
2.4. MEASUREMENT OF MICROHARDNESS.....	119
2.4. Method of optical metallography.....	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	123

Введение

Большое количество деталей машин работает в различных (в том числе и агрессивных) средах и в условиях многократных повторных деформаций (в упругопластической стадии). В связи с этим детали быстро выходят из строя из-за коррозии, которая начинается с поверхности. Поэтому для повышения долговечности, надежности и стойкости деталей машин в агрессивных средах, при трении скольжения под большими давлениями в присутствии абразивных частиц оказывается целесообразным и достаточным упрочнять в большинстве случаев лишь поверхностные слои.

Повышению поверхностной прочности (при сохранении необходимой вязкости сердцевины) деталей машин приходится уделять большое внимание. В настоящее время существует достаточно много способов повышения надежности и долговечности ответственных узлов и деталей машин: поверхностная закалка ТВЧ и газопламенная, поверхностный наклеп обкаткой роликами или обдувка дробью, газоплазменное и другие виды нанесения покрытий. Широко распространенным видом поверхностного упрочнения является химико-термическая обработка (ХТО). Так как таким воздействиям рабочей среды как коррозия, а так же механическому износу в первую очередь подвергается поверхность детали, то экономически более целесообразно не изготавливать деталь из дорогостоящего материала, а формировать функциональный поверхностный слой с требуемыми механическими и другими характеристиками. Химико-термическая обработка (ХТО) сталей и сплавов, заключается в диффузионном насыщении поверхностных слоев изделий различными элементами (азот, углерод, бор и др.). ХТО позволяет создавать на поверхности изделий модифицированные слои достаточной толщины с требуемыми свойствами [1]. Уступая поверхностной закалке в производительности, ХТО обладает некоторыми особенностями и преимуществами:

1. Независимость от внешней формы. Упрочненный слой одинаковой толщины.
2. Большое различие между свойствами сердцевины и поверхности, так как при обработке изменяются не только структура, но и состав металла.
3. Последствия перегрева изделий могут быть устранены последующей термической обработкой.

При обработке такими способами отсутствует проблема адгезии формируемого функционального слоя к подложке, являющейся одной из ключевых при формировании поверхностей путем нанесения защитных покрытий. Еще одним немаловажным достоинством данного метода является то, что при ХТО не происходит значительного изменения геометрических размеров обрабатываемых деталей, что позволяет использовать ХТО на стадии финишной обработки.

Наибольшее распространение получили такие разновидности химико-термической обработки, как азотирование, цементация и карбонитрирование, суть которых состоит в легировании поверхностных слоев нагретых изделий азотом, углеродом, а также одновременно азотом и углеродом соответственно, в результате чего значительно улучшаются такие характеристики изделий, как твердость, износостойкость, задиростойкость, усталостная прочность, коррозионная стойкость[2]. Процесс насыщения сталей азотом получил промышленное применение в 20-х годах XX века.

Азотированию отдают предпочтение в тех случаях, когда нежелательна деформация деталей при упрочнении или требуется повышение коррозионной стойкости и высокая износостойкость поверхности, так как сам азотированный слой без какой-либо последующей термической обработки приобретает высокую твердость. Традиционный метод ионного азотирования, в тлеющем разряде азота-водородной насыщающей газовой среды имеет ряд серьезных недостатков, среди которых: длительность насыщения 20-30 часов, высокая вероятность

образования катодных пятен на поверхности азотируемых изделий, неравномерность толщины азотированного слоя по поверхности деталей сложной формы, вызванная неоднородностью слоя катодного падения и др. Для преодоления этих недостатков и совершенствования процесса в направлении увеличения скорости формирования упрочненного слоя, ресурсосбережения, безопасности требуются новые технические решения. Одним из таких решений может быть предложен дуговой газовый разряд на основе безводородной плазмы, работающий при давлениях насыщающей среды в тысячу раз меньших, чем у тлеющего разряда и позволяющего сформировать диффузионные слои при температуре обрабатываемых деталей 550 °С за 5-6 часов.

Глава 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. Несмотря на то, что азот легко усваивается поверхностью материала и сравнительно быстро диффундирует, образуя слои значительной толщины, эффект азотирования существенно зависит от химического состава сплавов на основе железа и стали. В технически чистом железе твердость зоны внутреннего азотирования повышается незначительно. 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 [10]:

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

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 [4]. 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, дислоцированный 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 [2]. 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. Периоды решетки равны: со стороны железа

$a=0,379$ нм и со стороны азота $a=0,380$ нм. Эта фаза устойчива только до $T=670$ °С, 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 °С 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 °С даже при небольшом содержании водорода. По мере насыщения низкоуглеродистой нелегированной стали азотом при температуре ниже 590 °С 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 [3, 4], 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 °С) 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. 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 [12] 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 °С), 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 [13] были проведены исследования особенностей азотирования стали 40Х. 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 40Х 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 [14]). В таких системах расширяются возможности изменения различных параметров обработки, таких как плотность ионного тока, давление рабочего газа, энергия ионов и т.д.

Авторами работы [17] 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 ($600 \text{ }^\circ\text{C}$) 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 .

1.5. 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 [1], 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 [17].

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 [20, 22]; 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 [20, 22]; 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 [15]. 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.

Плазменная иммерсионная ионная имплантация, в отличие от использования источников направленных ионных пучков, позволяет обрабатывать изделия сложной геометрической формы, помещенные в газоразрядную плазму, однако эксперименты по азотированию нержавеющей стали, проведенные авторами работы [9], показали, что в сравнении с классической ионной имплантацией и плазменной иммерсионной ионной имплантацией (ПИИИ) применение газовых разрядов низкого давления (в данном случае тлеющего разряда) обеспечивает при одинаковых значениях температуры обработки большую скорость формирования модифицированных слоев.

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. 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 данной работе мы обращаем внимание на метод азотирования в дуговом разряде, так как он пока еще не имеет места в промышленном применении, нами были поставлены следующие цели и задачи:

Цель работы заключалась в экспериментальном исследовании параметров процессов безводородного азотирования в плазме дугового разряда с использованием дополнительного нагревательного тэна.

Объектом настоящего исследования являлся технологический процесс азотирования в безводородной плазме дугового газового разряда в вакууме.

Предметом исследования – создание дополнительного нагревательного тэна. Экспериментальное исследование, влияние дополнительного источника нагрева на насыщение поверхностных слоев заготовок из стали 40Х азотом.

Для достижения поставленной цели требовалось решение следующих задач:

Оптимизировать условия нагрева деталей за счет сочетания двух тепловых источников: газового разряда и теплового потока генерируемого индукционным тэном.

Осуществить нагрев детали до температуры диффузии (450-550 °С) при минимальном энергетическом воздействии газоразрядной плазмой.

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

В данной главе проведено описание оборудования, на котором проводились 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 котором проводились эксперименты методом безводородного ионно-плазменного азотирования в дуговом разряде низкого давления, изображен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1. Внешний вид установки для азотирования в дуговом разряде

Усовершенствованная установка «ННВ-6.6-И1» представляет собой комплексное оборудование, состоящее из следующих блоков. На стенках вакуумной камеры установлены газоразрядные плазмодгенераторы на основе несамостоятельного дугового разряда. Вакуумная откачка происходит автоматически с использованием форвакуумного насоса. Управление

технологическим процессом осуществляется двумя методами управления: ручным и автоматическим режимом с компьютера и специальной программой, которая дает возможность контролировать 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 постоянном, так и в импульсном режимах.

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. Вакуумопроводы 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 натекаателей 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.

Блок питания плазмодгенератора 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%

Источник накала ПИНКа:

Напряжение	12В
Рабочий ток	50-200 А
Переменный ток, частота	50 Гц
напряжение питания	380/220 В, 50Гц, 3ф
Стабилизация тока	± 5%

Источник питания магнитной катушки – 1 шт.

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 RS-232 или RS-485 от системы управления установкой

Источник питания смещения подложки

Напряжение	«-»300/1200В,
Рабочий ток	до 15 А
Мощность	до 15 кВт,
Импульсный, частота	1 - 40 кГц

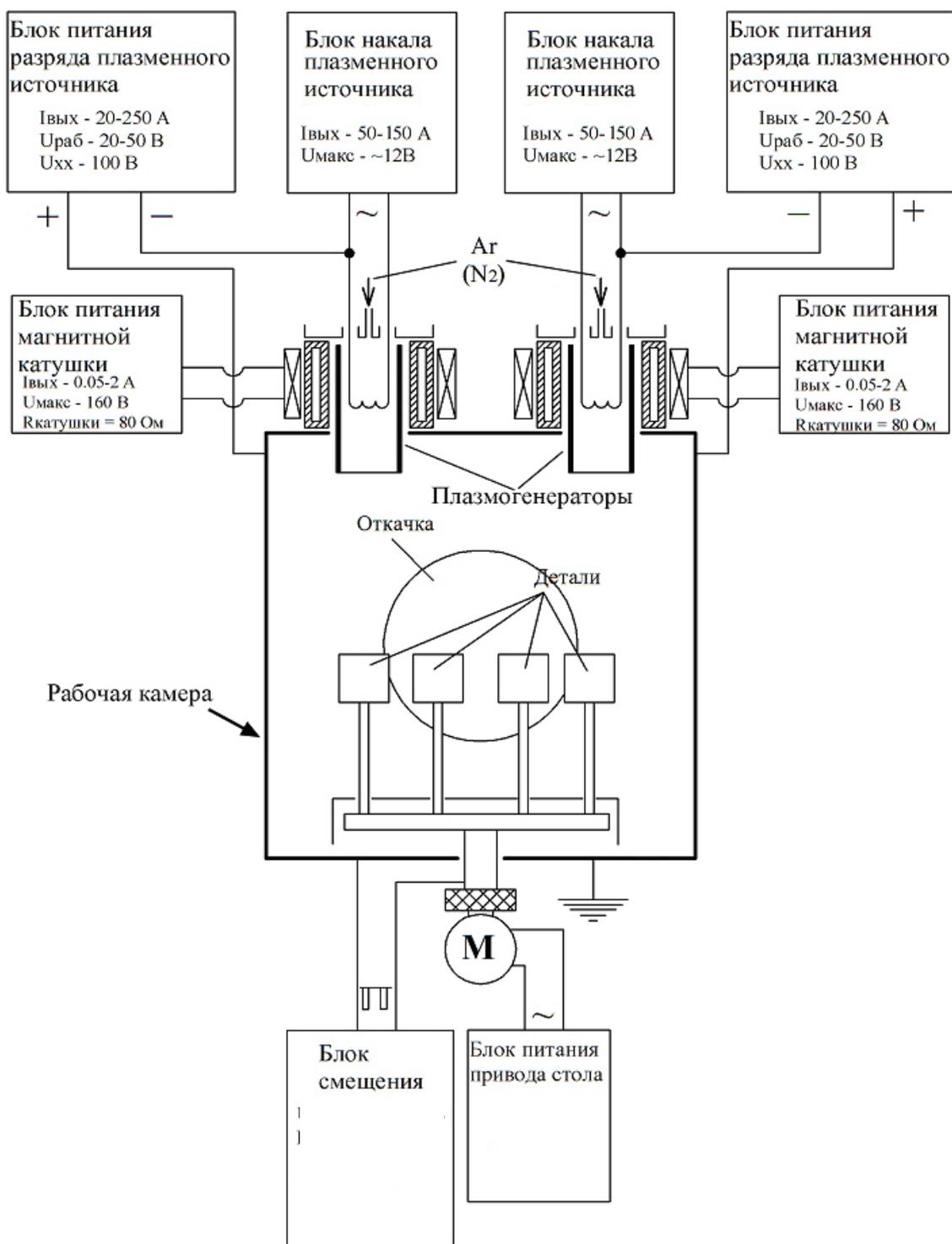


Рисунок 2.2. Блок-схема промышленного прототипа оборудования для азотирования на базе модернизированной установки ННВ 6.6 – И1

2.2. Характеристика рабочей среды азотирования в дуговом разряде

В ходе нашего исследовательского эксперимента для электродугового азотирования мы использовали газ: азот.

Физико-химическое свойство и характеристика применяемого газа:

Азот-N двух атомный газ без запаха цвета, вкуса и запаха. Основной компонент воздуха (78,09 % объема)

Молярная масса 14,00728(г/моль)

Плотность 0,001251(н.у)

Температура плавления 63,29к (-209,86°С)

Температура кипения 77,4к (-195,75°С)

Удельная теплота плавления 0,720 кДж/моль

Удельная теплота испарения 5,57кДж/моль

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

2.3. Материалы для исследования

Для повышения усталостной прочности азотированию как правило подвергаются легированные конструкционные стали, в поверхностном слое которых образуются напряжения. В современном производстве процессу азотирования, чаще всего, подвергается сталь 40Х, связи с ее широким применением в различных отраслях машиностроения и относительно низкой ценой.

Исходя из выше сказанного в данной работе были проведены исследования с использованием образцов из материала сталь 40Х. Данный материал 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. Ниже представлены данные о химическом составе и физико-механических свойствах.

Таблица № 2.3.1. Химический состав в % стали 40X

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

Удельный вес: 7820 кг/м³

Твердость материала: HB 10⁻¹ = 217 МПа ;

Температура критических точек: Ac₁ = 743 , Ac₃(Ac_m) = 815 ,

Ar₃(Ar_cm)=730, Ar₁ = 693

Обрабатываемость резанием: в горячекатаном состоянии при HB 163-168 и $\sigma_b=610$ МПа, K_v тв. спл=1,2 и K_v б.ст=0,95

Склонность к отпускной хрупкости: склонна

2.4. 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 стали 40X d=20мм и отрезается на определённую длину (10 мм), далее начинаем процесс шлифования на нескольких типах шкурок, соблюдая порядок от первой к четвертой: №1 ЭМ14А20Н СФК – Шлифовальная шкурка на тканевой основе, среднезернистая(размер зерна 200-250 мкм), №2 ЭМ14А6Н СФК - Шлифовальная шкурка на тканевой

основе, мелкозернистая(размер зерна 63-80 мкм), №3 ЭМ14А Р600 СФК - Шлифовальная шкурка на тканевой основе, , мелкозернистая(размер зерна 20-28 мкм), №4 ЭМ14А Р2000 СФК - Шлифовальная шкурка на тканевой основе, мелкозернистая(размер зерна 5-7 мкм).

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 в бензине для обезжиривания, а затем (желательно в спирте) 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.

2.5. Измерение микротвердости

Для исследования изменения прочности поверхности стальных подложек в зависимости от режима азотирования использовался простой, не разрушающий образец метод – измерение твердости. Под твердостью понимают свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, не получающего остаточных деформаций, тела. Величина твердости и ее размерность для одного и того же материала зависят от примененного метода измерения [9]. В настоящей работе применялся метод определения микротвердости по восстановленному отпечатку после вдавливания четырехгранной алмазной пирамидки с квадратным основанием и углом между противоположными гранями 136° . По диагоналям отпечатка и углу α при вершине пирамиды значения микротвердости вычисляли по формуле:

$$H_p = \frac{P}{S} = \frac{P}{a^2 \cdot \frac{\sin \alpha}{2}}, \quad 2.4.1.$$

где d – диагональ отпечатка в мкм, α – пространственный угол при вершине,

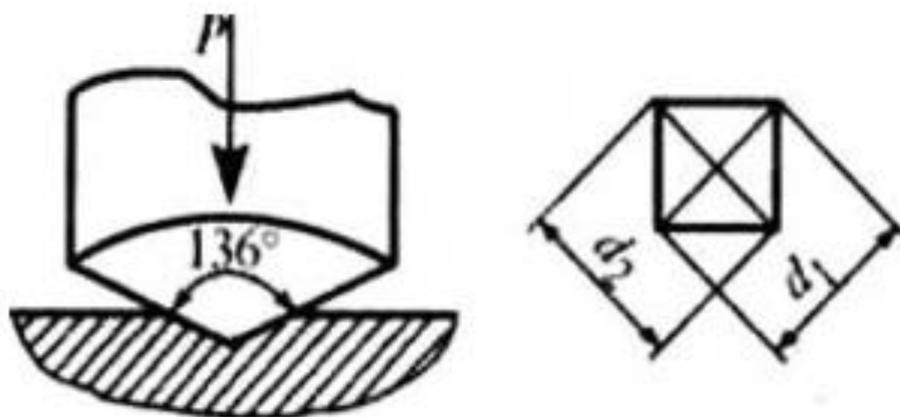
P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику в граммах [9].

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 измерении микротвердости важно, чтобы расстояние от отпечатка до края азотированного слоя составляла более полутора диагоналей отпечатка, а между двумя соседними отпечатками не менее двух - трех диагоналей большего из них. При измерении микротвердости погрешность размера квадратного отпечатка (диагональ < 10 мкм) при увеличении в 487 раз оптической системы может достигать 20 %. По кривым распределения твердости оценивалась эффективная протяженность азотированного слоя, соответствующая значению, рассчитанному из соотношения:

$$H_p = H \Delta \frac{F}{2}, \quad 2.4.2.$$

где KH – твердость сердцевины (среднее значение из 5 замеров), ΔH – разность между значением твердости на поверхности и твердостью сердцевины [10].

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, вдавливается 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 [10].



d1, d2- диагонали оставшиеся на поверхности материала отпечатка.

P - нагрузка.

Рисунок 2.5.1. – Принцип действия прибора, основанного на вдавливании алмазного индентора Виккерса

Принцип действия прибора основан на вдавливании алмазного индентора Виккерса (рисунок 3), 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).

2.6. Измерение шероховатости

Среди показателей качества продукции первостепенное значение имеют параметры шероховатости поверхности, являющейся одной из важнейших эксплуатационных характеристик. От неё зависит не только коэффициент трения изделий, но и множество других свойств – коррозионная и износостойкость, ряд механических характеристик.

Если говорить предметнее, на поверхностях деталей протекают процессы, оказывающие на них негативное влияние: зарождение трещин, износ, обусловленный трением, эрозионные и коррозионные разрушения, смятие. Часто такие дефекты материалов, оказывают не меньшее влияние чем деформация тел. Придание же поверхности определённых микрогеометрических свойств способствует повышению сопротивляемости детали внешним воздействиям и, как следствие, возрастанию прочности и надёжности.[11]

ГОСТ 2789–73 регламентирует перечень из шести основных параметров, используемых для оценки и нормирования шероховатости поверхности.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины.

Определяется по формуле:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

где: y_i – расстояние между точкой реального профиля и средней линией профиля, мкм; n – число выбранных точек на базовой длине; l – базовая длина, мм.

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z , мкм – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}$$

где: y_{pi} – высота i -го наибольшего выступа профиля, мкм; y_{vi} – глубина i -ой наибольшей впадины, мкм.

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |H_{max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{imin}|}{5}$$

где: H_{max} – отклонение пяти наибольших максимумов профиля, мкм; H_{imin} – отклонение пяти наибольших минимумов профиля, мкм.

Параметр R_z нормируется значениями от 0,025 до 1600 мкм.

Наибольшая высота неровностей профиля R_{max} , мкм – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

$$R_{max} = R_p + R_v$$

где: R_p – высота наибольшего выступа профиля, т.е. расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины, мкм; R_v – глубина наибольшей впадины профиля, т.е. расстояние от низшей точки профиля до средней линии в пределах базовой длины, мкм.

Относительная опорная длина профиля t_p – отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \cdot 100\%$$

где: t_p – относительная опорная длина профиля, проценты; l – базовая длина, мм; p – уровень сечения профиля (расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля), проценты; h_p – опорная длина профиля, мм.

Числовые значения относительной опорной длины профиля tr выбирается из ряда: 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 % от базовой длины l .

Несмотря на то, что параметры Ra , Rz , R_{max} характеризуют высоту поверхностных неровностей, их практически нельзя сравнивать и тем более надежно пересчитывать значения одного параметра в значения другого. Тем не менее, между ними установлены следующие корреляционные зависимости для определенного вида обработки поверхности:

- для лезвийной обработки: $Rz = 5 \cdot Ra$; $R_{max} = 6 \cdot Ra$;
- для шлифования: $Rz = 5,5 \cdot Ra$; $R_{max} = 7 \cdot Ra$;
- для полирования и притирки: $Rz = 4 \cdot Ra$; $R_{max} = 5 \cdot Ra$.

Анализ известных методов контроля шероховатости.

Контроль шероховатости поверхности производится количественными и качественными методами. Качественные методы контроля основаны на визуальном сравнении обработанной поверхности с образцами шероховатости. Количественные методы основаны на измерение микронеровностей специальными приборами.

Существуют различные методы и приспособления для контроля шероховатости поверхности, в том числе, так называемые измерители профиля, профилометры (в англоязычной терминологии – profile gauges), специальная копировальная лента (метод слепка), эталоны шероховатости, измерители впадин (pit gauges), и измерения шероховатости при помощи датчика-иглы.

2.6.1. Определение шероховатости поверхности

Качество поверхностного слоя определяется совокупностью характеристик: физико-механическим состоянием, микроструктурой металла поверхностного слоя, шероховатостью поверхности. Состояние поверхностного слоя влияет на эксплуатационные свойства деталей машин:

износостойкость, виброустойчивость, контактную жесткость, прочность соединений и т.д. Параметры и характеристики шероховатости поверхности установлены ГОСТ 2789-73.

Шероховатость поверхности - это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины. Исходная шероховатость является следствием технологической обработки поверхности материала

Шероховатость поверхности определяем по ее профилю (рис 2.6.1.), который образуется в сечении этой поверхности плоскостью, перпендикулярной к нормальной поверхности. При этом профиль рассматривается по длине базовой линии, используемой для выделения неровностей и количественного определения их параметров.

Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины представляет собой наибольшую высоту неровностей профиля R_{max} .

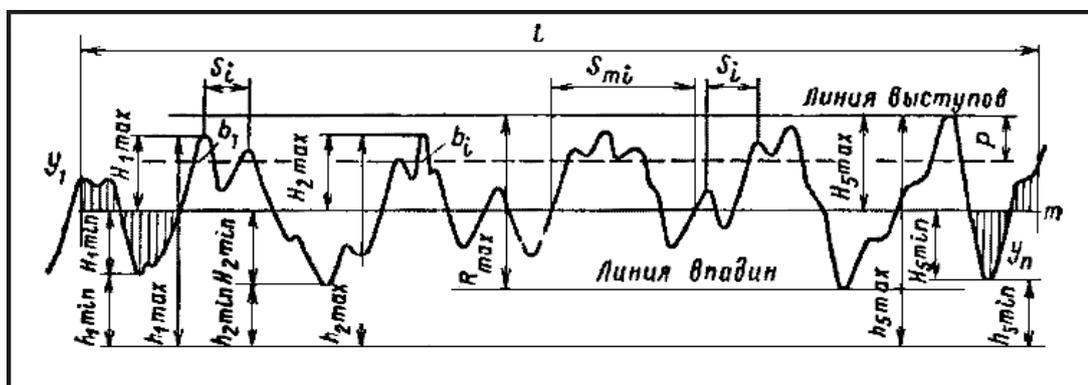


Рис 2.6.1. Профиль шероховатости и его характеристика

Среднее арифметическое отклонение R_a профиля — есть среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l .

$$R_a = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n |y_{pmi}| + \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n |y_{vmi}|$$

Высота выступа профиля y_{pmi} — это расстояние от средней линии профиля до высшей точки выступа профиля.

Глубина впадины профиля y_{vmi} — это расстояние от средней линии профиля до низшей точки впадины профиля.

Неровность профиля — это выступ профиля и сопряженная с ним впадина профиля.

Шаг неровностей профиля — это длина отрезка средней линии профиля, содержащая выступ профиля и сопряженную с ним впадину профиля (рис 2.6.1.).

Средний шаг неровностей профиля S_m — это среднее значение шага неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины.

Шагом местных выступов называется длина отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних местных выступов профиля.

Средним шагом S местных выступов профиля называется среднее значение шага местных выступов в пределах базовой длины.

В данной работе шероховатость определяли с помощью профиллограмма. Графическое изображение профиля, снятого в ходе профилометрии, называется профилограммой. Информация, получаемая в ходе обработки профилограмм, используется для расчета стандартных параметров и позволяет производить качественную и количественную оценку шероховатости исследуемых поверхностей. Множество профилограмм, снятых с определенным шагом и последовательно расположенных в трехмерной системе координат, дает наглядное представление о топографии поверхности.

2.6.2. Оборудование измерения шероховатости

Для измерения параметров шероховатости в данной работе применялся 3D профилометр Micro Measure 3D Station.

Прибор для измерения шероховатости контактным методом: по оцениваемой поверхности перемещается игла, колеблющаяся в местах

неровностей. Эти колебания вызывают возбуждение ЭДС и, соответственно, малых токов. Они усиливаются и регистрируются с помощью гальванометра, показания которого выводятся на дисплей прибора и позволяют судить о характере исследуемой поверхности – высоте микронеровностей.

Щуповой метод измерения шероховатости поверхности относится к контактному и реализуется с помощью профилометра. Прибор полностью автоматизирован и оснащен мощным программным обеспечением, которое управляет процессом сканирования образца, записью данных, их математической и графической обработкой. Программное обеспечение включает 260 различных функций обработки результатов измерений (Рисунок 2.6.2.1.).



Рисунок 2.6.2.1. 3D профилометр Micro Measure 3D Station

Устройство и принцип действия профилометра

Генератором сигнала в профилометре является тонко заточенная – чаще всего алмазная – игла. Она перемещается по нормали к поверхности, шероховатость которой оценивается (Рисунок 2.6.2.2.). Выработанный сигнал – механический – преобразуется в токовый с помощью преобразователя, который может быть пьезоэлектрическим, ёмкостным или индуктивным.

Затем сигнал поступает на электронный усилитель, а затем интегрируется и визуализируется – на экране прибора, таким образом, виден уже усреднённый параметр, который характеризует поверхностные неровности на участке определённой длины не только количественно, но и качественно.

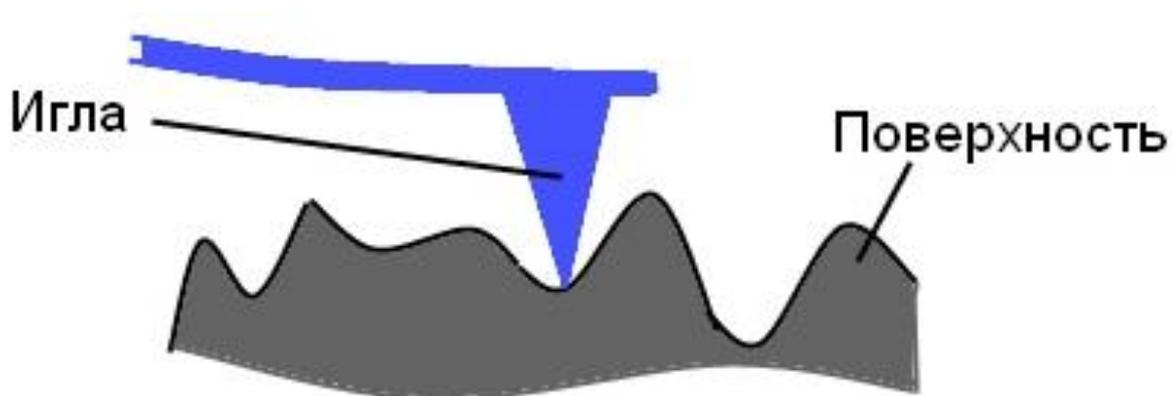


Рисунок 2.6.2.2. Схема перемещения иглы по профилю поверхности

Вывод:

В данной главе настоящей диссертации обоснован выбор материала в качестве объекта исследования для реализации цели поставленных задач, установлено, что использованное для экспериментов вакуумное электрофизическое оборудование обладает нужными рабочими параметрами, с возможностью их регулирования в нужном диапазоне и обеспечивает достаточную производительность. Условия в рабочей зоне для обработки образцов, являются достаточными для обеспечения модификации поверхности материалов свободных от загрязнений органического и окислительного происхождения. Кроме того, предложены и обоснованы методы и приборы, позволяющие провести исследования, и сравнить физико-механические характеристики поверхности экспериментальных образцов, такие как твердость и шероховатость азотированного слоя.

ГЛАВА 3. Экспериментальное исследование, влияние дополнительного источника нагрева на насыщение поверхностных слоев заготовок из стали 40Х азотом

В третьей главе описывается ход эксперимента, показаны схемы установки образцов при испытаниях, описаны этапы всех проводимых экспериментов и их режимы, показана и описана схема установки дополнительного источника нагрева в вакуумной камере.

3.1. Описание процесса азотирования в дуговом разряде

Перед тем как провести экспериментальное исследование параметров процесса азотирования в газоразрядной плазме с использованием дополнительного источника нагрева необходимо было провести процесс азотирования без тэна, для последующего сравнительного анализа результатов.

Образцы из стали 40Х устанавливались на детали которые, в свою очередь, устанавливались внутри рабочей камеры на вращающемся столе. Для проведения процесса азотирования необходима работа двух плазмогенераторов обеспечивающих общий ток разряда примерно 200 А. Конструкция плазмогенератора такова, что у него имеется накаливаемый катод который является эмиттером электронов. Этот катод сделан из вольфрамовой нити, и как накал он нагревается до очень высоких температур, до «белого» свечения. Фактически он является не только эмиттером, но и дополнительным нагревательным устройством.

К изолированному от камеры столу, на котором расположены детали и образцы, отдельно от источника питания подается напряжение до 1000 В.

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 плазмодгенератора необходимо протереть место уплотнения спиртом, так же необходимо протирать спиртом уплотнительную резиновую прокладку между дверью и камерой, после каждого открывания двери.



Рисунок 3.1.1. 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 3.1.2.

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, выставляем необходимые параметры и зажигаем разряд. Плазма в азотной среде горит розовым цветом.

Таблица 3.1.1. Параметры экспериментов

Параметры эксперимента	
Ток разряда	200А
Плотность тока	100-150А
Давление в камере	10^{-3} мм. Ртутного столба
Напряжение смещения	до 1000 В
Плотность ионного тока	2,5-6 мА/см ²

10. 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.
11. Далее повторяем цикл с начала.

3.2. Выбор и установка термо-резистивного датчика температуры (термопара)

Для отслеживания во время процесса температуры образцов в центре камеры установлен имитатор с закрепленной в нем термопарой. Установка термопары в камере была представлена выше (рисунок 3.1.1).

Термопара представляет собой два соединенных в одном конце проводника из различных материалов, являющихся частью устройства для замера температуры. Существуют различные комбинации проводников, но наиболее оптимальные термоэлектрические характеристики демонстрирует соединение из двух никелевых сплавов: хромель и алюмель. Дело в том, что именно данные материалы демонстрируют наиболее близкую к прямой термоэлектрическую характеристику, что необходимо для обеспечения высокой точности измерений. Прежде чем перейти к описанию свойств термопар следует остановиться на используемых в них сплавах.

Хромель (НХ9,5) – это сплав 89-91% никеля и 8,7-10% хрома. Остальное занимают примеси таких материалов как кремний, медь, марганец и кобальт, причем содержание последнего составляет от 0,6 до 1,2%.

Алюмель (НМцАк2-2-1) состоит из 93-96% никеля и 1,8-2,5% алюминия, при высоком содержании марганца (1,8-2,2%) и кремния (0,8-1,2%). Данный сплав достаточно хорошо магнитен в отличие от маломагнитного хромеля.

Высокое содержание никеля обуславливает то обстоятельство, что изготовленная из этих сплавов термопарная проволока обладает высокой стойкостью к окислению. А, учитывая то, что термопара из данных материалов имеет практически линейную зависимость термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС) в диапазоне от 0 до 1000 °С, то она часто используется в различных терморегуляторах.

При кратковременном измерении максимальная температура может достигать 1300 °С. Материалом для электродов термопар является термоэлектродная проволока, размерный ряд которой состоит из следующих диаметров: 0,2; 0,5; 0,7; 1,2; 3,2 миллиметра. При температуре 1300 °С

используется проволока только диаметром 1,2 и 3,2 мм. Исходя из этого термопара хромель - алюмель отлично подходит для измерения температуры внутри вакуумной камеры во время процесса азотирования.

Проволока хромель и алюмель изолирована друг от друга и от корпуса керамическими одноканальными изоляторами с керамическими наконечниками на конце, защищающими от соприкосновения с металлическим чехлом[24].

Термопары хромел-алюмель популярны из-за своей доступности по стоимости, а также трудоемкости изготовления и достаточно широкого диапазона измеряемой температуры, зависящей от диаметра термоэлектродной проволоки

Дабы избежать образования покрытия на контактах термопары и выдержать неизменную проводимость этих контактов конец термопары помещался в кварцевый стаканчик.

3.3. 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°C[8]. 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: в связи с тем, что в такой системе других источников нагрева непредусмотренно, а нагрев осуществляется разрядом предлагается сделать комбинированный метод азотирования. Так вот чтобы оптимизировать условия азотирования именно в этой плазме в чистом азоте без амиака, без водорода за счет ионной бомбардировки предлагается создать комбинированный метод, метод включающий в себя следующие моменты: это нагрев детали каким нибудь внешним источником расположенным внутри камеры и плазму используют только по назначению, активировать газ то есть приводить в ионное состояние но не греть плазму, отсюда в общем то и возникает задача создать тэн который будет обеспечивать за счет инфракрасного излучения в глубоком вакууме нагрев деталей хотя бы до температуры 400-450 градусов, а стальное сделает подогрев плазмы.

В нашей работе для оптимизации процесса нагревания деталей был установлен тэн, обеспечивающий максимальную мощность до 5 кВт

Тэн был выполнен из нержавеющей стали марки 12ХН18Т, он представляет собой трубку диаметром 10 мм. Изогнутой в форме спирали, толщина стенки трубки составляет 1,5 мм., тэн имел мощность 5 кВт., при работе нагревательного элемента на него подавался ток 100-150 А., с напряжением 30-40 В.

Тэн устанавливался вдоль одной из стенок камеры. Внешний вид и расположение дополнительного нагревательного элемента в камере представлен на рисунке 3.3.1. 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 никромовой фольги.

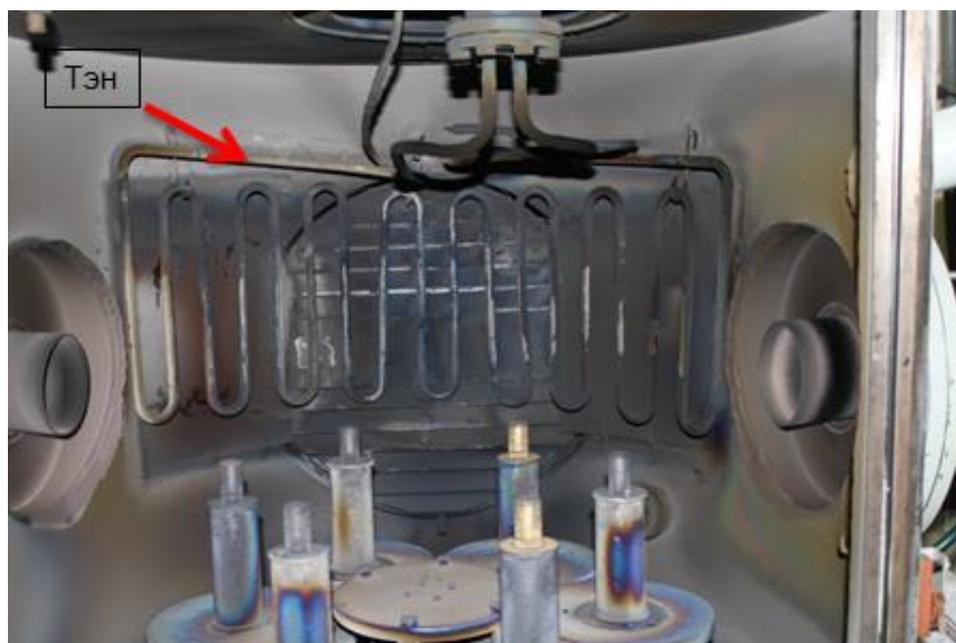


Рисунок 3.3.1. Расположение дополнительного источника нагрева в экспериментальной вакуумной камере

Питание нагревательного элемента подводилось через установочный фланец в крышке камеры (рисунок 3.3.2.). Кроме того, тэн необходимо охлаждать, связи с чем к нему подавалась вода (рисунок 3.3.3.)



Рисунок 3.3.2. Установочный фланец тэна с питанием нагревательного элемента



Рисунок 3.3.3. Установочный фланец тэна с трубками для подвода охлаждающей жидкости

Затем как установили дополнительное нагревательное оборудование (тэн) мы решили провести экспериментальный процесс азотирования, для того чтобы проверить, а смогли мы на самом деле сделать такое оборудование, которое сможет обеспечить нагрев детали как уже говорилось ранее, используя лишь один плазмогенератор. Во время процесса отслеживали, зависимость температуры от времени, мы получили желаемый результат и практически идеальную динамику нагрева дополнительного нагревательного оборудования, показанную на рисунке 3.3.4.

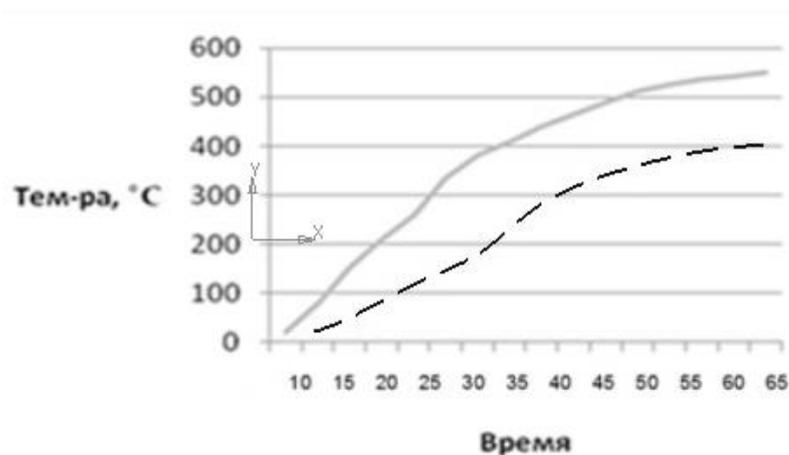


Рисунок 3.3.4. Динамика роста температуры с дополнительным источником нагрева. _____ нагрев в вакууме; _ _ _ _ _нагрев на воздухе

Как видно из рисунка 3.3.4. рабочая температура (500-5500С) процесса азотирования после установки дополнительного нагревательного элемента и с использованием только одного плазмогенератора «ПИНК» достигается примерно за один час. В тоже время данная температура при двух работающих плазмогенераторах и без тэна достигается примерно за 2-6 часов[8]. Исходя из выше сказанного, можно сделать, что установленный нами источник нагрева ускоряет технологический процесс азотирования более чем в два раза и исключает дополнительное дорогостоящее оборудование (второй плазмогенератор).

Теплопередача и теплоперенос в атмосферной среде происходит за счет теплопроводности и конвекции. В вакууме при отсутствии условий конвективного теплопереноса теплопередача происходит за счет инфракрасного излучения нагревательного элемента.

Для более полного анализа влияния установленного нами тэна было решено провести нагрев рабочей в условиях вакуума (без рабочего газа: азота) и атмосферы (на воздухе). Динамика нагрева на воздухе продемонстрировано также на рисунке 3.3.4. Видно, что в условиях вакуума нагрев проходит несколько быстрее и температура в камере различалась.

3.4. 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 накаливаемым катодом, камера заполняется достаточно однородной газоразрядной плазмой, имеющей положительный 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. Детали азотировались совместно с промышленными изделиями и выступали в роли образцов-свидетелей. Ниже указаны параметры экспериментов.

Параметры эксперимента	
Напряжение разряда	30-40 В
Ток разряда	50 А
Ток накала	115-125 А
Давление в камере	1×10^{-3} Па
Напряжение смещения	0В, 100В, 200 В
Ионный ток	30,50,70 А

Было проведено два эксперимента с одинаковыми режимами. Различием между экспериментами являлось наличие / отсутствие тэна.

После установки дополнительного нагревательного оборудования в вакуумную камеру, расстояние между тэном и ближайшей деталью было примерно 200 мм., длина самого тэна в изогнутом состоянии составляет 900 метров, расстояние от стенки камеры до спирали 30 мм., масса тэна составляет примерно 7 кг. Более наглядно это представлено на рисунке 3.4.1.

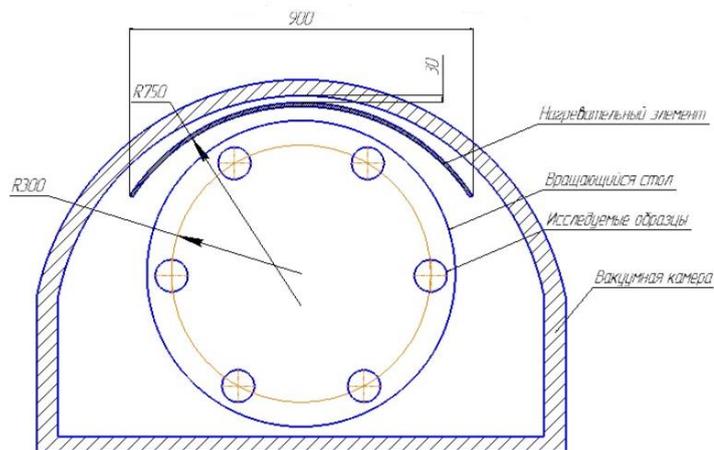


Рисунок 3.4.1. Схема установки с дополнительным источником нагрева

3.5 Исследование кинетики нагрева образцов при азотировании с различными значениями потенциала смещения

Образцы загружались в камеру, которые располагались на промышленных изделиях (шестернях) установленных на вращающемся столе. Термопара подводилась в рабочее пространство через отверстие вверху камеры и закрывалась кварцевым стаканчиком. В ходе процесса поворотный стол вращается вокруг своей оси, а также каждый образец вращается вокруг своей оси. Это обеспечивает более равномерный по толщине азотированный слой на всех образцах.

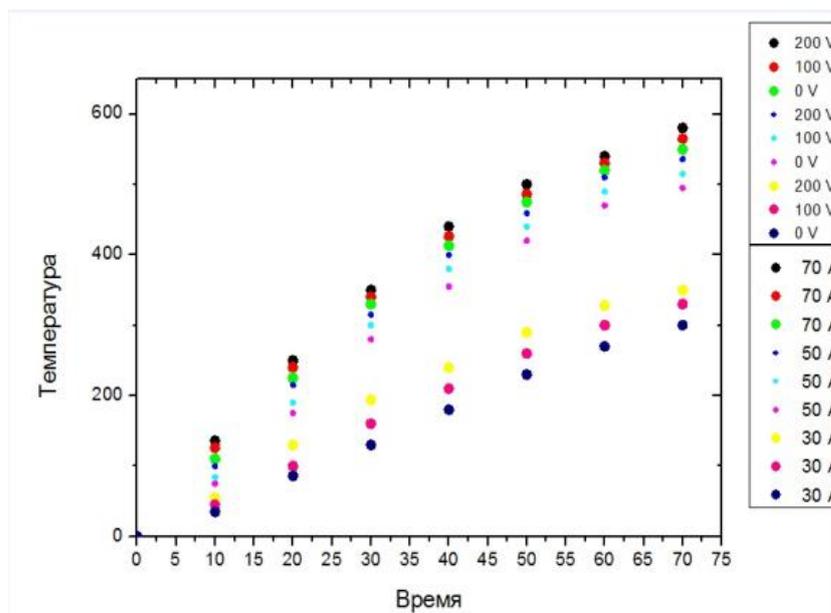


Рисунок 3.5.1. Динамика роста температуры во времени внутри камеры без установки дополнительного нагревательного элемента. $P=3\text{кВт}$

В ходе исследования проводился ряд экспериментов с различными напряжениями смещения и токами накала. Зависимость температуры рабочей среды от времени без нагревательного элемента для каждого эксперимента представлена на рисунке 3.5.1.

Во время проведения процесса азотирования без применения дополнительного источника нагрева (тэна) и при мощности 3 кВт, выявлено что при разном смещении за определенный промежуток времени (75 минут), была достигнута максимальная температура азотирования (550 градусов).

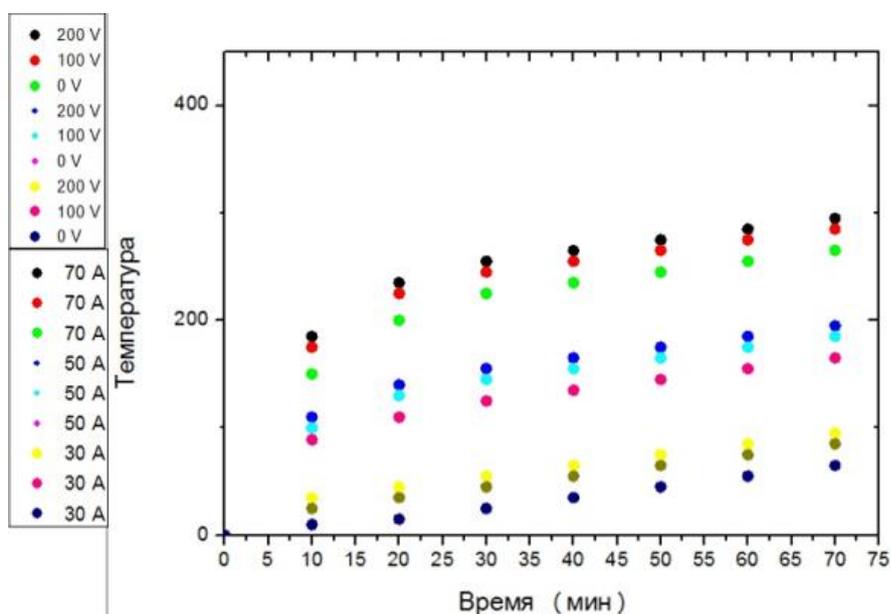


Рисунок 3.5.2. Динамика роста температуры во времени внутри камеры после установки дополнительного нагревательного элемента. P=1кВт

Однако при использовании дополнительного источника нагрева (тэна) и при мощности 1 кВт, нагрев детали за определенный промежуток времени (75 минут), видно, что температура возрастает намного быстрее. Не считая того что мощность была в три раза меньше. Зависимость температуры рабочей среды от времени с нагревательным элементом для каждого эксперимента представлена на рисунке 3.5.2.

Кроме того, для более детального анализа нагрева рабочей среды с одним плазмогенератором и дополнительным источником нагрева была проведена серия экспериментов с изменяемой мощностью нагрева тэна.

Результаты проведенного процесса наглядно продемонстрированы на рисунке 3.5.3.

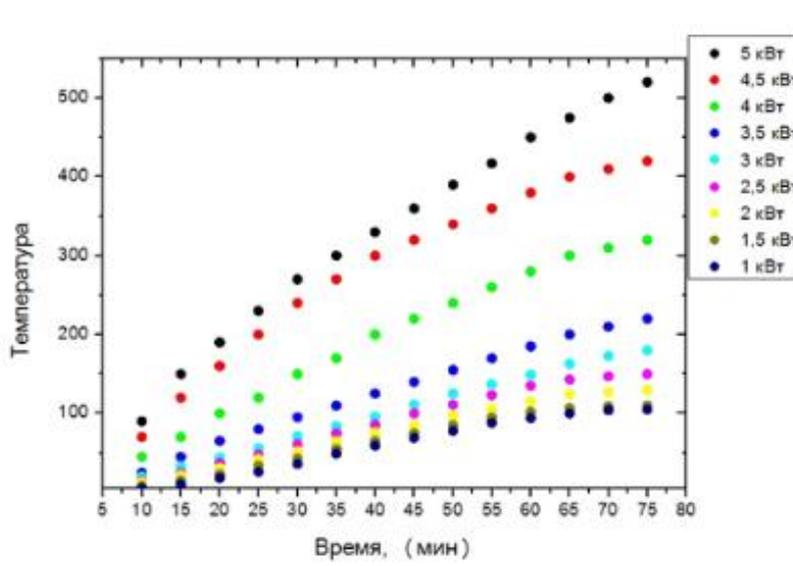


Рисунок 3.5.3. Динамика роста температуры во времени внутри камеры после установки дополнительного нагревательного элемента при различных мощностях нагрева ($P=1 \dots 5$ кВт)

Вывод

В результате насыщения поверхностного слоя образцов азотом, было экспериментально исследовано влияние дополнительного нагревательного элемента на процесс синтеза покрытия. Была предоставлена зависимость роста температуры от времени с тэном.

В следующей главе будут рассмотрены морфологии поверхностей образцов после азотирования и динамики роста температур в двух вариантах эксперимента (с нагревательным элементом и без него). Кроме того, будут предоставлены данные о положительном влиянии более быстрого нагрева заготовки на ее поверхность после азотирования.

ГЛАВА 4. Исследование параметров азотированных слоев и определение оптимальных режимов азотирования

В данной главе будут показаны различия между азотированными слоями, при одинаковых режимах в двух вариантах эксперимента (с тэном и без тэна). Закономерности влияние дополнительного нагревательного элемента на шероховатость, микротвердость и толщину поверхностного слоя после азотирования.

4.1. Влияние дополнительного нагревательного элемента на физико-механические характеристики поверхностного слоя после азотирования

Одной из важнейших физико-механических характеристик приповерхностных слоев, тонких пленок и покрытий является микротвердость. Метод микро-индентирования обеспечивает неразрушающий характер и локальность исследований, проявляет высокую чувствительность к изменению структуры и состава приповерхностных слоев.

Отпечаток от алмазной пирамиды Виккерса на исходном образце сталь 40Х при нагрузке 50 грамм представлен на рисунке 4.1.1. Погрешность измерений составляет $\pm 0,3$ ГПа.

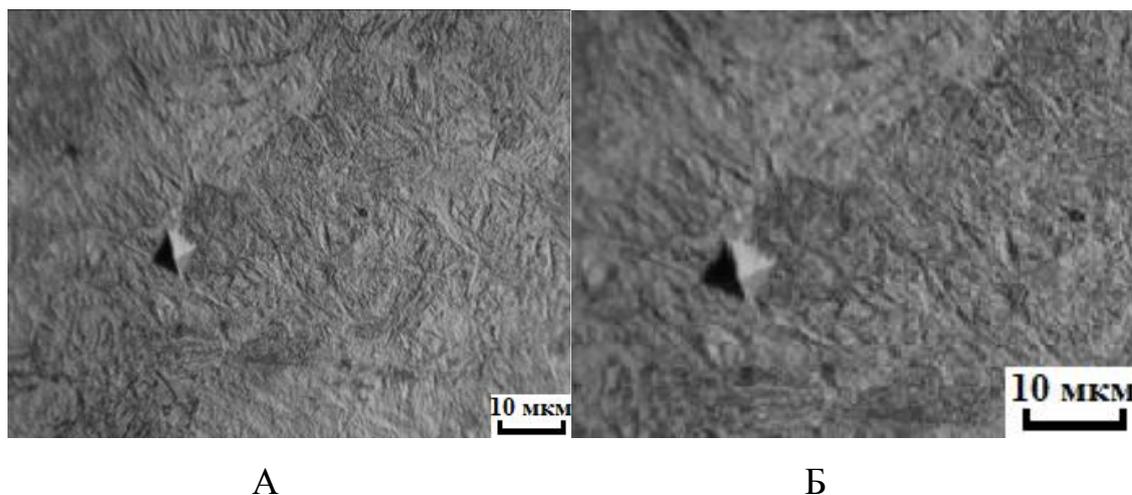


Рисунок 4.1.1. Морфологии поверхностного слоя образцов с отпечатком индентора Виккерса после азотирования. Эксперимент: а) с тэном, б) без тэна

Толщина азотированного слоя и его твердость испытывались при помощи твердомера. На поверхность наносилось 6 «уколов» индентора с шагом 20мкм. Первое нагружение проводилось на расстоянии 10 мм от края образца.

После проведения процесса азотирования, на обоих образцах была измерена поверхностная твердость (750 – 800 кгс/мм²). После чего был изготовлен поперечный шлиф, по которому измерялась твердость по глубине азотированного слоя, а также величина этого слоя. На рисунке 4.1.2. приведена фотография поперечного шлифа образца азотируемого без использования тэна.

Диффузия азота в поверхность стальных образцов осуществлялась в течении 5 часов при отрицательном потенциале смещения -400В.

Числовые значения твердости приведены в таблицах 4.1.1. и 4.1.2.

Таблица 4.1.1. Толщина покрытия в эксперименте без тэна

№	Микротвердость HV, кг/мм ²	Глубина проникновения, мкм
1	700	1
2	550	2
3	430	4
4	310	5
5	270	6
6	250	8
7	250	10

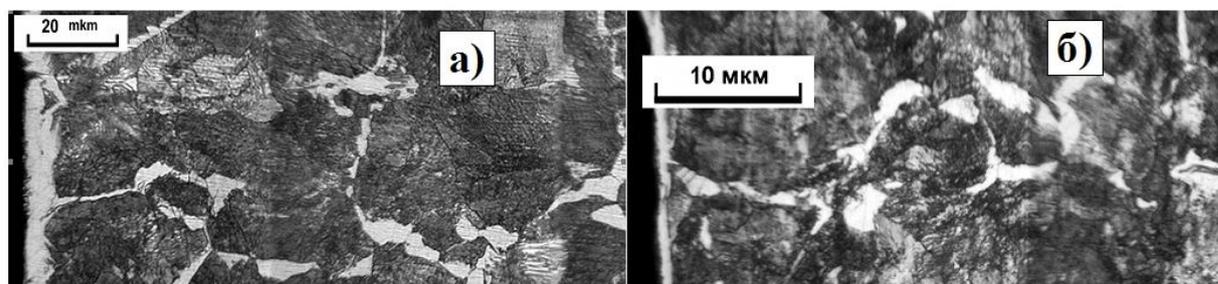


Рисунок 4.1.2. Изображение структуры (исходная ферритно-перлитная структура азотированных слоев стали 40Х после обработки в плазме газового дугового разряда при температуре 520 °С в течении 2-х часов: а)

азотирование в плазме дугового разряда без тэна; б) сталь после азотирования совмещенного с подогревом тэна. Потенциал смещения образца -400 В и ток накала 100 А

Таблица 4.1.2. Толщина покрытия в эксперименте с тэном

№	Микротвердость HV, кг/мм ²	Толщина азотированного слоя, мкм
1	600	1
2	260	2
3	250	4
4	250	5
5	250	6
6	250	8
7	250	10

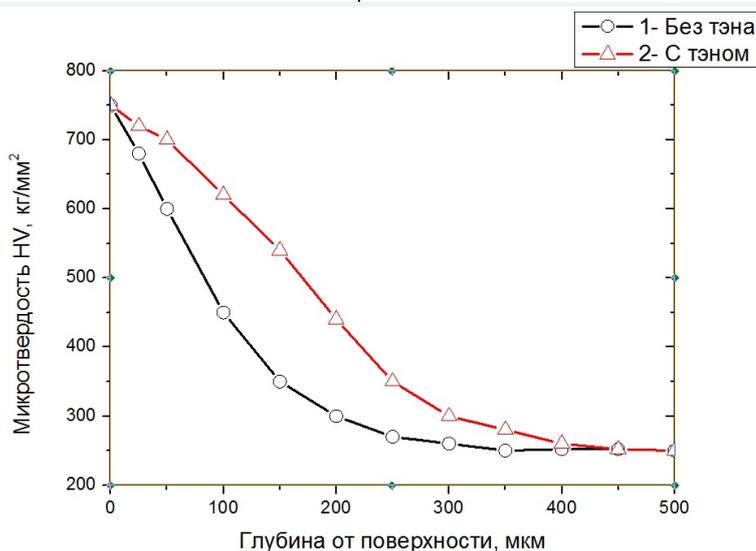


Рисунок 4.1.3. Распределение микротвердости в стали 40X после азотирования в плазме дугового разряда при T= 500 °С в течении 5-и часов.

1- Без тэна, 2- С тэном.

Рисунок 4.1.3. Демонстрирует зависимость микротвердости поверхностного слоя от глубины внедрения нитридов. Как видно из таблиц 4.1.1. и 4.1.2. включения в камеру дополнительного нагревательного элемента нитридного слоя, за счет концентрации азота.

Такой эффект достигается за счет обеспечения диффузии не разрядом а тепловым источником.

№1 азотирование без тэна – более толстый нитридный белый слой (рис.2.1.2) за счет большей концентрации азота, при этом общая толщина диффузионной зоны меньше, чем при азотировании с тэном №2, когда ток и напряжения разряда меньше, потому что нагревают тэном

В случае №1 нитридная зона имеет толщину $d=6-8$ мкм после 2 часов азотирования.

А в случае №2 толщина нитридной (Fe_4N) не более 1-2 мкм (концентрация ионов (ток разряда!) и их энергия (напряжение смещения!) существенно ниже, чем в случае №1).

Твердость на поверхности при наличие белого слоя (Fe_4N) для стали 40Х всегда 750-800 кг/мм². Не зависит от толщины этого белого слоя, либо 2 мкм либо 10 мкм. Твердость на всей протяженности нитридного слоя не должна меняться, так как это зона однородна по составу. А вот значения микротвердости твердого раствора (диффузия азота в сталь понижается в зависимости от концентрации азота в глубину) снижается от границы нитридной зоны от 560 кг/мм² до твердости сердцевины 270 кг/мм².

Протяженность диффузионной зоны, в зависимости от времени выдержки при $T=5200C$ может изменяться. За 1 час это может быть 100-120 мкм, за 5 часов – 300- 400мкм. Значения твердости на этих промежутках зависят только от концентрации азота. Так вот, если в случае применения тэна нитридный слой составляет всего 2 мкм. За это время азот ушел в твёрдый раствор, т.е. в диффузионную область. Значит на графике микротвердости для этого случая кривая будет идти выше, чем для случая без тэна, в котором большая часть сконцентрирована в нитридном слое, а в твердом растворе концентрация ниже. Т.к. при интенсивной ионной бомбардировке азот очень быстро накапливается в поверхностном слое и его количества (концентрации) хватает, чтобы образовывать нитриды.

Рассасываться в глубину он не успевает. Поэтому твердый раствор обеднён азотом и твердость в диффузионной части будет несколько ниже, чем с применением тэна. А вот когда применяем тэн, то не требуется высокая

плотность тока и напряжение смещения, чтобы нагревать деталь. Поэтому азот успевает диффундировать при данной температуре в глубину и его концентрация в поверхностном слое низкая. Поэтому нитридная зона почти не формируется, азот успевает рассасываться под действием температуры в глубину. Общие глубины азотированных слоёв для этих двух методов, примерно равны. При этом кривая без тэна будет круче и резко идти вниз.

Для случая с тэном – кривая более пологая и значения повышенной твердости у неё остаются дальше. Хотя можно на графике изобразить протяженность с тэном на 10% дальше (глубже) за одно и то же время.

4.2 Морфология поверхности образцов стали 40Х

После проведения эксперимента наш образец был исследован на растровом микроскопе, где была увидена разница между двумя методами азотирования с дополнительным источником нагрева и без дополнительного источника нагрева.

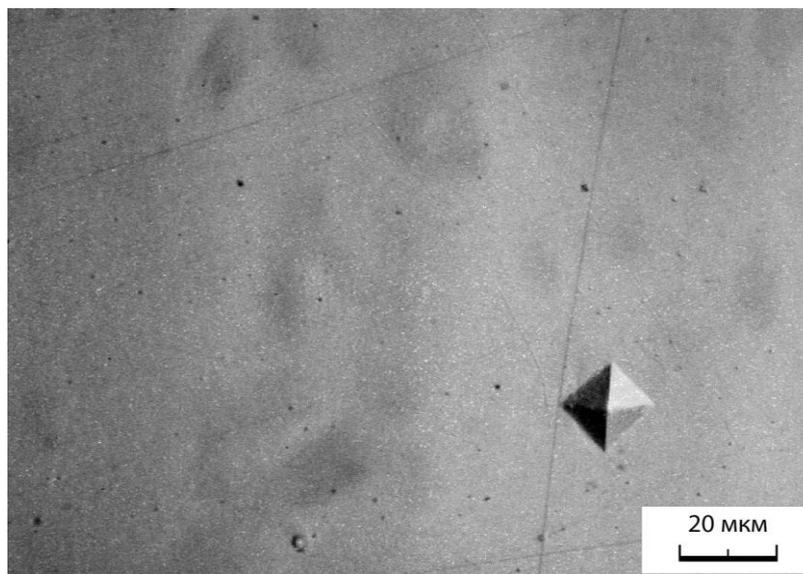


Рисунок 4.2.1. Изображение полированной поверхности образца, изготовленного из исходной стали 40х ($\times 333$) до обработки в газоразрядной плазме.

После проведения азотирования по двум режимам энергетического воздействия газоразрядной плазмы, но при одинаковой общей температуре (520°C) и времени процесса (2 часа) образцы были исследованы на

оптическом металлографическом микроскопе на предмет изменения морфологии поверхности. Структуры шероховатости в обоих случаях представлены на рисунках 4.3.1., 4.3.2.

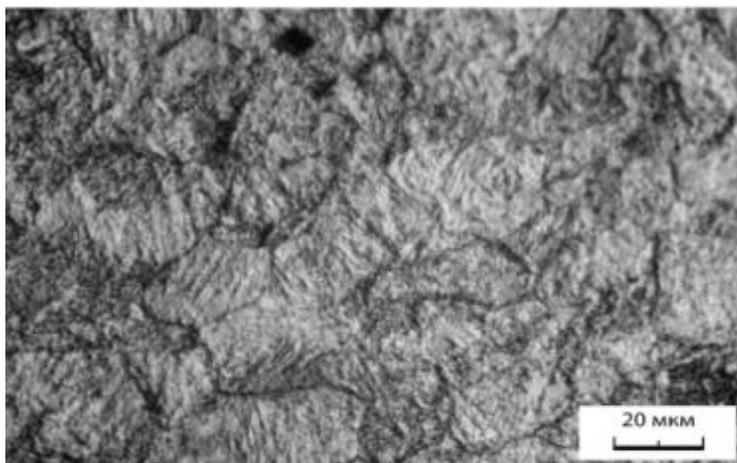


Рисунок 4.3.1. Морфология поверхности без дополнительного источника нагрева (тэна). Оптическая микроскопия.

После проведения процесса азотирования при 520°C без дополнительного источника нагрева при напряжении смещения $U_b = -600$ В и токе разряда $I_p \approx 100$ А, видно, что микрорельеф поверхностного слоя образца стали 40Х значительно изменился. Наблюдается развитая картина травления как границ зерен феррита-перлитной структуры, так и изменения, вызванные распылением, внутри каждого зерна.

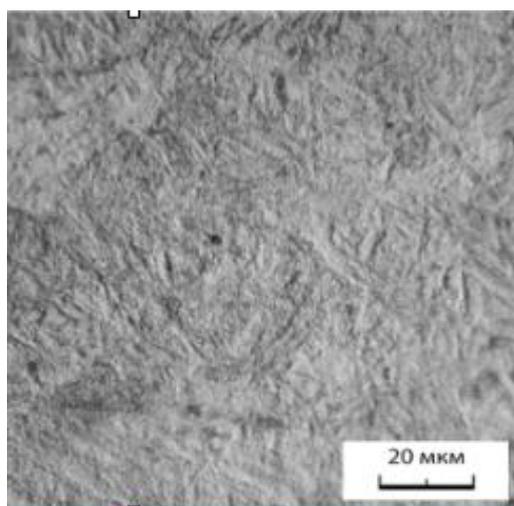
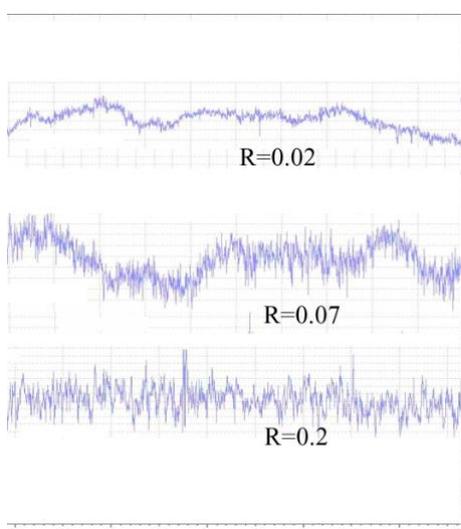


Рисунок 4.3.2. Морфология поверхности с дополнительным источником нагрева (тэном)

После проведения процесса азотирования при 520°C с дополнительным источником нагрева, видно, что шероховатость поверхностного слоя образца стали 40X значительно меньше, чем без тэна. В отсутствие интенсивной ионной бомбардировки поверхность не распыляется, и микрорельеф сохраняется практически на уровне состояния исходного, т.е. до азотирования.

4.3 Исследование шероховатости поверхности образцов из стали 40X

Исследования шероховатости поверхности проводили путем сравнения результатов на приборе Micro Measure 3D station.



- Исходный образец при 520 °C
- С тэном при 520 °C
- Без тэна при 520 °C

Рисунок 4.3.1. Шероховатость поверхности образцов после азотирования

Эксперимент по нанесению тонких нитридных пленок на поверхность сталей 40X проводился при потенциале смещения -400В и температуре рабочей среды 520 градусов

Поверхность исходного образца имеет неровную структуру поверхности $R_a=0,02$. Когда при использовании дополнительного источника нагрева шероховатость поверхности образца гораздо лучше $R_a=0,07$. Исследования поверхностного слоя, нитридного покрытия, нанесенного без применения тэна показали наличие шероховатости $R_a=0,2$.

Исходя из этого, можно сделать вывод о положительном влиянии дополнительного нагревательного элемента на поверхность азотированного

слоя. Причем при помощи тэна нам удалось улучшить шероховатость примерно в 3 раза.

Заключение

В ходе настоящей диссертации были описаны проектирования и установка внутри вакуумной камеры дополнительного оборудования (нагревательного элемента).

Было продемонстрировано положительное влияние нагревательного элемента на весь процесс ионного азотирования влияние дополнительного нагревательного элемента, который позволял в широком диапазоне менять основные параметры газоразрядной плазмы (ток разряда $I=10-120\text{A}$ и энергию положительных газовых ионов, задаваемую отрицательным напряжением смещения, $U_b=0 - 800\text{V}$). На примере азотированного слоя полученного вакуумно - дуговым методом получены экспериментальные данные, по которым можно сделать следующие выводы:

- Благодаря использованию тэна на данном технологическом оборудовании появилась возможность отказаться от одного плазмогенератора.
- Установка в камеру дополнительного нагревательного элемента привело к снижению энергозатрат.
- Параметры работы одного плазмогенератора удалось снизить со 100A до 30A что обеспечивает большую продолжительность работы катода, который выполнен из вольфрамовой проволоки.
- За счет снижения напряжения смещения до 400V удалось снизить интенсивность распыления деталей, за счет чего шероховатость поверхности готовых изделий снизилась примерно в 10 раз.
- Включения в камере нагревательного элемента снижает микротвердость полученной поверхности и глубину внедрения ионов.
- Азотирование с одним плазмогенератором и подключенным тэном ускоряет процесс нагрева деталей до рабочей температуры ($500-550^{\circ}\text{C}$) примерно в 2 раза и исключает использование дополнительного оборудования (второго плазмогенератора).

- В камере дополнительного нагревательного элемента сказывается на толщине азотированного слоя и его твердости. Так при азотировании образцов в течении одного часа, с потенциалом смещения -400В , твердости поверхностей, полученных с использованием тэна и без него, на разных глубинах слоя имели среднее различие
- Использование дополнительного нагревательного устройства в вакуумной камере значительно снижает толщину нитридного (Fe_4N) слоя (1,5-2 мкм). Вероятно это связано с существенно более низким уровнем концентрации ионов (токе разряда) и их энергии (напряжения смещения) по сравнению со случаем когда работали два плазмодгенератора.

Приложение

Глава 1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение

Тема ВКР: Оборудование и технологические способы увеличения эффективности применения ионно-плазменной обработки в вакууме для деталей машиностроения.

1.1.SWOT-анализ

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 1.1. –Матрица SWOT

	Сильные стороны научно исследовательского проекта: С1.Возможность модифицировать установку. С2. Высокая производительность С3. Снижение затрат на электроэнергию С4. Увеличение срока службы инструмента С5. Актуальность темы.	Слабые стороны научно исследовательского проекта: Сл1. Большие затраты на комплексное оборудование. Сл2. Максимальная загрузка камеры- 60 кг. Сл3. Большой объем выполнения работы за короткий срок. Сл4.Вероятность получения брака.
--	---	--

<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. В связи с постоянным интересом к процессу упрочнения поверхности конструкционных сталей – высокая вероятность получить бюджетное финансирование. В3. Возможность использования широкомасштабног о применения технологии в производстве В4. Участие в грантах В5. Использование консультаций специалистов.</p>	<p>С1В2 – вероятность расширения кол-ва поставщиков(снижение себестоимости изделия) С1В3 - упрощение внедрения технологии в производство за счет варьирования состава 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. 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>	

1.2. Инициация проекта

Таблица 1.2. 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 1.3. Цели и результат проекта

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

1.2.1. Организационная структура проекта

Таблица 1.1.1. Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- 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
	Жуманкулов Б.С. , 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

1.3. Ограничения и допущения проекта

Таблица 1.3. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	469979,9
3.1.1. Источник финансирования	ИФПМ СО РАН
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2015
3.2.2. Дата завершения проекта	16.06.2017

1.3.1. Бюджет научного проекта

Таблица 1.3.1. 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

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

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

Таблица 1.3.2. 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 8. 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 1.3.3. Расчет заработной платы

Исполнители	Количество	Зарплата, руб./мес.	Количество отработанных дней	Всего з.п, руб	Дополнительная з.п	Отчисления на социальные нужды
<i>Руководитель</i>	1	25000	60	75000	9000	25200
<i>Исполнитель</i>	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:

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

1.3.2. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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 %

1.3.3. Затраты на электроэнергию

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

Таблица 1.3.3. 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

1.3.4. 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.

1.3.5. Затраты на водоотведение

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

1.3.6. Полная смета затрат на выполнение НИР

Таблица 1.3.6. 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

Выводы

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.

ГЛАВА 2 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

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

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

1 Установка стандартная промышленная электропечь ШВ-9,18/БИЗ объемом рабочей камеры 0,5 м³. Данное оборудования предназначено для диффузионного насыщения азотом (ионного-азотирования) поверхностных слоев в «тлеющем разряде» различных деталей в машиностроительных отраслей. Данная установка представляет собой комплекс сложного оборудования, в который помимо рабочей камеры входят, вакуумная система, которая обеспечивает создание в рабочей камере необходимого рабочего давления. Система состоит из клапана с электромагнитным приводом, напускного регулируемого клапана (автоматического натекателя) и электронного блока управления. Электрическая часть служит для электроснабжения установки и управления технологическим процессом. Электроснабжение производится от трехфазной сети напряжением 380 В, цепи управления питаются напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Высоковольтный источник питания, включающий в себя тиристорный преобразователь напряжения, высоковольтный трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения в пределах от

100 до 1500 В. Источник опорного напряжения, включающий в себя тиристорный преобразователь (общий с высоковольтным источником), трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения от 20 до 280 В; 100

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

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

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

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

2.1 Техногенная безопасность

2.1.1. Анализ вредных факторов производственной среды

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

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

2.1.2. Микроклимат

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

располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

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

Факторы, влияющие на микроклимат, можно разделить на две группы: нерегулируемые (комплекс климатообразующих факторов данной местности) и регулируемые (особенности и качество строительства зданий и сооружений, интенсивность теплового излучения от нагревательных приборов, кратность воздухообмена, количество людей и животных в помещении и др.)

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

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

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

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

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Проект относится к работе средней тяжести (категория Пб), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 2.1.1:

Таблица 2.1.1. Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте
(СанПиН
2.2.4.548-96)

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

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

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

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

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение

надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

2.1.3. Вредные вещества

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

При выполнении работы по упрочнению поверхности образцов, в лаборатории используется газы: аргон и азот. Азот и аргон – газы без цвета и запаха (Таблица 2.1.2.).

Таблица 2.1.2. Перечень веществ используемых при работе [ГОСТ 12.1.007-

76]

Рабочий газ	ПДК р.з. мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Ar	2,4	2	газ
N	2 2	2	газ
CH ₄	7000	4	газ
NH ₃	20	4	газ

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

При медленном снижении содержания кислорода в атмосфере до непродолжительно переносимого организмом уровня (5-7%) обнаруживаются симптомы:

- Учащение дыхания и пульса, ритм дыхания может быть волнообразным

(периоды учащения дыхания сменяются периодами замедления).

- Потеря равновесия, головокружение, возможна эйфория.
- Чувство тяжести или сдавливания в лобной части головы.
- Чувство жара во всем теле.
- Чувство покалывания в языке, кончиках пальцев рук и ног.
- Изменение восприятия окружающей обстановки и угнетение функции органов чувств, особенно осязания.
- Возможны «провалы» памяти и потеря сознания.

Симптомы могут появляться в зависимости от индивидуальной предрасположенности человека к действию гипоксии.

При резком снижении содержания кислорода в атмосфере и, особенно при случайном попадании человека в среду азота или аргона достаточно нескольких вдохов для снижения парциального давления кислорода в крови до критического уровня – наступает потеря сознания, практически всегда внезапно. Разницы в воздействии на человека аргона или азота при полном вытеснении ими из атмосферы кислорода не существует.

2.1.4. Производственный шум

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 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. Уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих с

компьютером не должен превышать 50дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65дБА (ГОСТ 12.1.003-83).

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 выполняют 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) - против шумные вкладыши из ультратонкого волокна "Беруши" одноразового использования, а также против шумные 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.

2.1.5. Расчет уровня шума

Одним из неблагоприятных факторов производственной среды в ИВЦ является высокий уровень шума, создаваемый печатными устройствами, оборудованием для кондиционирования воздуха, вентиляторами систем охлаждения в самих ЭВМ.

Для решения вопросов о необходимости и целесообразности снижения шума необходимо знать уровни шума на рабочем месте оператора.

Уровень шума, возникающий от нескольких некогерентных источников, работающих одновременно, подсчитывается на основании принципа энергетического суммирования излучений отдельных источников:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \sum_{j=1}^{j=n} 10^{0,1L_j}$$

где L_i – уровень звукового давления i -го источника шума; n – количество источников шума.

Полученные результаты расчета сравниваются с допустимым значением уровня шума для данного рабочего места. Если результаты расчета выше допустимого значения уровня шума, то необходимы специальные меры по снижению шума. К ним относятся: облицовка стен и потолка зала звукопоглощающими материалами, снижение шума в источнике, правильная планировка оборудования и рациональная организация рабочего места оператора.

Уровни звукового давления источников шума, действующих на оператора на его рабочем месте, представлены в таблице 2.1.5.

Таблица 2.1.5. Уровни звукового давления различных источников

Источник шума	Уровень шума, дБ
Жесткий диск	40
Вентилятор	45
Монитор	17
Клавиатура	10
Принтер	45
Сканер	42

Обычно рабочее место оператора оснащено следующим оборудованием: винчестер в системном блоке, вентилятор(ы) систем охлаждения ПК, монитор, клавиатура, принтер и сканер.

Подставив значения уровня звукового давления для каждого вида оборудования в формулу (6.1.4), получим:

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \lg (10^4 + 10^{4.5} + 10^{1.7} + 10^1 + 10^{4.5} + 10^{4.2}) = 49,5 \text{ дБ}$$

Полученное значение не превышает допустимый уровень шума для рабочего места оператора, равный 65 дБ (ГОСТ 12.1.003-83). И если учесть, что вряд ли такие периферийные устройства как сканер и принтер будут использоваться одновременно, то эта цифра будет еще ниже. Кроме того, при работе принтера непосредственное присутствие оператора необязательно, т.к. принтер снабжен механизмом автоподачи листов.

2.1.6. Освещенность

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

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

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

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

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 8 \times 6 = 48 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $p_c = 50\%$ свежепобеленного потолка $p_n = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2600$ Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа

ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$ расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p ,$$

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

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

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

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

Число рядов светильников в помещении:

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

Число светильников в ряду:

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

Общее число светильников:

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

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

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

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

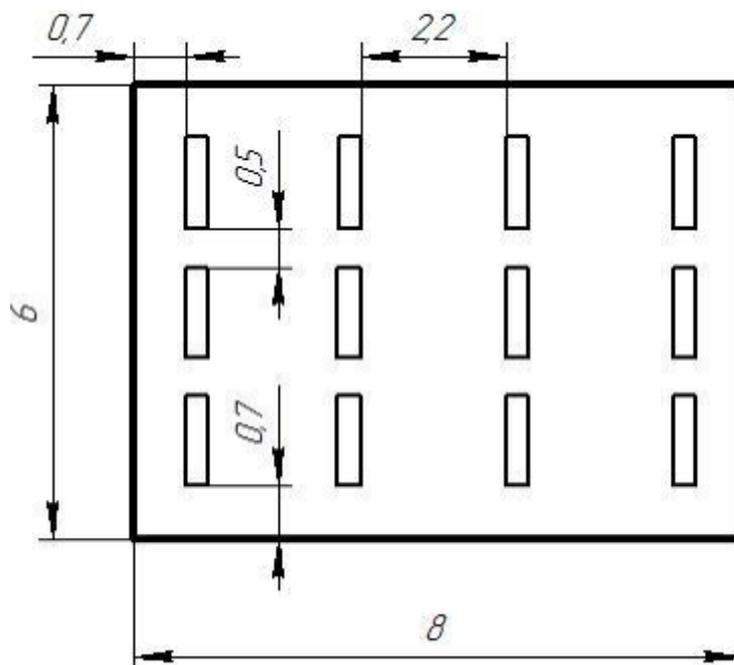


Рисунок 2.1.6. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

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

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

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

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

Делаем проверку выполнения условия:

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

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

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

2.2. Анализ опасных факторов производственной среды

2.2.1. Факторы электрической природы

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

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

Последствия поражением электрически током:

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

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

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

- При поражении головы электрическим током возможна потеря сознания.

Основными мерами защиты от поражения током являются: обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением, для случайного прикосновения; защитное разделение сети; устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрооборудования, что достигается применением малых напряжений, применением двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и др.; применение специальных защитных средств - переносных приборов и приспособлений; организация безопасной эксплуатации электроустановок.

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

2.2.2. Электробезопасность

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

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

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000В. Устройства относятся к 1 классу, так как прибор имеет только рабочую изоляцию, но при этом имеет контакт для присоединения защитного провода.

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

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

Рабочее помещение относится ко второй категории по степени опасности поражения электрическим током – помещения с повышенной опасностью, поскольку в помещении находится сырые с относительной влажностью воздуха более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей +30°C; с полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, металлоконструкций зданий и технологического оборудования, допускающих одновременное соприкосновение с ними. Безопасные номиналы $I \leq 0.1 \text{ A}$, $U \leq 36 \text{ В}$, $R_{\text{заземления}} \leq 4 \text{ Ом}$.

Соответственно, к работе допускается персонал с категорией электробезопасности II и выше - электротехнологический персонал, у которого в управляемом им технологическом процессе основной составляющей является электрическая энергия (например, электросварка, электродуговые печи, электролиз и т.д.), использующий в работе ручные электрические машины, переносной электроинструмент и светильники, и другие работники, для которых должностной инструкцией или инструкцией

по охране труда установлено знание правил безопасности при эксплуатации электроустановок.

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках.

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

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

2.2.3. Давление

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

Объекты котлонадзора - это паровые и водогрейные котлы, сосуды, работающие под давлением, и трубопроводы пара и горячей воды. Перечисленное оборудование и трубопроводы представляют собой объекты повышенной опасности, разрушение которых в эксплуатации может вызвать большой материальный ущерб, а также другие тяжелые последствия.

В лаборатории используются сосуды и аппараты, работающие под давлением. Они являются источником повышенной опасности для окружающих. Основная опасность заключается в том, что в случае разрушения такого сосуда или аппарата может произойти значительное высвобождение энергии вследствие адиабатического расширения газа или пара, - так называемый физический взрыв. Так, мощность взрыва (разрыва) сосуда вместимостью 1 м³, в которой находится воздух под давлением 1

МПа (10 кгс/см²), составляет 13 МВт. Если в сосуде при тех же условиях находится водяной пар, то мощность взрыва уже будет около 200 МВт[43]. В результате такого взрыва могут произойти значительные разрушения и тяжелые травмы людей.

К работам по эксплуатации, хранению и транспортировке баллонов с газами допускаются лица, прошедшие медицинское освидетельствование, вводный инструктаж, первичный инструктаж, обучение и стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда, имеющие удостоверение на право обслуживания сосудов под давлением.

- Персонал, обслуживающий сосуды под давлением, обязан:
- Выполнять только ту работу, которая определена рабочей инструкцией.
- Выполнять правила внутреннего трудового распорядка
- Правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты.
- Соблюдать требования охраны труда.
- Немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков острого профессионального заболевания (отравления);
- Проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, инструктаж по охране труда, проверку знаний требований охраны труда.
- Проходить обязательные периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры (обследования), а также проходить внеочередные медицинские осмотры (обследования) по

направлению работодателя в случаях, предусмотренных Трудовым кодексом и иными федеральными законами.

- Уметь оказывать первую помощь пострадавшим от электрического тока, от лазерного излучения и при других несчастных случаях.
- Уметь применять средства первичного пожаротушения.

При эксплуатации, хранении и транспортировке баллонов с газами возможны воздействия следующих опасных и вредных производственных факторов:

- возможность взрыва в результате неправильной эксплуатации или неисправности оборудования (баллоны с газом, газогенератор);
- газы (длительное вдыхание ацетилен может повлечь за собой головокружение или отравление; пропан-бутан-метановая смесь при больших концентрациях может вызвать отравление); физические перегрузки.

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

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

Техника безопасности при работе с газовыми баллонами:

- Не бросайте баллон.
- Не ударяйте по баллону.
- Поставьте баллон в такое место, в котором он не будет нагреваться, нельзя забывать, что в баллоне находится взрывчатое вещество.

- Держите баллоны в специальном проветриваемом ящике (вне дома) или специальном помещении, не ниже уровня земли (баллонный газ тяжелее воздуха и при утечке собирается в низинах).
- Укрепите баллоны вертикально (не лежа и не наклонно).
- Использованные баллоны не накапливайте, а сразу отправляйте на перезарядку: в каждом баллоне остается немного жидкого газа, возможны утечки, которые дадут в присутствии искры очень большой эффект.
- Не беритесь незащищенными руками за вентиль, чтобы закрыть его при нагревании баллона или появившемся небольшом язычке пламени у вентиля.
- Накиньте на горячий вентиль мокрую плотную ткань, и уже затем закройте вентиль.
- Помните, утечку газа можно обнаружить с помощью мыльной пены. При хранении баллонов в помещении персонал обязан знать, что:
 - а) баллон должен быть в вертикальном положении и надежно укреплен;
 - б) двери шкафа должны быть оборудованы так, чтобы не было доступа посторонним;
 - в) хранение баллонов с кислородом и горючими газами

ЗАПРЕЩАЕТСЯ!

- г) на баллоны, используемые в работе, должны быть накручены колпаки.
- При транспортировке баллонов эксплуатирующий персонал должен знать, что:
- а) при транспортировке баллонов должны быть предусмотрены меры, предотвращающие падение, повреждение и загрязнение баллонов;
 - б) перевозка баллонов должна производиться на рессорном транспорте или на автокарах в горизонтальном положении обязательно с прокладками между баллонами. В качестве прокладок могут применяться деревянные

бруски с вырезанными гнездами для баллонов, а также веревочные или резиновые кольца толщиной не менее 25мм по два кольца на баллон;

в) баллоны во время перевозки должны укладываться вентилями в одну сторону;

г) при транспортировании баллонов с ядовитыми и горючими газами на боковых штуцерах вентилях баллонов должны быть поставлены заглушки;

д) разрешается перевозка баллонов в специальных контейнерах, а также без контейнеров, в вертикальном положении обязательно с прокладками между ними и ограждением от возможного падения;

е) при перевозке баллоны должны быть защищены брезентом от действия осадков и солнечных лучей;

ж) погрузка, выгрузка и переноска баллонов должна производиться с осторожностью, не менее чем двумя рабочими;

з) снимать баллоны с автомашины разрешается только вниз башмаком.

Взрывозащита систем повышенного давления достигается организационно-техническими мероприятиями; разработкой инструктивных материалов, регламентов, норм и правил ведения технологических процессов; организацией обучения и инструктажа обслуживающего персонала; осуществлением контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, пожарной безопасности и т.п. Кроме того, оборудование повышенного давления должно быть оснащено системами взрывозащиты, которые предполагают:

- применение гидрозатворов, огнепреградителей, инертных газов или паровых завес;

- защиту аппаратов от разрушения при взрыве с помощью устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны и клапаны, быстродействующие задвижки).

2.3. Региональная безопасность

Охрана окружающей среды — комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на природу.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

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

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

2.3.1. Защита атмосферы

Энергопотребление устройств, работающих почти круглые сутки, имеет особое значение. Ведь те продукты, у которых этот показатель велик, не только обходятся покупателям дороже, но и наносят вред окружающей среде. В настоящий момент наиболее строгим из существующих мировых стандартов экологичности для компьютерной техники является стандарт ТСО-99.

Вопрос об утилизации старого оборудования предусматривается российским законодательством [10] и международными требованиями стандартов «ISO 14001:2004» (система экологического менеджмента) и «ISO 9001:2008» (система менеджмента качества).

К сфере защиты ЗА и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов

на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

2.4. Организационные мероприятия обеспечения безопасности.

Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

Существуют следующие требования по организации рабочих мест:

1. Рабочий стол должен регулироваться по высоте в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности его высота должна составлять 725 мм. Оптимальные размеры рабочей поверхности столешницы - 1400x1000 мм. Под столешницей рабочего стола должно быть свободное пространство для ног с размером по высоте не менее 600 мм, по ширине - 500 мм, по глубине - 650 мм. На поверхности рабочего стола для документов необходимо предусматривать размещение специальной подставки, расстояние которой от глаз должно быть аналогично расстоянию от глаз до клавиатуры, что позволяет снизить зрительное утомление.

2. Рабочий стул (кресло) должен быть снабжен подъемно-поворотным устройством, обеспечивающим регулицию высоты сидений и спинки; его конструкция должна предусматривать также изменение угла наклона спинки. Рабочее кресло должно иметь подлокотники. Регулировка каждого параметра должна легко осуществляться, быть независимой и иметь надежную фиксацию. Высота поверхности сидения должна регулироваться в пределах 400-500 мм. Ширина и глубина сиденья должна составлять не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки должна быть не менее 300 мм,

ширина - не менее 380мм. Радиус ее кривизны в горизонтальной плоскости - 400 мм. Угол наклона спинки должен изменяться в пределах 90-110° к плоскости сиденья. Материал покрытия рабочего стула должен обеспечивать возможность легкой очистки от загрязнения. Поверхность сиденья и спинки должна быть полумягкой, с нескользящим, не электризующим и воздухопроницаемым покрытием.

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

Виды деятельности подразделяются на следующие группы:

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

Для видов деятельности устанавливаются три категории (I, II, III) тяжести и напряженности работы с ПЭВМ и ВДТ

Время непрерывной работы для I кат. - 2 часа; для II и III категории 1,5-2 часа. Сумма времени регламентированных перерывов при 8 - часовом рабочем дне составляет для I кат. - 30 мин.; для II кат. - 50 мин.; для III кат. - 70 мин.

Режим труда и отдыха операторов, работающих с ЭВМ, должен быть следующим: через каждый час интенсивной работы необходимо устраивать 15 - минутный перерыв, при менее интенсивной через каждые 2 - часа. Эффективность регламентируемых перерывов повышается при их сочетании с производственной гимнастикой. Производственная гимнастика должна включать комплекс упражнений, направленных на восполнение дефицита двигательной активности, снятие напряжения мышц шеи, спины, снижение утомления зрения. Она проводится в течение 5 - 7 мин. 1 - 2 раза в смену

2.5. Особенности законодательного регулирования проектных решений.

1. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

15. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

16. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

Графические материалы

- 1) Освещенность на рабочем месте
- 2) Пути эвакуации

2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в

полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

2.6.1. Факторы пожарной и взрывной природы

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

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Б - производства, связанные с применением жидкости с температурой вспышки паров 28 ... 120°C и горючих газов, нижний предел взрываемости которых более 10% к объему воздуха, применением этих газов и жидкостей в количествах, которые могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси, а также производства, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие волокна или пыль в таком количестве, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси.

Помещение лаборатории можно отнести ко 2-ой группе по степени опасности развития пожара, характеризующейся достаточно серьезной пожарной нагрузкой, поскольку в лаборатории находится достаточное количество электрического оборудования, а также наличествуют легковоспламеняющиеся вещества (спирт, бензин и др.).

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Средства индивидуальной защиты:

- Защитные пластиковые каски.
- Защитные очки.
- Щиты ограждения.
- Различные респираторы и противогазы.

- Рукавицы.
- Предохранительные пояса и страховочные канаты.
- Комплекты для защиты работающего от электрической дуги (термостойкие костюмы).

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

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

Ионные и лазерные установки должны компоноваться, а входящие в их состав блоки размещаться с учетом мер, обеспечивающих помехоустойчивость управляющих и измерительных цепей этих установок от электромагнитного воздействия, вызываемого флуктуацией газового разряда, обуславливающей характер изменения нагрузки источника питания (по ПУЭ, 1999).

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

- высокая температура среды в зоне горения, открытый огонь, искры;

- дымообразование, токсичные продукты горения;
- пониженная концентрация кислорода в зоне пожара за счет его роли как окислителя в химических реакциях при горении;
- обрушение конструкций здания, падение обгоревших предметов;
- вероятность взрыва.

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

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

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

- Периодически проверять состояние пожарной безопасности объекта;
- Обеспечить содержание в постоянной исправности систем противопожарной защиты (противопожарного водопровода, установок сигнализации, автоматического пожаротушения и др.). В случае неисправности или выхода из строя этих систем принимать меры к приведению их в работоспособное состояние;
- Организовать противопожарную подготовку (противопожарный инструктаж, пожарно-технический минимум) подчиненных работников.
- Не допускать к работе лиц, не прошедших противопожарного инструктажа.

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

Предусмотренные в лаборатории средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02.-85)

огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

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

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

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

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



Рисунок 2.6.1. План эвакуации

Организационные защитные мероприятия

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

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

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

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 40м.

4. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к заниженной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

5. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса,

нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

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

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

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

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

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

Вывод

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

Приложение №2

Chapter 2. Equipment for nitriding of steels, materials and techniques for samples examination.

This chapter describes the equipment used for the experiments and the reasons for the selection of the material of samples, and the results analysis techniques.

2.1. Equipment for nitriding of steels in the arc discharge.

Appearance of the setup used for the experiments by the method of hydrogen-free ion-plasma nitriding in the arc discharge of low pressure is represented in Figure 2.1.



Figure 2.1. Appearance of the setup for nitriding in the arc discharge

An advanced setup "NNV-6.6-I1" represents the complex equipment consisting of the following units. On the walls of the vacuum chamber there are gas-discharge plazma generators on the basis of the dependent arc discharge. Vacuum pumping is done automatically by means of the forevacuum pump.

Production control is performed by two methods of management: manual and automatic mode from the computer and the special program which makes it possible to control all its phases: cleaning, parts heating, evacuation level, discharge parameters, duration of cycles, etc. The setup is equipped with the power supply of the negative voltage of offset to 1000 B on the processed parts, working both in constant, and in impulse modes.

The vacuum system instead of the diffusion steam-jet pump is made on the basis of the turbomolecular pump TMN-500 connected to the forevacuum pump NVZ-20D, thereby, providing high performance in case of the raised flowrate of the working gas. Vacuum wires and shutoff valves have conditional passes corresponding to high-performance pumping. Control, power supply system, and vacuum measurement system are upgraded according to the new vacuum system; the setup is also equipped with the additional wide-band vacuum meter for precise measurement of vacuum values in the conditions of application of the argon-nitrogen gas mixture in different ratio in the range of 0.05-500 Pa. The vacuum management system operates both in manual, and in automatic modes. There are shutdown modes that provide:

- opening of the valve of the turbomolecular pump in case of high pressure in the chamber;
- opening of the valve of the turbomolecular pump in case of the open valve of pumping of the chamber of the forevacuum pump;
- opening of the pumping valve of the turbomolecular pump in case of the switched-off forevacuum pump;
- switching on of the turbomolecular pump in case of the switched-off forvacuum pump;
- switching on of the turbomolecular pump if there is no cooling water;
- opening of the valve of forevacuum pumping of the chamber in case of an open valve of the turbomolecular pump;
- opening of the valve of the forevacuum pumping in case of an open door of the chamber and the open air valve.

Additional equipment. Two plasma sources with the heated cathode for the generation of gas plasma of the arc discharge. Regular power supplies of the arc discharge "VD-300" are replaced with electronic power supplies. The system of gas supply is made on the basis of two automatic inlet valves RRG-10 providing the maximum flowrate of 18 l/min.

Total technical characteristics of the setup:

1. Occupied space (approximately) – 6 sq.m.

2. Weight (approximately) – to 2000 kg

3. Stand cabinet size

controls – 800 (length) x 600 (width) x 2000 (height) in mm

4. Power consumption – to 30 kW

5. Supplied voltage – 3 phases 380/220 W

6. Working pressure – 0.01 - 1 Pa

Dimensions of the working chamber:

length – 600 mm;

width – 600 mm;

height – 600 mm;

The casing of the chamber is made in the form of a cubic tank with the side aperture closed by a door.

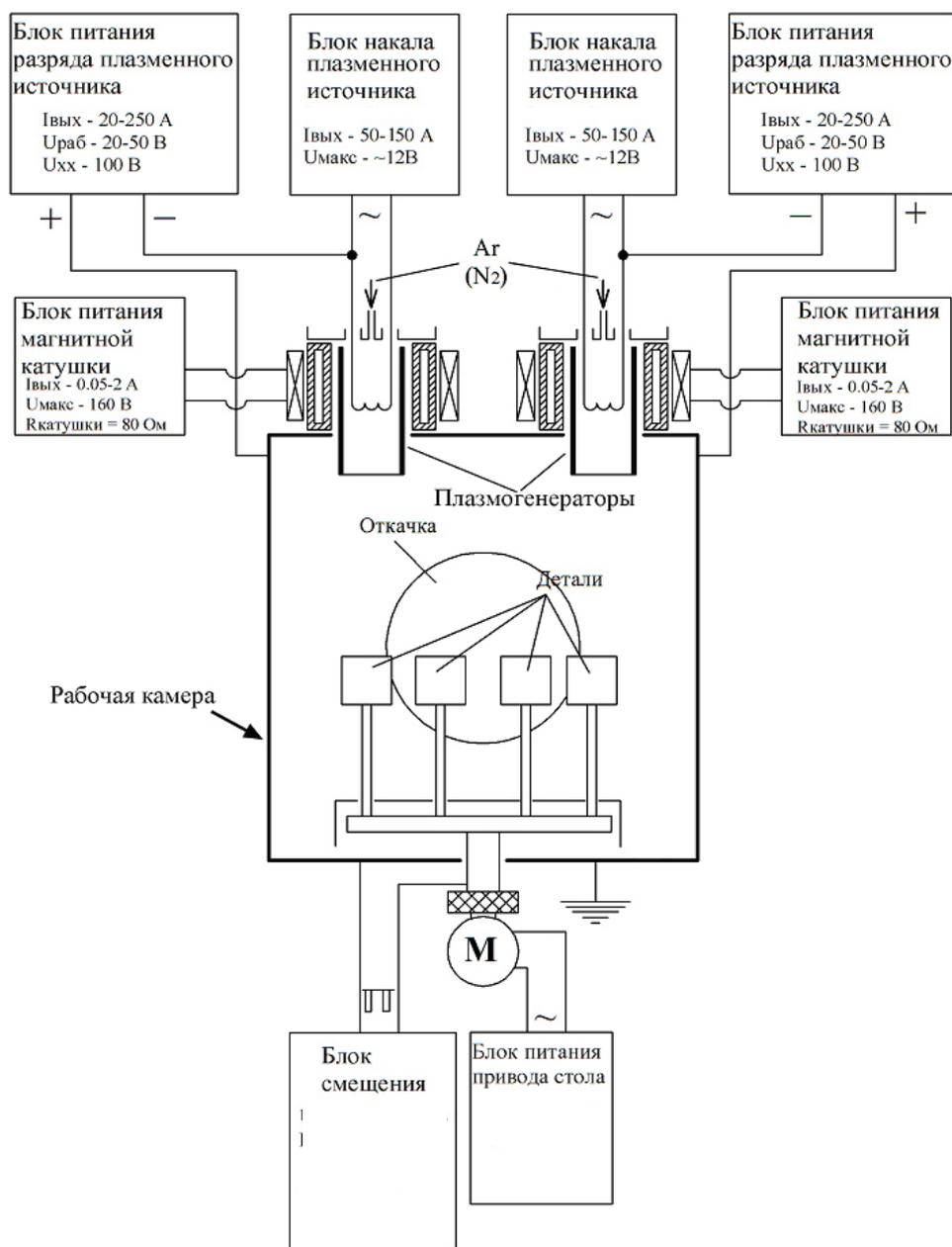


Figure 2.2. Flowchart of the industrial prototype of the equipment for nitriding on the basis of the modernized setup HNB 6.6– I1.

PINK plasma generator power supply unit – 2 items.

Discharge power supply:

output current 5-200 A

operational voltage 20-50 V

voltage of idling 100±20 V

discretization of current regulation, not worse than 1 A

operation mode: continuous

supply voltage 380/220 B, 50 Hz, 3f

Stabilization of current $\pm 5\%$

Source of heat of PINK:

Voltage 12V

Operational current 50-200 A

Alternating current, frequency 50 Hz

voltage supply 380/220 W, 50 Hz, 3f

Stabilization of current $\pm 5\%$

Power supply of the magnetic coil – 1 item.

output current 50-2000 mA

voltage output, at least 150 V

discretization of current regulation, not worse than 10 mA

operation mode: continuous

voltage supply of 220 V, 50 Hz, 1f

Stabilization of current $\pm 5\%$

Control of power supply units is distant using RS-232 or RS-485 from the setup management system.

Power supply of the substrate offset

Voltage "-" 300/1200V,

Operational current to 15 A

Power - up to 15 kW,

Impulse, frequency 1 - 40 kHz

2.2. Research materials

In this work, investigations with use of the samples made from steel 40X are conducted. This steel has been chosen due to its broad application in various branches of mechanical engineering.

The chemical composition of steel 40X, %

C: 0.36-0.44

Si: 0.17-0.37

Mn: 0.5-0.8

Ni: to 0.3

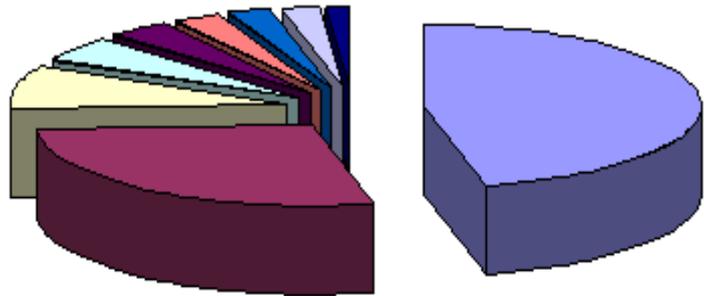
S: to 0.035

P: to 0.035

Cr: 0.8-1.1

Cu: to 0.3

Fe: ~ 97



Specific weight:

7820 kg/m³

Hardness of material: HB 10-1 = 217 MPa;

Temperature of critical points: Ac1 = 743, Ac3(Acm) = 815, Ar3(Arcm)=730, Ar1 = 693

Machinability by cutting: in a hot-rolled state at HB 163-168 and $\sigma_B = 610$ MPa, $T_{0 \text{ v } TV} \cdot c_{\text{пл}} = 1.2$ and $K_{\text{v } B} \cdot St = 0.95$

Tendency to temper brittleness: yes

40X steel is applied for the production of axes, shafts, shaft gear wheels, plungers, rods, cranked and camshafts, rings, spindles, mandrels, laths, gear wreaths, bolts, half shafts, plugs and other improving parts of the increased durability.

2.3. Features of preparation of the experimental samples

When testing physicomechanical properties of the surface obtained by depositing nitride coatings in the vacuum arc discharge, it is necessary to hold events for the preparation of the measurement place. It is necessary to preliminary polish the surface for the most correct interpretation of the received results. The

process of samples preparation is very labor-consuming and takes a lot of time. For a start, a bar from the necessary material of a certain diameter (in our case steel 40X D=16mm) is cut into cylinders of certain thickness (10 mm), then, we begin the grinding process using several types of the abrasive cloths (from 1 to 4):

Abrasive cloth No. 1: EM14A20N SFK –grinding cloth on the fabric basis, an abrasive is deposited by the electrostatic method; it is waterproof and is used for primary grinding, polishing material – normal electrocorundum, medium-grained (the size of grain is 200-250 microns), phenolic bond.

Abrasive cloth No. 2: EM14A6N SFK - grinding cloth on the fabric basis, an abrasive is deposited by the electrostatic method, waterproof, for intermediate grinding, polishing material – normal electrocorundum, fine-grained (the size of grain is 63-80 microns), phenolic bond.

Abrasive cloth No. 3: SFK EM14A R600 - grinding cloth on a fabric basis, an abrasive is deposited by the electrostatic method, waterproof, for final grinding, polishing material – normal electrocorundum, fine-grained (the size of grain is 20-28 microns), phenolic bond.

Abrasive cloth No. 4: SFK EM14A R2000 - grinding cloth on the fabric basis, an abrasive is deposited by the electrostatic method, waterproof, for thin grinding and polishing, polishing material – normal electrocorundum, fine-grained (the size of grain is 5-7 microns), phenolic bond.

Grinding needs to be carried out in back and forth motions, after a change of the next abrasive cloth it is necessary to replace the direction by 90 ° relative to the previous one. It is necessary to grind until the total disappearance of the scratches left by the previous abrasive cloth. After grinding using all four cloths, it is necessary to wash out the sample (preferably in alcohol) and to start final polishing of the sample using diamond pastes of two types.

Diamond paste No. 1: ACM28/20 ointment consistence, micropowder from synthetic diamonds, for polishing and operational development of various materials, the parameter of roughness of the processed surface is 0.32-0.05 microns.

Diamond paste No. 2: ACM1/0 ointment consistence, micropowder from synthetic diamonds, for polishing and operational development of various materials, the parameter of roughness of the processed surface is 0.25-0.02 microns.

For samples polishing using a diamond paste, it is necessary to apply a little paste on the fabric piece (coarse calico), to place the fabric on the plain surface (for example, glass), to moisten the paste with gasoline and to polish according to the sequence given for grinding. After polishing, a sample must be processed with alcohol to ensure that there is no paste left. As a result, a smooth surface which will provide correct measurements will be obtained.

The above-mentioned stages of samples surface preparation are necessary to obtain the correct measurement results of surface hardness, roughness size, thickness of the nitride zone.

2.4. MEASUREMENT OF MICROHARDNESS

For studying durability change of a surface of steel substrates depending on the mode of nitriding, the method which does not destroy a sample for measurement of hardness was used. Hardness is understood as a property of material to resist penetration of another material into it that does not receive residual deformations. The size of hardness and its dimension for the same material depend on the applied method of measurement [9]. In this work, we applied the method of determination of microhardness using the recovered print after indentation of a tetrahedral diamond pyramid with the square basis and an angle between the opposite sides of 136 °C. The value of microhardness by the diagonals of a print and angle α at top of a pyramid is calculated by the formula:

$$H = \frac{P}{S} = \frac{P}{a^2 \cdot \frac{\sin \alpha}{2}} \quad 2.4.1.$$

where d – print diagonal in micron, α – a spatial angle at top,
 P – normal loading applied to a diamond tip in grams [9].

In microhardness test, the applied loads were 0.49 and 0.981 N (50 g and 100 g). The value of microhardness was defined as an average from five measurements.

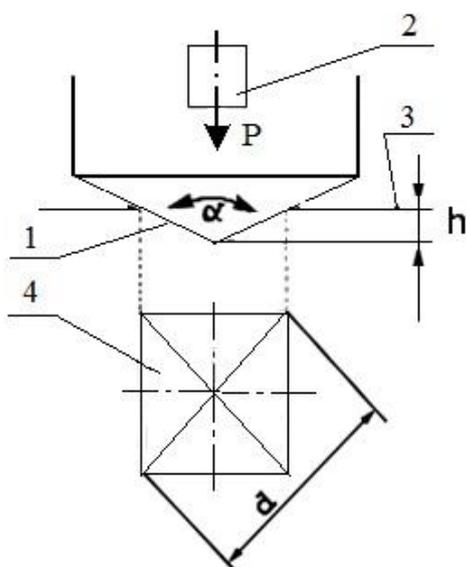
When measuring microhardness, it is important that the distance from the print to the edge of the nitrated layer was more than one and a half diagonals of the print, and between the two next prints - not less than two - three diagonals of the bigger of them. When measuring microhardness, an error of the size of a square print (diagonal less than 10 microns) at increase of 487 times of the optical system can reach 20%. Using the curves of hardness distribution the effective extension of the nitrated layer was estimated corresponding to the value calculated from the ratio:

$$H_{sp} = \frac{H_{KN} + \Delta H}{2} \quad 2.4.2.$$

where H_{KN} – core hardness (average value from 5 measurements),

ΔH – difference between the value of hardness on the surface and the core hardness [10]

Determination of hardness by indentation is the most evident and common type of mechanical tests of materials. It is that in the examined material under the influence of the loading operating for certain time an indenter (tip) in the form of a ball, cone or pyramid is pressed. When testing hardness, some volume of the material is deformed. The less the applied loading, the less the volume of deformation, the more precise identification of the distribution of material properties. Determination of microhardness is carried out on the PMT-3 [10] device.



1 - indenter (tetrahedral pyramid);

2 - load;

3 - tested material;

4 - print;

α - angle between the opposite sides of the pyramid - 136° ;

Print form is a square:

d - print diagonal (3 – 300 microns)

h – print depth (0.5 – 40 microns).

Figure 3 – Principle of operation of the device Vickers's indenter based on diamond indentation.

The principle of operation of the device is based on Vickers's indentation of diamond (Figure 3) performed in the form of a regular tetrahedral pyramid, under a certain loading (from 5 to 200 g) in the flat surface of the studied material and measurement of the linear size of the diagonal of the received square print.

The hardness value at indentation is the average tension of indentation to the surface of the print calculated in kgf/mm² (kilogram force per square millimeter).

2.4. Method of optical metallography

To investigate microstructure of a cross polish, to reveal a nitride layer on a sample surface and to determine its thickness, the optical metallography method at large magnification of a microscope (x494 and x620) has been used.

The metallographic analysis consists in the investigation of structure of materials at large magnification of a microscope. Depending on the required magnification, the use of the white light and typical optical system in microscopes allows us to observe accurately all present phases, their distribution and form. The maximum resolution of an optical system is defined from diffraction conditions according to the equation:

$$d = \lambda(2n * \sin \alpha/2) \quad 2.5.1.$$

where λ – radiation wavelength (for white light - 600 nanometers, for an electron beam at accelerating voltage 100 kV – 0.0037 nanometers), n –refraction factor, $\alpha/2$ – half of an angle of disclosure of the inlet beam. The general magnification of a microscope can be defined by practical consideration with the help of an object micrometer – a ruler with 1 mm divided into 100 parts. In this work, a luminous metallographic microscope of MMR-4 was used to observe and register

microstructure of the objects. For detection of structure of the nitrated layers of steels, etching of cross polishes was performed by 4% solution of nitric acid in ethyl alcohol. There are also other methods for structure examination, for example, the method of selective oxidation of structural components at heating. Cross microsections are heated in air atmosphere to 260 °C [4]. In the oxidation process, nitrides are colored in light yellow color, and a eutectoid - in brown-violet.

In the manufacture of metallographic specimens, bias of surface is possible.

Therefore, samples are produced by fixing them in clamps with gaskets from a polyvinylchloride film. At the same time, it is possible to provide rigid contact of a sample with a mandrel and to prevent a bias of the edge of the sample.

Proceeding from the material explained in Chapter 2, it is possible to tell that the equipment used for the experiments, research techniques, measurements, preparation of samples surfaces are of high level; they are not outdated, which allows us to carry out research at appropriate level and to report correct results.

Besides, the quality of the nitrated layer significantly depends on the value of the initial roughness of a surface.

By means of the equipment described in Chapter 2, the processes of hydrogen-free nitriding of steel products in arc discharge plasma of low pressure are examined. The obtained samples were used to examine microhardness, an optical microscope was used to study the microstructure of a cross-section metallographic sample.

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.
15. 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. Коротаяев 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.
18. 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.

19. 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.
20. I.M. Goncharenko, S.V. Grigoriev, I.V. Lopatin et.al. Surface modification of steels by complex diffusion saturation in low pressure arc discharge. *Surf. Coat. Technol.*, 169-170(2003), p.419-423.
21. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976, 102с.
22. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. Васьулъ Х.: Пер. с нем.– М.: Металлургия, 1988.– 320 с.
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. Fernsler, 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. Коротяев 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.

