

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние ионной бомбардировки на формирование поверхностных слоев при азотировании в безводородной плазме газового разряда

УДК 537.57:533.9:621.793.184

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Махмудалиев Абдубанноб Рахмонали угли		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

15.04.01 «Машиностроение»

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Е.Н.

Коростелева

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Махмудалиеву Абдубаннобу Рахмонали угли

Тема работы:

Влияние ионной бомбардировки на формирование поверхностных слоев при азотировании в безводородной плазме газового разряда

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Образцы сталей 40X13 и 40X в состоянии поставки и из марки 40X после закалки
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Классификация, свойства ионно-плазменного азотирования в газовом дуговом разряде и актуальность работы и постановка задачи; 2. Методика эксперимента; 3. Исследование параметров азотированных слоев и определение оптимальных режимов азотирования в диапазоне температур 200 – 520 °С; исследование физико-механических характеристик полученных при разных режимах азотирования; заключение.
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Е.В.
Социальная ответственность	Раденков Т.А.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Демьяненко Н.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Основная часть, Литературный обзор, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», Социальная ответственность – русский язык	
На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:	
Литературный обзор	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Махмудалиев А.Р.		

Реферат

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав (разделов), заключения и из 33 источников литературы, 1 приложение. Работа оформлена в текстовом редакторе Word 2010 и содержит 130 страниц основного текста, 32 рисунка, 24 таблиц.

Ключевые слова: вакуум, азотирование, температура, вакуумно-дуговой, разряд ионно-плазменная обработка, диффузионный слой, шероховатость, закаленная сталь, высоколегированная сталь, твёрдость.

Данная работа включает в себя экспериментальные сведения об упрочнении сталей в газоразрядной плазме в вакууме. Рабочей средой является чистый азот, не содержащий в качестве добавки водорода, как это бывает в известных способах ионно-плазменной обработки. Описана технологическая установка для получения азотированных слоев, исследованы параметры нескольких режимов процессов и получены экспериментальные данные по упрочнению. При получении азотированных слоев на подложку подавалось напряжение смещения, которое позволило распылять оксидные пленки на поверхности образцов, обеспечивая упрочнение деталей в газоразрядной плазме в среде, не содержащей водорода.

Цель настоящей работы – комплексное изучение процессов ионно-плазменного азотирования сталей в условиях ионной бомбардировки различной интенсивности. Выявление тенденций в морфологии, структуре и механических свойствах поверхностей стальных образцов после такого вида упрочнения.

Для достижения указанной цели в представленной работе проводили комплекс экспериментальных исследований как в области изучения газовых разрядов в вакууме, так и материаловедческая аттестация поверхностей сталей в зависимости от параметров обработки при помощи азотирования.

В результате получены экспериментальные данные по измерениям твердости и фотографии образцов, отражающие морфологию и структуру поверхностных слоев азотированных сталей.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения

ХТО - Химико-термическая обработка

ПИИИ - Глазменной иммерсионной ионной имплантацией

КПД - Коэффициент полезного действия

ПИНК - Плазменный источник с накаливаемым катодом

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты

1. ГОСТ 9450-60 Металлы. Метод испытания на микротвердость вдавливанием алмазной пирамиды.
2. ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.
3. ГОСТ 9377-63 Наконечники алмазные к приборам для измерения твердости металлов и сплавов.
4. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики (с Изменениями N 1, 2).
5. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением N 1).
6. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
7. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2).
8. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1).
9. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1).
10. СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
11. СНиП 2.01.02.-85 Противопожарные нормы.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	11
ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ	13
1.1 Основные технические способы упрочнения стальных деталей.....	13
1.1.1. Термообработка металлов.....	14
1.1.2. Химико-термическая обработка.....	15
1.1.3. Вакуумные ионно – плазменные методы обработки материалов.....	16
1.2. Основные виды и технологии азотирования сталей.....	18
1.2.1. Азотирование сталей.....	19
1.2.2. Основные виды азотирования.....	22
1.3. Азотирование в газовых электрических разрядах	25
1.4. Свойства азотированных материалов и изделий.....	26
1.5. Постановка задач исследования.....	30
ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АЗОТИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ	31
2.1. Оборудование для азотирования сталей в дуговом разряде.....	31
2.2. Материалы для исследования.....	33
2.3. Методика измерения микротвердости.....	35
2.4. Определение шероховатости поверхности.....	36
2.5. Метод оптической металлографии.....	39
2.6. Описание процесса подготовки образцов для экспериментов.....	40
2.7. Физико-механические параметры исходных образцов.....	43
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕЖИМОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ	46
3.1. Азотирование экспериментальных образцов в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда	46
3.2. Особенности упрочнения сталей в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=90A$	49
3.3. Особенности упрочнения сталей в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=60A$	50

3.4.	Особенности упрочнения сталей в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=30A$	52
3.5.	Особенности упрочнения сталей в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=10A$	53
3.6.	Исследований морфологии поверхности азотированного слоя закаленной стали 40X полученных при разных режимах азотирования.....	55
3.6.1.	Морфология поверхности образцов, изготовленных из закаленной стали 40X после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда при токе $I=90A$ и температуре $520^{\circ}C$ в течение 120 мину.....	55
3.6.2.	Морфология поверхности образцов, изготовленных из закаленной стали 40X после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда при токе $I=60A$ и температуре $400^{\circ}C$ в течение 120 минут.....	58
3.6.3.	Морфология поверхности образцов, изготовленных из закаленной стали 40X после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда при токе $I=30A$ и температуре $300^{\circ}C$ в течение 120 минут.....	60
3.6.4.	Морфология поверхности образцов, изготовленных из закаленной стали 40X после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда при токе $I=10A$ и температуре $200^{\circ}C$ в течение 120 минут.....	63
3.7.	Физико-механические характеристики экспериментальных образцов после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда.....	66
Вывод к главе 3		71
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ		72
4.1.	Предпроектный анализ.....	72
4.1.1.	Потенциальные потребители результатов исследования.....	72
4.1.2.	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	74
4.2.	SWOT-анализ.....	75
4.3.	Инициация проекта.....	78
4.3.1.	Организационная структура проекта.....	79
4.4.	Ограничения и допущения проекта.....	80
4.4.1.	Бюджет научного проекта.....	81
4.4.2.	План проекта.....	83

4.4.3.	Отчисления на социальные нужды.....	84
4.4.4.	Затраты на электроэнергию.....	84
4.4.5.	Затраты на водоснабжение.....	85
4.4.6.	Затраты на водоотведение.....	85
4.4.7.	Полная смета затрат на выполнение НИР.....	85
4.4.8.	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	86
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ		88
5.1.	Производственная безопасность.....	88
5.1.1.	Анализ производственных факторов, возникающих при проведении исследований.....	89
5.1.2.	Микроклимат.....	89
5.1.3.	Вредные вещества.....	91
5.1.4.	Производственный шум.....	91
5.1.5.	Освещенность.....	93
5.1.6.	Факторы электрической природы.....	95
5.1.7.	Электробезопасность.....	97
5.2.	Экологическая безопасность.....	98
5.2.1.	Региональная безопасность.....	98
5.2.2.	Защита атмосферы.....	99
5.3.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	100
5.3.1.	Факторы пожарной и взрывной природы.....	100
5.4.	Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	104
5.4.1.	Организационные защитные мероприятия.....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....		108
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....		109
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....		110
ПРИЛОЖЕНИЯ А.....		114

ВВЕДЕНИЕ

Большое количество деталей и механизмов машин работают в различных средах, что приводят детали и механизмы к коррозии, которая начинается с поверхности. Поэтому для повышения надежности и долговечности различных деталей и механизмов в агрессивных средах, нужно упрочнять в большинстве случаев лишь поверхностные слои.

Из множеств количеств методов упрочнения поверхностного слоя широко используется метод химико-термической обработки (ХТО). В настоящее время накоплен большой опыт по применению различных методов химико-термической обработки (ХТО) материалов, когда поверхностные слои металлов подвергают диффузионному насыщению элементами внедрения, в результате которого на поверхности изделия образуется новый, отличающийся от сердцевины слой[5].

Различают несколько видов химико-термической обработки, в зависимости от среды, в которой нагревается изделие. Наиболее распространёнными из них в промышленности являются: цементация, борирование азотирование и цианирование.

Азотирование — это технологический процесс ХТО, при котором в специальной азотирующей среде поверхность различных сплавов или металлов насыщают азотом. Настоящее время к деталям и механизмам машин все больше внимание уделяют на надежность и долговечность. При азотировании увеличиваются твердость и износостойкость. А также повышается коррозионная стойкость.

Среди известных методов азотирования на сегодняшний день наиболее распространенный является метод азотирования в тлеющем разряде, несмотря на достаточно свою простую реализацию и не дорогие оборудование данный метод обладает некоторыми технологическими недостатками которые требуется усовершенствовать, то есть изменить. Хотелось бы сократить длительность процесс место 30 часов хотя бы раза 3;

увеличить температурный диапазон в тлеющем разряде, обычно составляет 500-550 С, что не допустимо для стали закалочной структуры и низкой температуры отпуска и все процессы азотирования в тлеющем разряде оснащены газовыми средами содержащими водорода это может быть диссоциированный аммиак или смеси азота с углеводородами что доставляет достаточно большие хлопоты при использовании данного метода, поэтому в идеале желательно имеет метод ионного азотирования работающим только на чистом азоте.

В настоящей работе приводятся результаты исследования условий формирования упрочненных азотированных слоев в легированных сталях 40Х и 40Х13 при обработке в безводородной плазме сильноточного газового разряда.

ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ.

Задача уменьшения интенсивности изнашивания стальных деталей и увеличения срока службы была и остается одной из главных задач металлообработки. Существует ряд технологических способов обработки сталей и чугунов, позволяющих значительно увеличить износостойкость деталей, наиболее прогрессивными и эффективными из которых являются методы упрочнения поверхностных слоев готовых изделий. Мировой опыт показывает, что для повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости сталей и сплавов экономически целесообразно применение азотирования. Одним из наиболее перспективных видов данного метода является ионно-плазменное азотирование. При азотировании в тлеющем разряде обязательно должна использоваться газовая смесь водорода и азота, что исключает возможность целенаправленно управлять формированием рабочих слоев по структуре и свойствам. Кроме того возникают определенные проблемы по обеспечению техники безопасности и экологической обстановки. Поэтому разработка новых источников генерации активного азота для интенсификации процесса азотирования стали в средах, не содержащих водорода для современного машиностроения вполне актуальна[14].

1.1. Основные технические способы упрочнения стальных деталей

Большое количество деталей машин работает в различных (в том числе 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. Для повышения надежности и долговечности, стойкости детали машин в агрессивных средах можно достаточно упрочнять лишь поверхностные слои. Изменить свойства поверхности в необходимом направлении можно различными способами[3].

Методов по упрочнению стальных деталей существует большое количество. Среди них наиболее известны следующие: термообработка металлов, поверхностная закалка, поверхностное упрочнение пластическим деформированием, наплавка, напыление покрытий (тонких пленок) в вакууме, способы химико-термической обработки, к которым относится и азотирование.

1.1.1. Термообработка металлов

Термической обработкой (термообработкой) называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых металлов и металлических сплавов.

Термообработку проводят с целью изменения структуры и соответственно свойств металлов и сплавов в заданном направлении. Термическая обработка применяется для целенаправленного изменения фазового состава и перераспределения компонентов, размеров и формы кристаллических зерен, морфологии дефектов, их концентрации и распределения, что позволяет, в конечном счете, достаточно легко получать требуемые свойства материалов[5].

Задачами термической обработки являются ликвидация внутренних напряжений в металлах и сплавах, улучшение обрабатываемости резанием или давлением, повышение механических и эксплуатационных свойств и др.

Термическая обработка включает в себя следующие основные виды:

1. Отжиг 1-го рода - включает в себя гомогенизационный (диффузионный) отжиг, рекристаллизационный отжиг, отжиг для снятия напряжений;
2. Отжиг 2-го рода – подразделяют на полный отжиг, неполный отжиг, изотермический отжиг, сфероидизацию, нормализацию;
3. Закалка - применяется для получения максимальной твердости, прочности и износостойкости изделий;

4. Отпуск - проводят для приведения закаленного сплава в более устойчивое структурное состояние, снятия внутренних напряжений, повышения вязкости и пластичности[5].

Нормализация несколько выпадает из общей классификации, т.к. имеет особенности при применении к сталям разной степени легированности. Все виды термической обработки отличаются друг от друга температурой нагрева, продолжительностью выдержки при этой температуре и скоростью охлаждения по окончании выдержки.

1.1.2. Химико-термическая обработка

С целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя металла или сплава широко используют химико-термическую обработку (ХТО)[2]. ХТО сочетает термическое и химическое воздействие и заключается в поверхностной обработке материалов с целью повышения их долговечности, жаростойкости, коррозионной стойкости, твердости и других полезных свойств. Частое применение и развитие в практике получили методы диффузионного насыщения обрабатываемой поверхности.

Процессы легирования относятся к методам диффузионного насыщения, в основе которых лежит насыщение поверхности обрабатываемого металла другими химическими элементами (например, алюминием, цинком, хромом, азотом и др.). По мере накопления атомов диффундирующего элемента, на поверхности насыщения возникает диффузионный поток от поверхности вглубь обрабатываемого металла, причем процесс возможен только при выполнении условия растворимости диффундирующего элемента в обрабатываемом металле и при достаточно высокой температуре, которая обеспечивала бы необходимую энергию атомов. Развитие процесса диффузии приводит к образованию диффузионного слоя, под которым понимают слой материала детали у поверхности насыщения, отличающийся от исходного по химическому

составу [1]. Концентрация диффундирующего элемента на поверхности зависит от активности насыщающей среды и скорости диффузии атомов с поверхности вглубь металла. При чрезмерно высокой скорости подачи атомов из насыщающей атмосферы, возможно выделение на обрабатываемой поверхности диффундирующего элемента, что препятствует дальнейшему насыщению[1].

На сегодняшний день известно множество методов, основанных на явлении диффузионного насыщения. Такие процессы как алитирование, силицирование, хромирование, борирование, титанирование, цинкование и другие заключаются в диффузионном насыщении поверхности алюминием, кремнием, хромом, бором, титаном и цинком соответственно. Причем легирование, например, стали большим количеством элементов, при их малом содержании, гораздо эффективнее влияет на ее свойства, чем легирование одним или двумя элементами в их большом количестве [2]. Процесс диффузионного насыщения может осуществляться различными способами: насыщение из порошковых смесей, суспензий и паст, расплавов металлов и солей, с использованием вакуума и в дуговых разрядах, а также легирование лазерным лучом и электронным пучком.

1.1.3. Вакуумные ионно – плазменные методы обработки материалов

Наиболее удобными, часто применяемыми и хорошо изученными методами вакуумной ионно – плазменной обработки поверхности являются напыление тонких пленок на поверхности материалов, а также модификация поверхностей путем диффузионного насыщения (в частности, азотированием).

Широкое промышленное применение получили процессы нанесения покрытий испарением в вакууме с использованием дуговых разрядов. Нанесение покрытий основано на способности атомов металла, нагретых до температуры испарения, в условиях высокого вакуума перемещаться прямолинейно [3]. Процесс нанесения покрытий может быть разделен на

два этапа: испарение материала в вакууме и конденсация его на подложке с образованием пленки конденсата. Сам процесс движения атомов или молекул пара характеризуется степенью вакуума. Известно, что при низком вакууме происходит большое количество столкновений атомов испарившегося материала как друг с другом, так и с молекулами остаточного газа, что приводит к потере их первоначального направления движения и оседанию атомов испарившегося газа на стенки рабочей камеры. В высоком же вакууме испарившиеся частицы летят независимо друг от друга без взаимных столкновений, не изменяя своего направления, до поверхности подложки. На процесс формирования покрытия и его свойства в дальнейшем большое влияние оказывает множество факторов: параметры плазмы, генерируемой при электродуговом распылении материала катода; параметры газовой плазмы, образующейся при ионизации инертного рабочего газа; параметры электропитания подложки (ток, напряжение и т.д.). Существенное влияние на формирование покрытий оказывает температура подложки и степень ее очистки перед нанесением покрытия. Так, при достаточно низкой температуре подложки, долетевшие атомы испарившегося материала могут осесть на образец, а могут отразиться от него и улететь. Отношение числа молекул, сконденсировавшихся на подложке, к числу молекул, ударившихся об нее, называется коэффициентом аккомодации, который существенно уменьшается с повышением температуры подложки.

Использование покрытий даёт возможность объединять свойства двух и более материалов (подложки и покрытия) с получением композитов, обладающих характеристиками, которые не могут быть получены при использовании одного материала. Как уже упоминалось выше, большое влияние на полученные в результате обработки покрытия оказывает качество предварительной подготовки образца, которая включает в себя шлифовку, полировку, промывку в органических растворителях. В случае плохой подготовки образца получают низкую адгезию между подложкой и

покрытием, что может привести к его отслаиванию или разрушению при эксплуатации. Процесс получения конденсированных покрытий является достаточно перспективным. Он осуществляется, главным образом, вакуумно – плазменным методом, который, однако, неудобно использовать для защитных деталей, имеющих наружные поверхности сложных конфигураций, кроме того, также невозможно обрабатывать внутренние поверхности полых изделий и сложно обеспечить однородную по всей поверхности адгезию [9]. Поэтому, с целью преодоления указанных выше ряда трудностей, в качестве альтернативы покрытиям видится рациональным использовать и развивать методы диффузионного насыщения при повышенных температурах поверхности деталей и изделий различных типов сталей. К данным методам относится и процесс азотирования.

1.2. Основные виды и технологии азотирования сталей

Азотирование является одним из наиболее известных и распространенных способов поверхностного упрочнения стальных деталей на современных промышленных производствах. Процесс азотирования основан на диффузионном насыщении поверхности обрабатываемого изделия азотом, что очень сильно повышает твердость поверхностного слоя, его износостойкость, предел выносливости и сопротивление коррозии в таких средах как атмосфера, вода, пар и др. [4]. При азотировании металла образуются многослойные диффузионные слои, состоящие из поверхностной нитридной зоны и диффузионного подслоя – зоны внутреннего азотирования. Структура слоя и его фазовый состав определяют эксплуатационные свойства азотированных изделий [10]. Важно, что размеры изделий после азотирования изменяются мало, а поэтому процесс проводят на готовых изделиях и считается финишной операцией. В установках российских производителей в качестве исходного

газа – источника молекулярного азота используется аммиак, который в диссоциаторе разлагается на смесь H_2+N_2 с соотношением водорода к азоту образовавшийся атомарный азот диффундирует в металл при температуре 500 – 600°C[10].

1.2.1. Азотирование сталей

Азотированию могут быть подвергнуты различные типы сталей: конструкционные, инструментальные, ферритные титановые, мартенситно – стареющие и др. Азотирование, например, инструментальных сталей, позволяет повысить их твердость в 1.5 – 2 раза, а наилучшее сочетание механических свойств достигается для этого типа стали при толщине азотированного слоя 0.01 – 0.025 мм, рекомендуемая температура составляет 510 – 520 °С, при продолжительности процесса 15 – 20 мин. При таком режиме азотирования образуется азотный слой с высокой твердостью HV 1340 – 1460 кгс/мм² [12]. В зависимости от размеров обрабатываемого изделия температура и продолжительность процесса могут варьироваться. Прочность и вязкость после азотирования снижаются с увеличением глубины диффузионного слоя.

Для изготовления различных деталей широко используется конструкционная сталь, упрочняемая азотированием. Данная сталь предварительно подвергается закалке и отпуску, чтобы избежать обезуглероживания, которое может привести к шелушению азотированной поверхности. Само азотирование проводят при температурах 500 – 520 °С, что при продолжительности процесса в 15 – 30 мин. позволяет получать слои с максимальной толщиной в 1.0 мм и поверхностной твердостью HV 1100 – 1200 кгс/мм²[14].

Процесс азотирования включает в себя:

1. Предварительная термообработка, состоящая из закалки высокого отпуска. Цель этой операции - получение повышенной прочности и ударной вязкости в сердцевине детали.

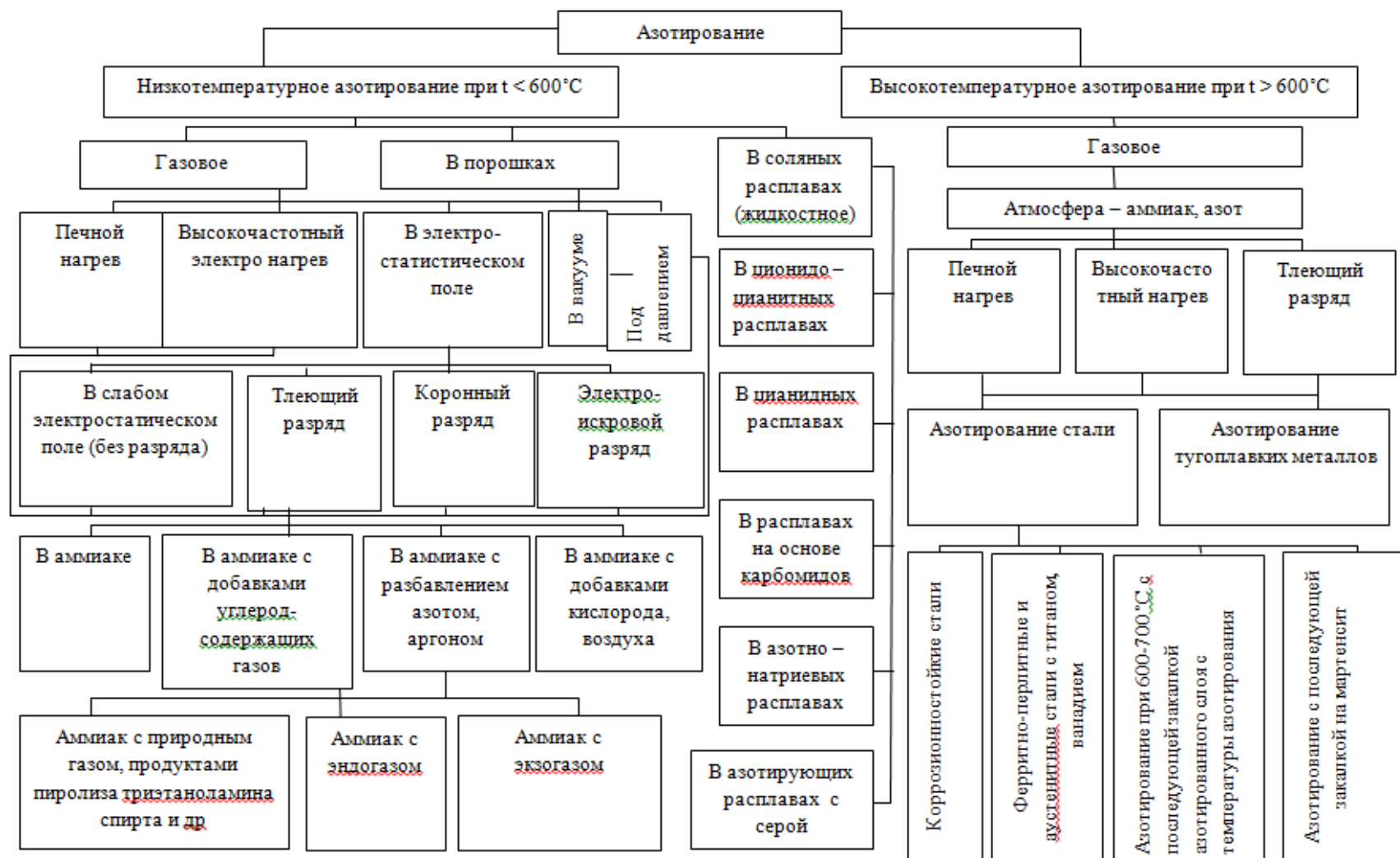
2. Механическая обработка, в виде шлифования, для получения окончательных размеров детали.
3. На участки изделия, которые не должны подвергаться азотированию, наносят тонкий слой жидкого стекла или олова для их защиты от диффузии азота.
4. Азотирование.
5. Окончательное шлифование или доводка размеров детали[14].

Азотирование, как и поверхностная закалка, создает увеличение удельного объема материала на поверхности, тем самым появляются высокие внутренние сжимающие напряжения. Данные напряжения значительно снижают растягивающие напряжения от внешней нагрузки при работе с изделием.

Данные, приведенные в табл. 1, характеризуют процессы азотирования, хорошо зарекомендовавшие себя в настоящее время и перспективные в будущем. Традиционные процессы — в соляной ванне и в газовой среде (в аммиаке) создают вполне определенный тип слоя (ϵ -нитриды). Однако они не в состоянии удовлетворить конкретные требования, предъявляемые к строению слоев в зависимости от условий работы деталей[33].

У процесса азотирования имеются недостатки, и главным из них является продолжительность процесса.

Таблица 1. Классификация процессов азотирования[32].



1.2.2. Основные виды азотирования

1. Газовое азотирование

Обогащение поверхностного слоя изделия проходит при температурах от 400 до 1200 °С, в зависимости от материала. Этот процесс происходит в диссоциированном аммиаке. Для регулирования механических и структурных характеристик слоя при газовом азотировании изделия применяют: двух-, трёхступенчатые температурные режимы насыщения; разбавление диссоциированного аммиака: воздухом, реже водородом[25].

2. Жидкостное азотирование

Часто можно встретить проведение процесса азотирования в жидких средах (тенифер-процесс) [4]. Процесс проводят при 570 °С в течение 0.5 – 3 ч в расплавленных цианистых солях. Соли расплавляются в тигле из титана. Вследствие низкой температуры в сталь диффундирует, в основном, азот, который образуется при разложении цианистых солей. В результате обработки на поверхности стали образуется тонкий (~ 7 – 15) мкм карбонитридный слой $Fe_3(N,C)$. Этот слой не склонен к хрупкому разрушению и обладает высоким сопротивлением износу. Твердость слоя на углеродистых сталях составляет HV 300 – 350 кгс/мм², а на легированных – HV 600 – 1100 кгс/мм². Достоинством метода является незначительное изменение размеров, недостатком – токсичность и высокая стоимость цианистых солей[4].

3. Азотирование из растворов электролитов

Использование анодного эффекта для диффузионного насыщения обрабатываемой поверхности азотом в многокомпонентных растворах электролитов, один из видов скоростной электрохимико-термической обработки (анодный электролитный нагрев) изделий малых размеров. Анод-деталь при наложении постоянного напряжения в диапазоне от 150 до 300 В разогревается до температур 450-1050 °С. Достижение таких температур

обеспечивает сплошная и устойчивая парогазовая оболочка, отделяющая анод от электролита. Для обеспечения азотирования в электролит кроме электропроводящего компонента вводят вещества-доноры, обычно нитраты[19].

4. Ионно-плазменное азотирование

Процесс обогащения изделий в вакууме, содержащем азот (около 0,01 атм.), в котором возникает тлеющий электрический разряд. Объектом с зарядом «плюс» являются стенки камеры установки, а объектом с зарядом «минус» - детали, подвергаемые азотированию. Для регулирования механических и структурных свойств поверхностного слоя изделия применяют (в различных этапах процесса): изменение расхода азота, изменение плотности тока, изменение степени разряджения, добавки к азоту особо чистых технологических газов, метана, кислорода, водорода, аргона[18].

5. Азотирование в тлеющем разряде

Для улучшения обогащающей способности ионами газа среды в основном используют различные виды газовых разрядов, например ионно-плазменное азотирование в тлеющем разряде, которое является самым распространенным методом в промышленном производстве. Тлеющий разряд формируется при низких давлениях газа с новым потенциалом тока, и при увеличении потенциала тлеющий разряд формируется в дуговой.

Суть метода содержится в следующем: Сущность метода: в разреженной азотосодержащей атмосфере между катодом (изделием) и анодом (стенки камеры установки) образуется тлеющий разряд, и ионы газа, бомбардируя поверхность катода, нагревают ее до температуры насыщения. Температура азотирования 470—580 ° С, разрежение 1—10 мм рт. ст., рабочее напряжение колеблется от 400 до 1100 В, продолжительность

процесса составляет от нескольких минут до 24 ч. Пониженное давление необходимо для стабильного горения тлеющего разряда[6].

6. Азотирование в дуговом газовом разряде в среде, в которой отсутствует водород.

В настоящее время на установках для азотирования, работающих на тлеющем разряде, используют, как правило, газовую смесь водорода и азота.

Традиционный метод ионного азотирования, в тлеющем разряде азот-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[6]. 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 низковольтный газовый разряд, работающий при давлениях насыщающей среды в тысячу раз меньших, чем у тлеющего разряда и позволяющий сформировать диффузионные слои при температуре обрабатываемых деталей 550 °С за 5-6 часов. Водород, являясь хорошим восстановителем, оказывает существенное влияние на кинетику формирования азотированного слоя, интенсифицируя процесс. Однако, как отмечалось ранее, присутствие водорода в насыщающей среде в значительных количествах вызывает охрупчивание поверхности (особенно острых кромок) и разупрочнение основы, что в определенных условиях ведет к снижению прочности и долговечности элементов конструкций. Добавка аргона в водородосодержащую насыщающую среду способствует повышению пластичности азотированного слоя. Замена водорода аргоном в насыщающей среде (смесь азота и аргона) исключает водородное охрупчивание

азотированного слоя, но при этом меняется энергетика процесса ионного азотирования[7].

1.3. Азотирование в газовых электрических разрядах

Электрический разряд в газах - явление сложное и многофакторное, в связи, с чем отсутствие единой количественной теории всех его видов вполне понятно. Известно, что в обычных условиях концентрация носителей заряда в газе (ионов и электронов) невелика, поэтому газ и является хорошим диэлектриком. Под действием внешнего ионизатора возникает самостоятельный разряд, существование которого зависит от действия ионизатора. Причиной увеличения тока в этом разряде является ионизация молекул газа электронами, которые в этих условиях приобретают энергию, необходимую для ионизации нейтральных частиц под действием сил электрического поля, что, в свою очередь, приводит к появлению вторичных электронов, которые, также ускоряясь между электродами, участвуют в дальнейшей ионизации электрически нейтральных частиц[16]. Ионизацией атомов и молекул газа называется процесс, в результате которого возникает и увеличивается свободный заряд ядра электрически нейтральных частиц. В простейшем случае ионизация - это расщепление атома на положительный ион и один или несколько свободных электронов.)[21]. В результате такой ионизации возникает лавинообразно нарастающий поток электронов, что приводит к значительному увеличению тока между электродами. Это явление получает развитие при весьма высокой разности потенциалов, например в воздухе при атмосферном давлении ~ 100 В/м. Ионизацию в этих условиях, сопровождающуюся свечением газа, называют зажиганием газового разряда, или пробоем газового промежутка, а разряд, формирующийся при этом, является самостоятельным разрядом. Напряжение на электродах, необходимое для пробоя газа, называется напряжением зажигания разряда, а напряжение, установившееся на электродах после

пробоя, - напряжением горения разряда, которое в результате описанного явления имеет меньшее значение[21].

Известны различные формы самостоятельного разряда, отличающиеся как внешним видом, так и характером протекающих при этом элементарных процессов [11]. При коронном разряде возбуждение и ионизация нейтральных частиц происходят лишь в узкой области вблизи электрода, а в остальной части газоразрядного промежутка существует несамостоятельный разряд. Искровой разряд возникает при высоком давлении газа (порядка атмосферного и выше), большом расстоянии между электродами и высоковольтном, но маломощном источнике электропитания. При сравнительно малом сопротивлении внешней цепи формируются тлеющий или дуговой разряды. Это зависит от значения этого сопротивления и давления газа. Тлеющий разряд может самопроизвольно перейти в дуговой при соответствующем повышении давления газа или плотности тока (т.е. мощности разряда).

1.4. Свойства азотированных материалов и изделий

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[22].

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[17].

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 [3].

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[8]. При этом шероховатость поверхности после ионного азотирования сохраняется такой же, какой была до обработки.

Приведенные данные позволяют рекомендовать ионное азотирование для окончательной обработки деталей, при этом исключается трудоемкая финишная операция шлифования, при котором удаляется часть азотированного слоя, что часто нежелательно.

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

В первой главе данной работы были рассмотрены различные способы ХТО, но так как выбор пал на исследование дугового разряда, то хотелось бы привести достоинства и недостатки других методов по отношению к способу азотирования сталей в безводородной газовой среде низкого давления. Лазерное азотирование, достоинства: высокая твердость и толщина азотированного слоя; недостатки: полностью изменяется микроструктура азотированного слоя и значительно увеличивается шероховатость, неравномерный нагрев увеличивает вероятность образования поверхностных микротрещин, низкий КПД и высокая стоимость лазерного оборудования. Имплантация ионов азота, недостатки: трудности обработки сложнопрофильных деталей, а также высокая сложность и дороговизна ионных источников и высоковольтного оборудования[17]. 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 [26], 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[26]. Единственный из всех этих методов, который на данный момент внедрен в промышленность – азотирование в тлеющем разряде. Но у него тоже имеется ряд недостатков, таких как применение в ходе процесса водорода и аммиака, высокая длительность процесса. В сравнении с этими методами наиболее перспективным выглядит азотирование в дуговом разряде. Рабочим газом здесь является чистый азот, что исключает проблемы связанные с экологией и взрывоопасностью, для получения слоя той же толщины что и при азотировании в тлеющем разряде за 24 часа, необходимо в 6-8 раз меньше

времени (3-6 часов). Однако имеются ограничения связанные с габаритами азотируемых деталей.

1.5. Постановка задач исследования

Проанализировав все плюсы и минусы метода азотирования в дуговом разряде, для успешного внедрения его в производство были сформулированы следующие цели и задачи работы:

Целью данной работы является экспериментальное подтверждение целесообразности применения плазмы низковольтного разряда для интенсификации процесса азотирования сталей в азотной газовой среде, не содержащей водорода. В частности, представляли интерес вопросы по изучению влияния ионной бомбардировки при разных значениях тока разряда на интенсивность формирования диффузионного слоя, на эволюцию морфологии обрабатываемых поверхностей и на степень упрочнения.

Для достижения поставленной цели был выделен **ряд задач**:

- экспериментально исследовать физические процессы и явления, происходящие с образцами сталей при обработке в газоразрядной безводородной плазме;
- исследовать влияние основных технологических параметров на изменения структуры, морфологии и механических свойств на поверхностях стальных образцов.

ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АЗОТИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Данная глава посвящена описанию оборудования, на котором проводились эксперименты. Обоснованы причины выбора материала для образцов в данной работе. Описаны методики анализа результатов.

2.1. Оборудование для азотирования сталей в дуговом разряде

Эксперименты по азотированию проводились в плазме дугового разряда низкого давления проводилось на модернизированной вакуумной ионно-плазменной технологической установке типа ННВ 6.6 – И1. Основными элементами установки являются, расположенные на боковых поверхностях камеры типовой электродуговой испаритель и плазмогенератор “ПИНК”. С помощью плазмогенератора в рабочей камере создается дополнительная газоразрядная низкотемпературная плазма, в которой производится обработка образцов, а дуговой испаритель применяется для испарения металла в вакууме. Титан чаще всего используется для материала катодов в электродуговых испарителях[20]. В качестве материала можно применяют циркония, вольфрама, хрома, молибдена, ниобия, графита и других материалов. Внутренние стенки вакуумной камеры, изготовленные из нержавеющей стали и служат анодом. В центре вакуумной камеры на изолированном токовводе располагается держатель с образцами. Вакуумная откачка происходит в автоматическом режиме. Используется насосы: форвакуумный и турбомолекулярный. Через токоввод на образцы подается регулируемое отрицательное напряжение смещения величиной от 0 до – 1000 В, благодаря которому происходит доускорение ионов в слое пространственного заряда, образующемся вблизи поверхности образцов. В качестве рабочего газа используется азот. В держатель встроена термопара, которая позволяет измерять среднюю температуру образцов в процессе проведения технологического цикла. При наблюдении температуры

термопарами, нужно исключить влияние электрического поля разряда на показания термопары. Спай термопары вставляют в отверстие детали в кварцевом чехле или зачеканивают в глухое отверстие контрольного образца, который обеспечивает отсутствие электрического контакта термопары с поверхностью изделия[15].

Внешний вид установки приведен на рисунке [2.1.1.]



Рис.2.1.1. Экспериментальная вакуумная ионно-плазменная установка типа ННВ 6.6 – И1.

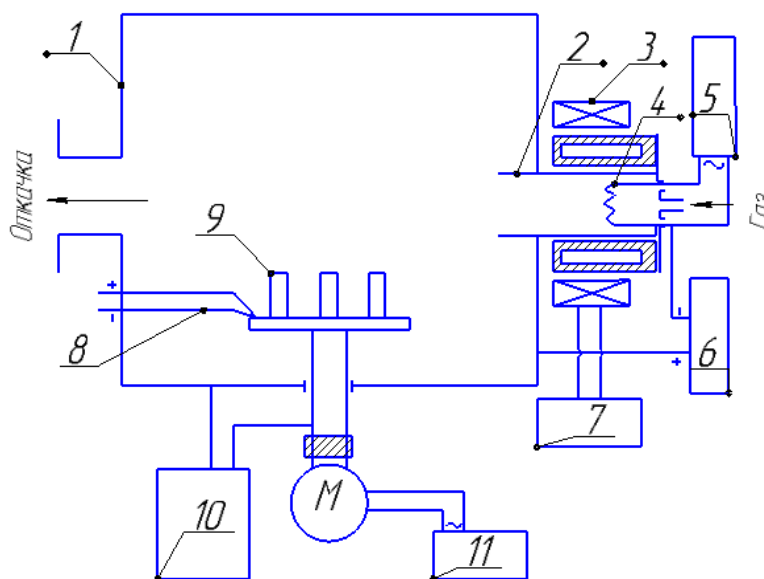


Рис.2.1.2.Блок-схема модернизированной установки для азотирования.

На рис.2.1.2. Изображена блок-схема, которая состоит:

- 1 – Вакуумная камера;
- 2 – Полюс катод;
- 3 – Магнитная катушка;
- 4 – Нить накала;
- 5 – Блок питания накала;
- 6 – Блок питания дугового разряда;
- 7 – Блок питания магнитной катушки;
- 8 – Термопара;
- 9 – Образцы;
- 10 – Блок питания напряжения смещения;
- 11 – Блок питания привода стола.

Свойства азотированных покрытий исследовали широким набором современных методик. Морфологию поверхности и структуру образцов наблюдали с помощью сканирующего электронного микроскопа, оптических приборов и измерительной установки высокого разрешения “Micro Measure 3D station”.

2.2 Материал для исследования

В качестве материалов для приготовления образцов на котором планировалось наносить экспериментальный азотированный слой, было применена сталь 40X и 40X13. Данные марки стали были выбраны в связи с ее широким применением в различных отраслях машиностроения и не являются дефицитными с оптимальной рыночной стоимостью.

Химический состав и свойства сталей 40X и 40X13 в % [24]

Марка 40X является конструкционно легированной сталью. Которая в дополнение к обычным предпосылкам в своем составе имеет в определенных количествах специально введенные элементы, которые предназначены для обеспечения специально определенных свойств. В состав с данной марки

стали входят следующие основные элементы: С-0,4%, Cr-0,1% и Fe-97%. Хром используется в качестве легирующего элемента. Это говорит соответствующая маркировка.

В качестве заменителя для стали 40Х могут быть использованы стали: 38ХА, 40ХР, 45Х, 40ХС, 40ХФ, 40ХН.

Вес удельный : 7820 кг/м³

Твердость материала: составляет - 260 НВ кг/мм² ;

Температура критических точек: Ас1 = 743 , Ас3(Асm) = 815 ,
Ar3(Arcm)=730, Ar1 = 693

Склонность к отпускной хрупкости: склонна

Свариваемость: трудносвариваема.

Сталь 40Х расшифровка марки: Цифра 40 указывает, в объеме 0,4% содержится в стали углерод, а хром содержится 0,8 – 1,2 %.

Основными элементами Стали 40Х13 является: С-0,4%, Cr-13% и Fe-84%

Вес удельный: 7650 кг/ м³

Термообработка стали: Закалка 1030-1050 °С, воздух, нагрев 530 °С, 2ч

Температураковки, начинается при 1200 °С заканчивается 850 °С.

Сечение до 200 мм полвергается низкотемпературному отжигу.

Твёрдость материала: составляет 270 НВ кг/мм²

Температура критических точек составляет: Ас1 = 800 , Ar1 = 780

Обрабатываемость резанием: в закаленном и отпущенном состоянии при НВ 340 и σв = 730 МПа, К_υ тв. спл = 0,6, К_υ б.ст = 0,4

Свариваемость материала: не применяется для сварных конструкций

Жаростойкость: стойкая до температуры 600 - 650 °С

Применяется сталь 40Х13: для изготовления пружин работающих при температурах до 430-450, шариковые подшипники, рессоры[31].

2.3. Методика измерения микротвердости

Для предварительного определения отличий в свойствах у покрытий с нанокристаллической и микрокристаллической структурой одним из лучших и недорогостоящим методов является измерение микротвердости[13]. Метод определения твердости вдавливанием наиболее простой и распространенный вид механических испытаний материалов. В материал под действием нагрузки, которая действует некоторое время, вдавливается индентор или наконечник в форме пирамиды, конуса или шарика. В этом механическом испытание есть преимущество. Это преимущество по сравнению с другими видами: размер отпечатка очень маленькие, что ни как не портят поверхность изделия или детали; не нужно изготавливать специальные образцы для испытания. В настоящей работе использовался прибор ПМТ-3 для определения микротвердости. Этот метод дает довольно точные результаты измеренной микротвердости с погрешностью $\pm 30 \text{ кг/мм}^2$, по которым можно увидеть, что покрытия с различной структурой имеют иногда существенные различные значения микротвердости[29].

Прибор основан на давлении алмазного индентора Виккерса, который выполнен в виде четырехгранной алмазной пирамиды, под определенной нагрузкой (от 20 до 120 г.) в плоскую поверхность исследуемого образца и измерении полученной диагонали квадратного отпечатка. Время выдержки алмазной пирамидки 10—15 секунд. Величина микротвердости определялась как среднее из пяти замеров. Необходимо следить что при нанесении отпечатков, расстояние от края до начального отпечатка образца было бы не менее 1.5 его диагоналей. Между двумя отпечатками 2-4 диагоналей не менее большего из них[13].

Методика испытания на микротвердость описана в ГОСТ 9450-60. Алмазная пирамида одинаково при испытании на твердость по Виккерсу

(ГОСТ 2999-75), а точность изготовления пирамиды выше. При малых нагрузках отпечатках погрешность индентора более сильное сказываются на результаты эксперимента испытаний. Точность регламентируются ГОСТ 9377-63.

Перед испытании на микротвердость поверхность образца испытуемого и (1) поверхность алмазной пирамиды должны быть без смазки, то есть сухими. Определяется H (число твердости) как частное от деления P (нагрузки) на S (боковую площадь поверхность в мм^2) отпечатка в предложении, что углы данного отпечатка параллельно соответствуют углам пирамиды[13]:

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

$$H = \frac{P}{S} \quad (2)$$

$$S = \frac{d^2}{2\text{Sin}\frac{\alpha}{2}} = \frac{d^2}{2\text{Sin}68^\circ} = \frac{d^2}{1,854} \quad (3)$$

где α - угол между противоположными гранями пирамиды - 136° ;
 d - диагональ отпечатка;
 h – глубина отпечатка.

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

$$H_V = \frac{2P}{d^2} \text{Sin}\frac{\alpha}{2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (4)$$

где H_V – микротвердость по Виккерсу, кГ/мм^2 ;

P - нагрузка, в кГ ; d – среднеарифметическое значение в мм [13].

2.4. Определение шероховатости поверхности

Определения шероховатости поверхности для получения 3D-микрофотографий высокого разрешения является «*Micro Measure 3D station*» Установка является высокоточной измерительной. Исследование (в центре

коллективного пользования ТПУ) проводили изучение морфологических особенностей и шероховатости поверхности[21].

Micro Measure 3D station – трехмерный бесконтактный профилометр. Данное устройство используется для трехмерного измерения профиля поверхности изделий и материалов.

Это система обеспечивает:

- для измерения разных глубин прибор является - бесконтактные измерения с использованием набора компактных оптических датчиков;
- выбор несколько осей один, два или трех осей движения для точного сканирования и позиционирования поверхности исследуемого предмета;
- оптический метод измерений позволяет анализировать твердые и мягкие образцы, в том числе и оптически прозрачные;
- программное обеспечение позволяет производить сканирования поверхности при меняющихся: скорости, амплитуде, длине сканируемого участка и количестве измерений. Возможен расчет расстояний, площадей, объема. Благодаря своему небольшому размеру светового пятна, прибор идеален для измерения шероховатости.

Технические характеристики прибора

Размерность зоны для сканирования, мм	X=100,Y=100, Z=50
Размер шага (X и Y) минимальный, мкм	0,1
Перемещения по осям X и Y(скорость) мм/сек	15-20
С использованием различных сенсоров	(0-20)/0,001;
CHR150N2/разрешение по оси Z, мкм диапазон	(0-80)/0,003;
измеряемых глубин составляет	(0-300)/0,01

Качество поверхностного слоя определяется таких параметрах как, микроструктурой металла поверхностного слоя и шероховатостью поверхности и физико-механическим состоянием. На состоянию поверхностного слоя: контактную жесткость, прочность соединений, износостойкость, виброустойчивость и т.д. влияет эксплуатационные свойства деталей машин. Параметры и характеристики шероховатости поверхности установлены ГОСТ 2789-73.

Шероховатость поверхности определяем по ее профилю (рис.2.4.1.), 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} .

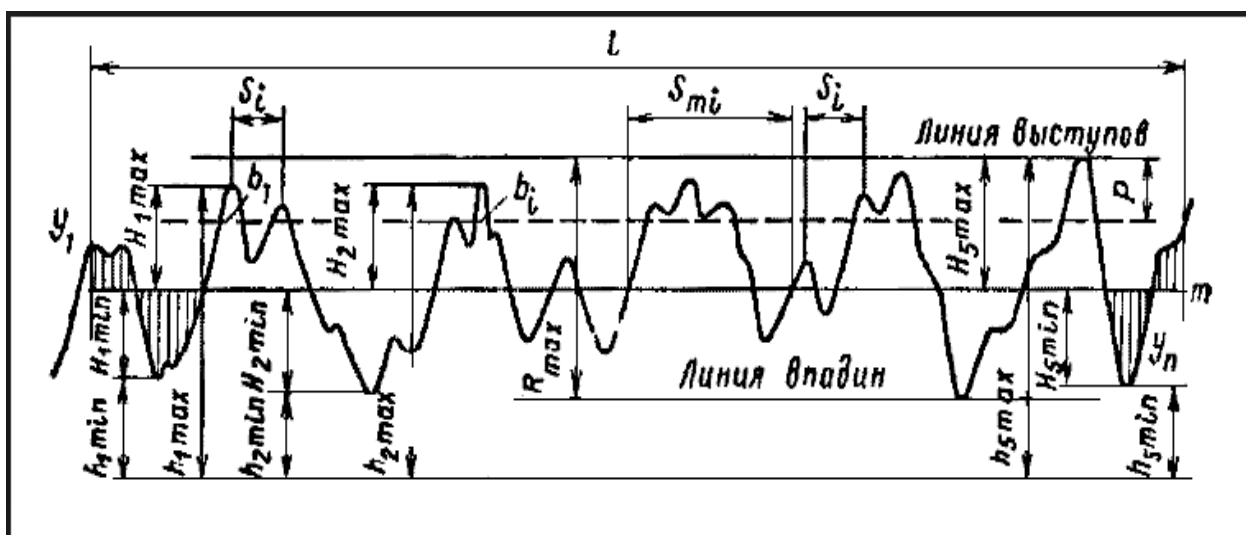


Рис.2.4.1. Профиль шероховатости и его характеристика

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

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

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[21].

В данной работе шероховатость определяли с помощью профилограмма. Все образцы прошли предварительную механическую обработку (шлифование и полировку) и очистку, тем самым, имея низкую шероховатость поверхности ($R_a \sim 0,03$ мкм)[21].

2.5. Метод оптической металлографии

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

Металлографический анализ заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа. В зависимости от требуемого увеличения, использование белого света и обычной оптической системы в микроскопах позволяет четко наблюдать все присутствующие фазы, их распределение и форму. Максимальная разрешающая способность оптической системы определяется из условий дифракции согласно уравнению[30]:

$$d = \lambda(2n * \sin \alpha/2) \quad (1)$$

где λ — длина волны излучения (для белого света 600 нм, для электронного пучка при ускоряющем напряжении 100 кВ — 0,0037 нм), n — коэффициент преломления, $\alpha/2$ — половина угла раскрытия входящего пучка. Общее увеличение микроскопа можно определить опытным путем с помощью объект-микрометра — линейки на которой нанесен 1 мм с

разбиением на 100 частей. В настоящей работе для наблюдения и фотографирования микроструктуры объектов применялись световой металлографический микроскоп ММР-4[30]. Для выявления структуры азотированных слоев сталей, травление поперечных шлифов осуществляли 4% - ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Существуют и другие методы исследования структуры, например метод избирательного окисления структурных составляющих при нагреве. Поперечные микрошлифы нагревают в атмосфере воздуха до 260°C [4]. В процессе окисления нитриды окрашиваются в светло-желтый цвет, а эвтектоид в коричнево-фиолетовый.

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

2.6. Описание процесса подготовки образцов для экспериментов

Образцы для экспериментов были изготовлены из стали 40X и 40X13 в виде шайб толщиной 8-10 мм и диаметром 20 мм. Поверхность образцов предварительно шлифуется и полируется. В результате должна получиться зеркальная поверхность, которая обеспечит корректность полученных измерений. Параметры такой поверхности, измеренные профилометром, представлены ниже.

В работе были использованы образцы 3-х групп с разными исходными свойствами. Из марок сталей 40X13, 40X в состоянии поставки и из марки 40X после закалки. Экспериментальные образцы изготовлены из стали 40X и 40X13 в виде шайб перед экспериментом подвергнем закалке. Для того чтобы определить температуру закалки стали, пользуясь для этого нижней частью диаграммы железо-цементит представленной на рис.(2.6.1.).

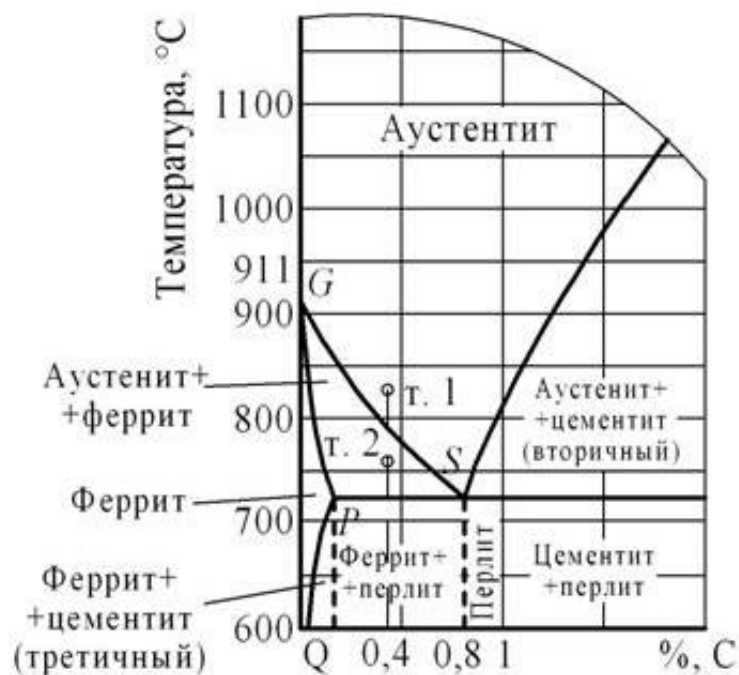


Рис.2.6.1. Диаграмма железо-углерод

Для среднеуглеродистых доэвтектоидной стали нормальной температурой закалки является температура на 30-50 °С выше линии GS. Закалку проводим при температуре 840 °С исходя из диаграммы железо-углерод. Время нагрева образцов вычисляем из расчета 1,5 мин. на 1 мм. диаметра или толщины образца. Таким образом, получается $1,5 \cdot 7 \approx 11$ минут[31].

Все образцы помещаем в печь, нагретую до температуры 840 °С и выдерживаем в печи 11 минут. При нагревании до температуры закалки образцов из стали 40Х исходная ферритная структура превратится в структуру аустенита. Вынимаем все образцы из печи и бросаем их в охлаждающую жидкость. Охлаждение образцов является наиболее ответственным этапом операции. Скорость охлаждения должна быть такой, чтобы обеспечить получение нужной структуры – мартенсита, троостита или сорбита. В нашем случае охлаждающей жидкостью является вода. При охлаждении в воде происходит распад аустенита с образованием мартенсита. Режим охлаждения должен также обеспечить необходимую глубину

закалённого слоя. На рис.(2.6.2.) приведены экспериментальные изображения структуры до закалки и после[31].

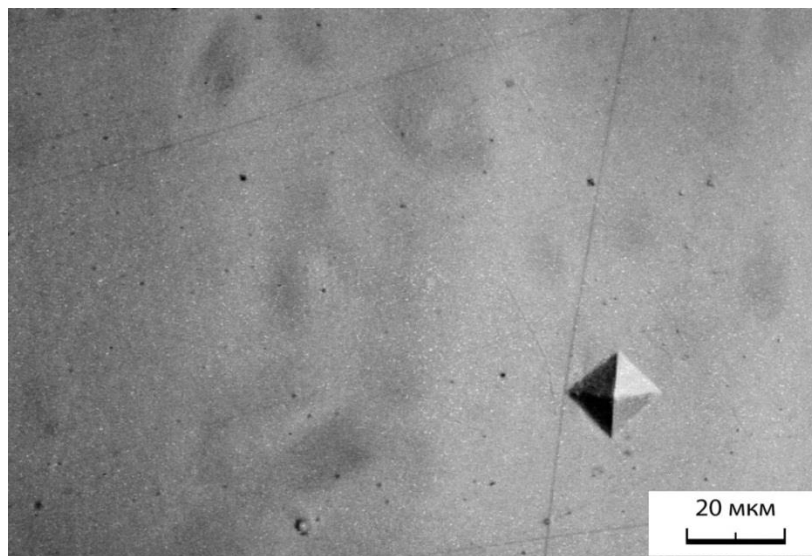


Рис.2.6.2. Изображение поверхности исходного образца, выполненного из стали 40Х, после закалки и механической полировки.

Таким образом была получена серия образцов имеющие закаленную структуру мартенсит и твердость по всему объему составила около 650 кг/мм². Но закаленные стали имеют плохую низкую коррозионную стойкость и для этого необходимо нанести на эти образцы азотированный слой для повышения антикоррозионной стойкости. Но при стандартном азотировании образцы имеют хорошую твердость, но снижается твердость сердцевины, что есть не очень хорошо. Так как если деталь ответственная, то она должна иметь не только хороший и высокий слой, но и твердость сердцевины не должна снижаться. Для этого проводим азотирование при разных температурах (200 °С; 300 °С; 400 °С; 500 °С) и при одно и том же промежутке времени (2 часа). Эти эксперименты дадут нам представления, при каких температурах и времени происходит азотированный слой и не снижается твердость сердцевины. В итоге мы сможем подобрать оптимальный вариант для азотирования с учетом всех недостатков[21].

2.7. Физико-механические параметры исходных образцов

Физико-механические характеристики исходной закаленной стали 40Х зависят от образующейся структуры в процессе термообработки.

Из литературы известно, что в закаленных углеродистых сталях кристаллы мартенсита имеют форму пластин или линз, а пересечение плоскости шлифа пластинами мартенсита придает последним вид игл (рис.2.7.1.). Различают крупноигльчатый мартенсит, который образуется в больших зернах аустенитами, как правило, в сталях с относительной низкой температурой. Есть и мелкоигльчатый мартенсит, образующийся в мелких аустенитных зернах. При очень малых размерах мартенситных игл, когда они практически неразличимы в световом микроскопе, мартенсит иногда называли неправильные с точки зрения терминологии названиями – бесструктурным, массивным [31].

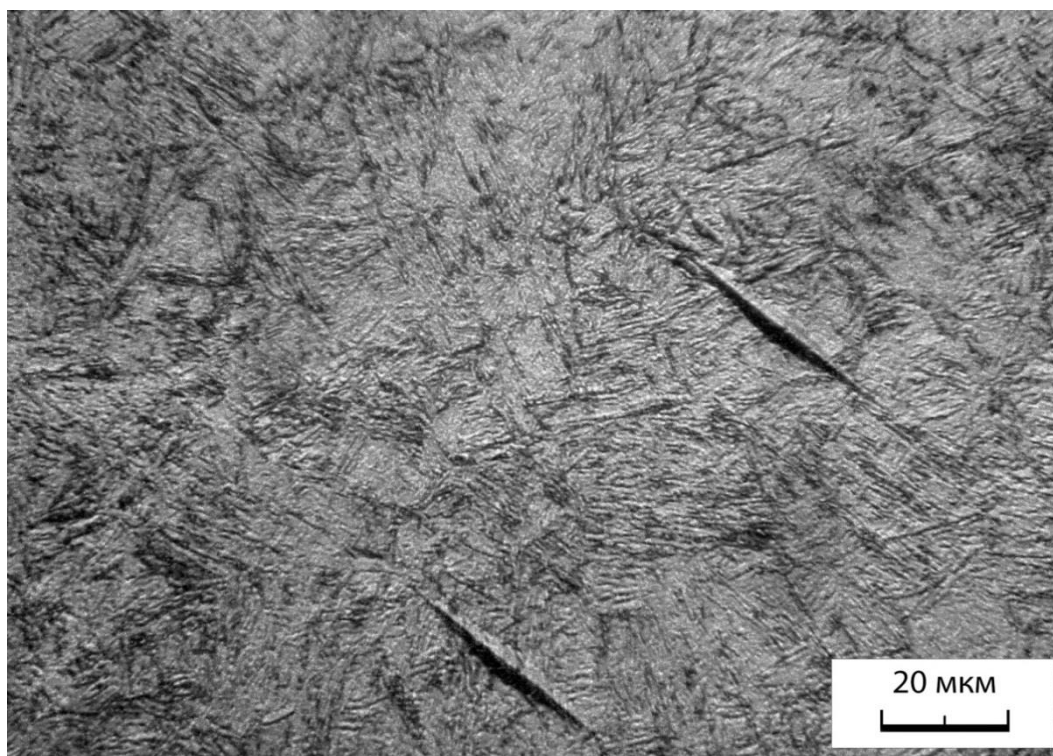


Рис.2.7.1. Изображение структуры закаленной стали 40х при температуре 840⁰С

Из рис.2.7.1. видно, что структура при закалке наших экспериментальных условиях стали 40X образовался крупноигльчатый мартенсит. После травления в 4% азотной кислоте в спирте.

На рис.(2.7.2.) представлена профилограмма шероховатости исходного закаленного образца после финишной полировки, где его шероховатость составляет $R_a = 0.03$ мкм.



Рис.2.7.2. Профилограмма шероховатости исходного закаленного образца/

В виду различий в химсоставе и структуре исходные образцы различались по твердости. Таким образом, перед началом экспериментов основные характеристики образцов отличались между тремя группами и их параметры представлены в Табл.(2.7.1.)

Таблица № 2.7.1. Исходные значения полученных образцов.

Исходные значения	Исходные образцы		
	Сталь 40X	Сталь 40X Закаленный	Сталь 40X13
Твердость на поверхности HV кГ/мм ²	270	650	270
Шероховатость поверхности Ra	0,033	0,031	0,032

Исходя из материала изложенного во второй главе, можно сказать что оборудование на котором проводятся эксперименты, методики исследований, измерений, подготовки поверхностей образцов находятся на высоком уровне, не являются устаревшими, что позволяет проводить исследования на соответствующем уровне, и предоставлять корректные результаты. К тому же в значительной степени качество азотированного слоя зависит от величины исходной шероховатости поверхности[21].

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

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕЖИМОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ И ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Данная глава посвящена описанию экспериментов, связанных с азотированием стальных образцов в газоразрядной безводородной плазме дугового разряда. Проводится анализ результатов азотирования экспериментальных образцов, выполненных из сталей марок 40X13 и 40X (включая закаленные), в специфической низковольтной форме газового разряда при низком давлении чистого азота при разных токах разряда ($I=90\text{A}$; $I=60\text{A}$; $I=30\text{A}$; $I=10\text{A}$) и, соответственно, разных температурах (от $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Определяли шероховатость поверхности и измеряли протяженность и твердость азотированных слоёв в образцах.

3.1. Азотирование экспериментальных образцов в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда

Экспериментальные образцы устанавливали в вакуумной камере на специальном держателе (рис. 3.1.1.), с подведенным отрицательным потенциалом, на котором установлена термопара для регистрации температуры процесса. Образец находился от плазмогенератора, размещённого на боковой стенке вакуумной камеры на расстоянии $\sim 300\text{ мм}$. Установив и закрепив образец в камеру можно переходить к проведению процесса азотирования. Включаем установку в сеть и открываем подачу воды. Включаем диффузионный насос и ждем примерно 40-60 минут пока он выйдет на рабочий режим. Далее производим откачку объема камеры. В качестве рабочего газа использовался аргон и азот. Непосредственно поверхность образцов очищались от оксидных пленок, адсорбированных газов в рабочей камере бомбардировкой ионами аргона. Запускаем в камеру азот и зажигаем разряд. Плазма в азотной среде горит розовым цветом. Изменение параметров процесса и температуры фиксировались каждые 5

минут. Процесс азотирования закаленной стали 40X можно представить в виде температурно-временной диаграммы, которая будет представлена дальше при различных температурах эксперимента.

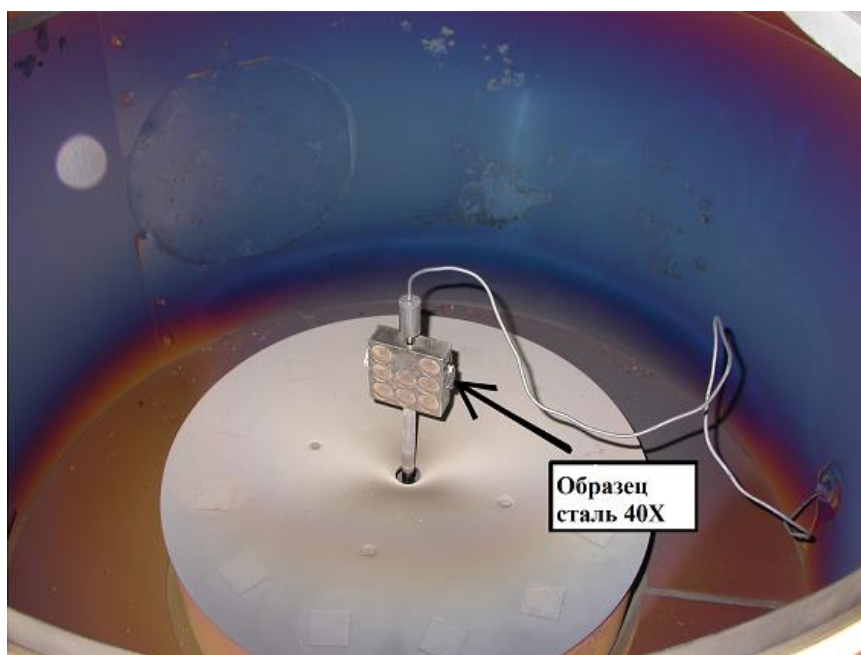


Рис. 3.1.1. Размещение экспериментальных образцов вакуумной камере установке.

Для эксперимента использовали $U_{см} = 600$ В, потому что для нагрева образцов до $T = 500$ °С тока разряда $I = 10-90$ А в азоте не хватает (при меньшем $U_{см}$). А чтобы соблюсти равными условия ионной бомбардировки при азотировании в диапазоне 200 °С - 500 °С меняем режим только тока разряда I_n .

Полный цикл эксперимента в краткости можно описать следующим образом: помещаем образец в камеру, откачиваем воздух, нагреваем образец от комнатной температуры до такой температуры, которая нам нужна, записываем данные, остывание образца до комнатной температуры. Время эксперимента составляет по времени около 4 - 6 часов.

В таблице № 3.1.1. приведены параметры азотирования сталей. При этих параметрах и будем, проводит дальнейшие эксперименты.

Таблица № 3.1.1. Параметры процессов азотирования экспериментальных образцов в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда

№ образца	Этапы	$T, ^\circ\text{C}$	Газ	P , мм.рт.ст.	I_p , А	$U_{см}$, В	t , мин.
1 (при 520 $^\circ\text{C}$)	Нагрев/очистка	22 - 148	Ar	$7 \cdot 10^{-4}$	35 – 40	0	60
	Нагрев	148 - 520	N_2	$1,1 \cdot 10^{-3}$	80 - 95	600	85
	Азотирование	520	N_2	$1 \cdot 10^{-3}$	90	600	120
	Остывание	520 - 100	Остаточное давление $P = 1 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.				85
2 (при 400 $^\circ\text{C}$)	Нагрев/очистка	22 - 160	Ar	$6,9 \cdot 10^{-4}$	30	0	60
	Нагрев	160 - 400	N_2	$7 \cdot 10^{-4}$	50	400	65
	Азотирование	400	N_2	$8 \cdot 10^{-4}$	60	600	120
	Остывание	400 - 100	Остаточное давление $P = 1 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.				70
3 (при 300 $^\circ\text{C}$)	Нагрев/очистка	22 - 300	N_2	$8 \cdot 10^{-4}$	40	200 - 600	75
	Азотирование	300	N_2	$8,5 \cdot 10^{-4}$	30	600	120
	Остывание	300 - 100	Остаточное давление $P = 1 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.				60
4 (при 200 $^\circ\text{C}$)	Нагрев/очистка	22 - 126	Ar	$7,5 \cdot 10^{-4}$	30	0	55
	Нагрев	126 - 200	N_2	$7,5 \cdot 10^{-4}$	30	200 - 600	60
	Азотирование	200	N_2	$8 \cdot 10^{-4}$	10	600	120
	Остывание	200 - 100	Остаточное давление $P = 1 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.				40

P – давление в камере;

$U_{см}$ – напряжение смещения.

T $^\circ\text{C}$ – температура;

t – время процесса;

I_p – ток разряда;

3.2. Особенности упрочнения сталей в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=90\text{A}$

На рис.(3.2.1.) приведена температурно-временная диаграмма азотированного образцов сталей при токе несамостоятельного дугового разряда $I=90\text{A}$. На первом отрезке от точки А до точки В, где рабочим газом является аргон, происходит нагрев температуры при $U_{\text{см}}=0\text{ В}$ до температуры $148\text{ }^{\circ}\text{C}$. Аргон позволяет производить интенсивную активацию, очистку и нагрев поверхности образцов без подачи напряжения смещения. Нагрев температуры осуществляется от комнатной температуры, которая равна $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Плазма горит по всему объему и подогревает образец до определенной температуры, однако чтобы процесс начался, необходимо нагреть деталь до $520\text{ }^{\circ}\text{C}$. И в зависимости от габаритов детали, не всегда может хватить мощности разряда. Основной нагрев детали происходит от светового и теплового излучения катода. На втором отрезке от точки В до точки С запускаем азот и выставляем $U_{\text{см}} = -600\text{ В}$ и доходим до температуры $520\text{ }^{\circ}\text{C}$. На третьем отрезке от точки С до точки D происходит процесс азотирования в течении 120 минут при температуре $520\text{ }^{\circ}\text{C}$, давлении $9\cdot 10^{-4}$, ток разряда 80 А и смещение которое равно -600 В . Значения определялись исходя из максимальных и минимальных возможных значениях параметров оборудования. После азотирования отключили подачу рабочего газа и начинаем процесс охлаждения образца, и оборудования до температуры $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ для того чтобы в металле не осталось внутренних напряжений. Этот процесс происходит на отрезках от точки D до точки E. Затем вынимаем образцы из камеры и проводим измерения поверхности и глубину слоя микротвердости. Провели анализ микротвердости поверхности, которые приведены в таблице (№ 3.7.1.).

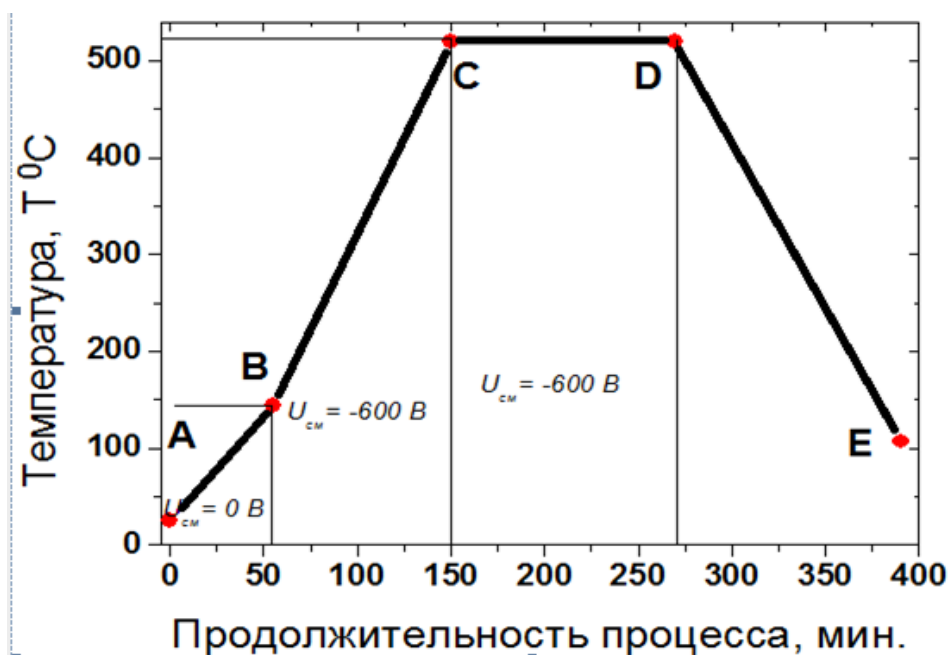


Рис.3.2.1. Температурно-временная диаграмма азотирования образца при токе несамостоятельного дугового разряда $I=90A$

3.3. Особенности упрочнения сталей в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=60A$

На рис.(3.3.1.) приведена температурно-временная диаграмма азотированного образцов сталей при токе несамостоятельного дугового разряда $I=60A$. На первом отрезке от точки А до точки В, где рабочим газом является аргон, происходит нагрев температуры при $U_{см}=0 В$ до температуры $160\text{ }^{\circ}C$. Аргон позволяет производить интенсивную активацию, очистку и нагрев поверхности образцов без подачи напряжения смещения. Нагрев температуры осуществляется от комнатной температуры, которая равна $20\text{ }^{\circ}C$ - $25\text{ }^{\circ}C$. Плазма горит по всему объему и подогревает образец до определенной температуры, однако чтобы процесс начался, необходимо нагреть деталь до $400\text{ }^{\circ}C$. И в зависимости от габаритов детали, не всегда может хватить мощности разряда. Основной нагрев детали происходит от светового и теплового излучения катода. На втором отрезке от точки В до точки С запускаем азот и выставляем $U_{см} = -400 В$ и доходим до температуры $400\text{ }^{\circ}C$. На третьем отрезке от точки С до точки D происходит процесс азотирования в течении 120 минут при температуре $400\text{ }^{\circ}C$, давлении $8 \cdot 10^{-4}$,

ток разряда 60 А и смещение равен -600 В. Значения определялись исходя из максимальных и минимальных возможных значениях параметров оборудования. Значения определялись исходя из максимальных и минимальных возможных значениях параметров оборудования. После азотирования отключили подачу рабочего газа и начинаем процесс охлаждения образца, и оборудования до температуры 100 °С для того чтобы в металле не осталось внутренних напряжений. Этот процесс происходит на отрезках от точки D до точки E. Затем вынимаем образцы из камеры и проводим измерения поверхности и глубину слоя микротвердости. Провели анализ микротвердости поверхности, которые приведены в таблице (№ 3.7.1.).

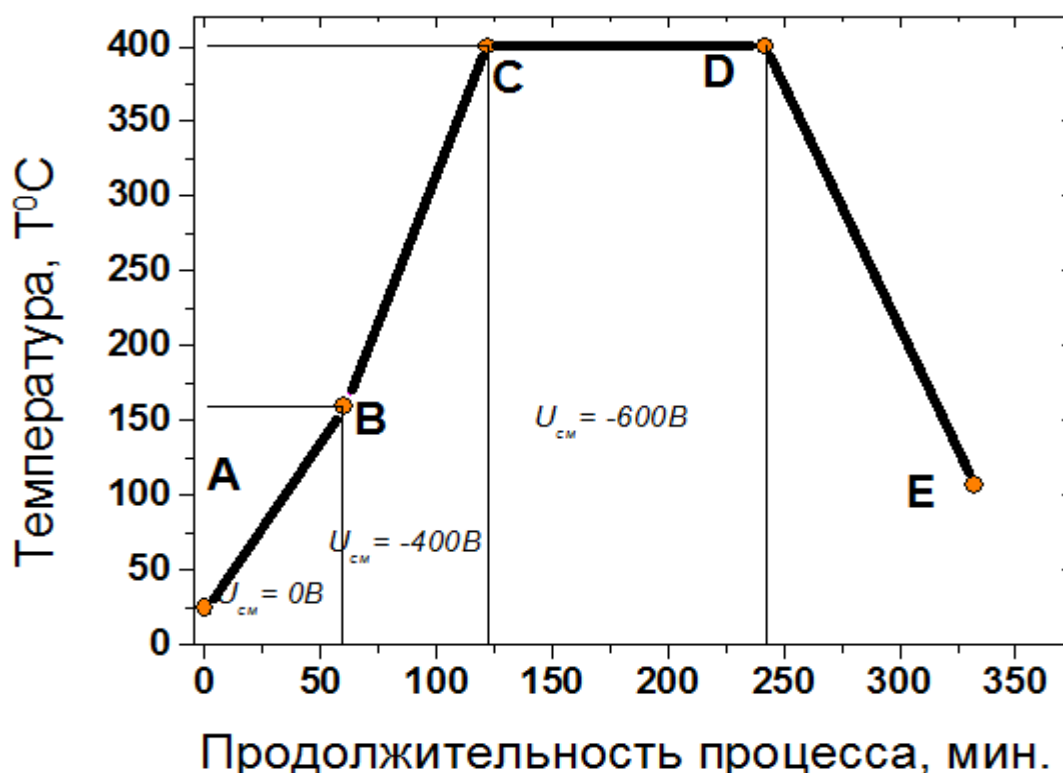


Рис.3.3.1. Температурно-временная диаграмма азотирования образца при токе несамостоятельного дугового разряда $I=60\text{A}$

3.4. Особенности упрочнения сталей в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=30A$

На рис.(3.4.1.) приведена температурно-временная диаграмма азотированного образцов сталей при токе несамостоятельного дугового разряда $I=30A$. На первом отрезке от точки А до точки В, где рабочим газом является азот, происходит нагрев температуры при $U_{cm} = -200 В$ до температуры $168\text{ }^{\circ}C$. Нагрев температуры осуществляется от комнатной температуры, которая равна $20\text{ }^{\circ}C - 25\text{ }^{\circ}C$. Плазма горит по всему объему и подогревает образец до определенной температуры, однако чтобы процесс начался, необходимо нагреть деталь до $300\text{ }^{\circ}C$. И в зависимости от габаритов детали, не всегда может хватить мощности разряда. Основной нагрев детали происходит от светового и теплового излучения катода. На втором отрезке от точки В до точки С запускаем азот и выставляем $U_{cm} = -600 В$ и доходим до температуры $300\text{ }^{\circ}C$. На третьем отрезке от точки С до точки D происходит процесс азотирования в течении 120 минут при температуре $300\text{ }^{\circ}C$, давлении $8,5 \cdot 10^{-4}$, ток разряда $30 А$ и смещение равен $-600 В$. Значения определялись исходя из максимальных и минимальных возможных значениях параметров оборудования. После азотирования отключили подачу рабочего газа и начинаем процесс охлаждения образца, и оборудования до температуры $100\text{ }^{\circ}C$ для того чтобы в металле не осталось внутренних напряжений. Этот процесс происходит на отрезках от точки D до точки Е. Затем вынимаем образцы из камеры и проводим измерения поверхности и глубину слоя микротвердости. Провели анализ микротвердости поверхности, которые приведены в таблице (№ 3.7.1.).

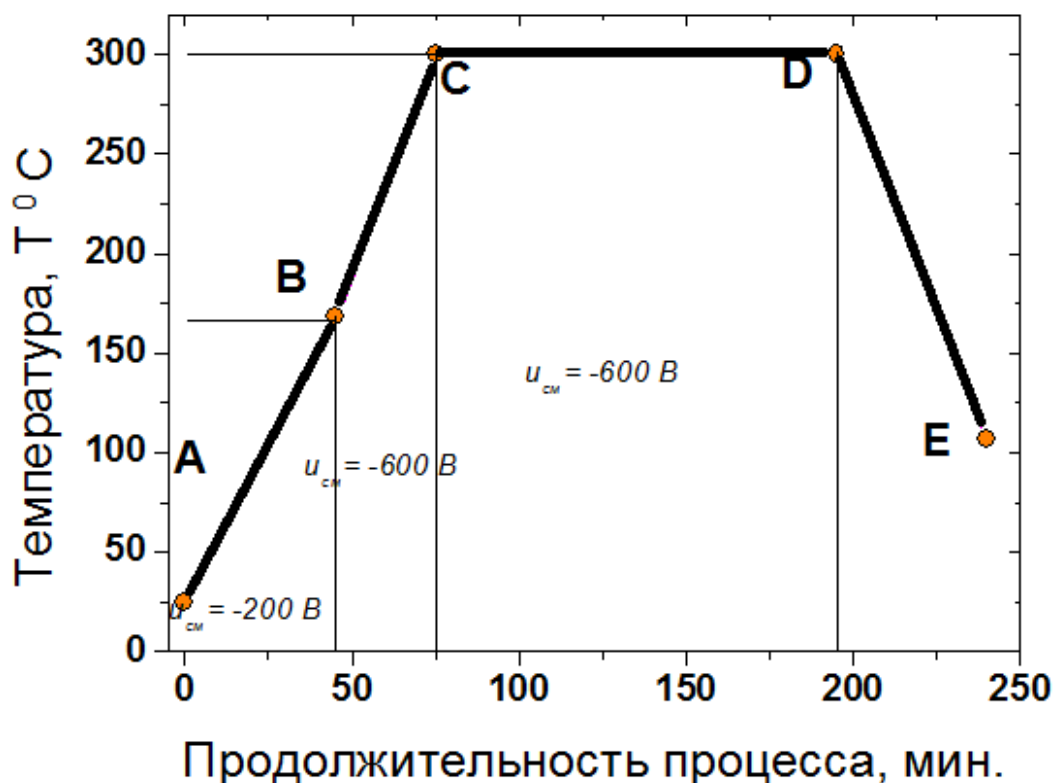


Рис.3.4.1. Температурно-временная диаграмма азотирования образца при токе несамостоятельного дугового разряда $I=30A$

3.5. Особенности упрочнения сталей в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=10A$

На рис.(3.5.1.) приведена температурно-временная диаграмма азотированного образцов сталей при токе несамостоятельного дугового разряда $I=10A$. На первом отрезке от точки А до точки В, где рабочим газом является аргон, происходит нагрев температуры при $U_{cm}= 0$ В до температуры 126 °С. Нагрев температуры осуществляется от комнатной температуры, которая равна 20 °С - 25 °С. Плазма горит по всему объему и подогревает образец до определенной температуры, однако чтобы процесс начался, необходимо нагреть деталь до 200 °С. И в зависимости от габаритов детали, не всегда может хватить мощности разряда. Основной нагрев детали происходит от светового и теплового излучения катода. На втором отрезке от точки В до точки С запускаем азот и выставляем $U_{cm} = -200$ В и доходим до температуры 157 °С. На третьем

отрезке от точки С до точки D выставляем $U_{см} = -600 В$ и доходим до температуры $200\text{ }^{\circ}С$. На отрезке от точки D до точки E происходит процесс азотирования в течении 120 минут при температуре $200\text{ }^{\circ}С$, давлении $8 \cdot 10^{-4}$, ток разряда 10 А и смещение равен $-600 В$. Значения определялись исходя из максимальных и минимальных возможных значения параметров оборудования. После азотирования отключили подачу рабочего газа и начинаем процесс охлаждения образца, и оборудования до температуры $100\text{ }^{\circ}С$ для того чтобы в металле не осталось внутренних напряжений. Этот процесс происходит на отрезках от точки E до точки F. Затем вынимаем образцы из камеры и проводим измерения поверхности и глубину слоя микротвердости. Провели анализ микротвердости поверхности, которые приведены в таблице(№ 3.7.1.).

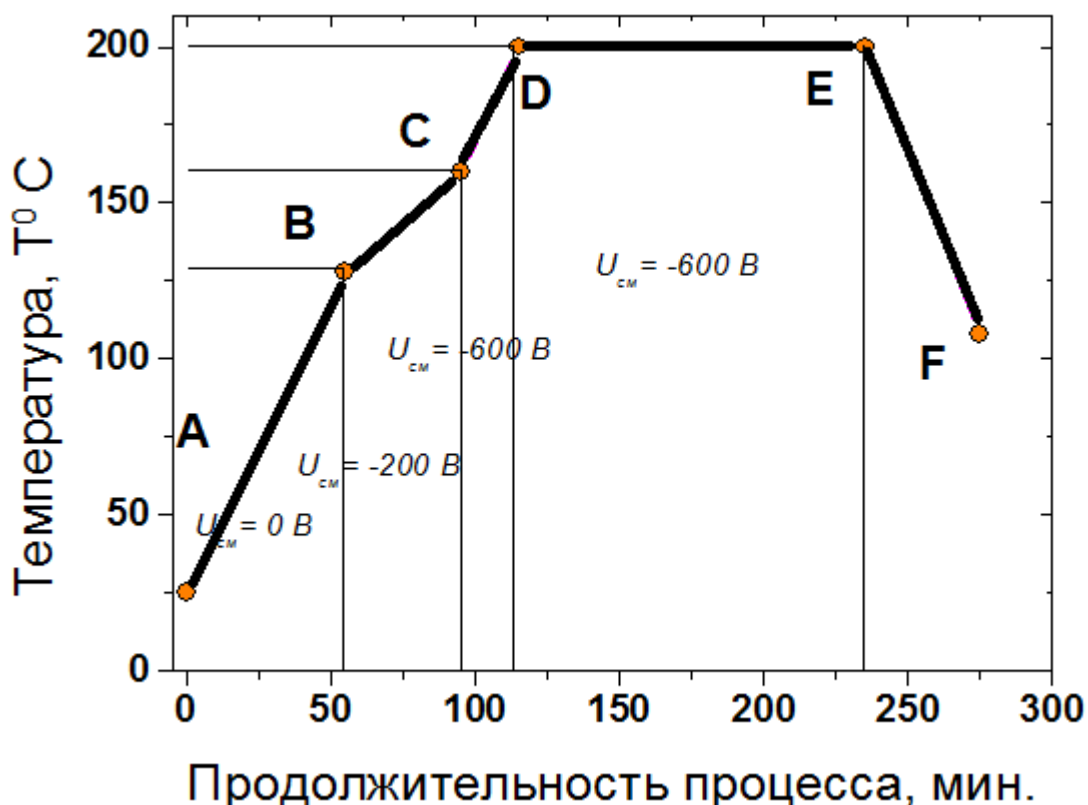


Рис.3.5.1. Температурно-временная диаграмма азотирования образца при токе несамостоятельного дугового разряда $I=10А$

3.6. Исследований морфологии поверхности азотированного слоя закаленной стали 40X полученных при разных режимах азотирования

3.6.1. Морфология поверхности образцов, изготовленных из закаленной стали 40X после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда при токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут

Изображение структуры после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут приведена на (рис.3.6.1.1.). Здесь четко просматривается бимодальная структура размеров зерен. Проявляется процесс укрупнение зерен. В этих условиях функция распределения зерен по размерам становится бимодальной и размер зерна со временем нарастает и увеличивается. По сравнению с изображением исходной структуры видно с одной стороны крупные глобулы (ячеи) размером 30-50 мкм, внутри которых расположены мелкие вытянутые иглы мартенситной структуры размерами 10-15 мкм.

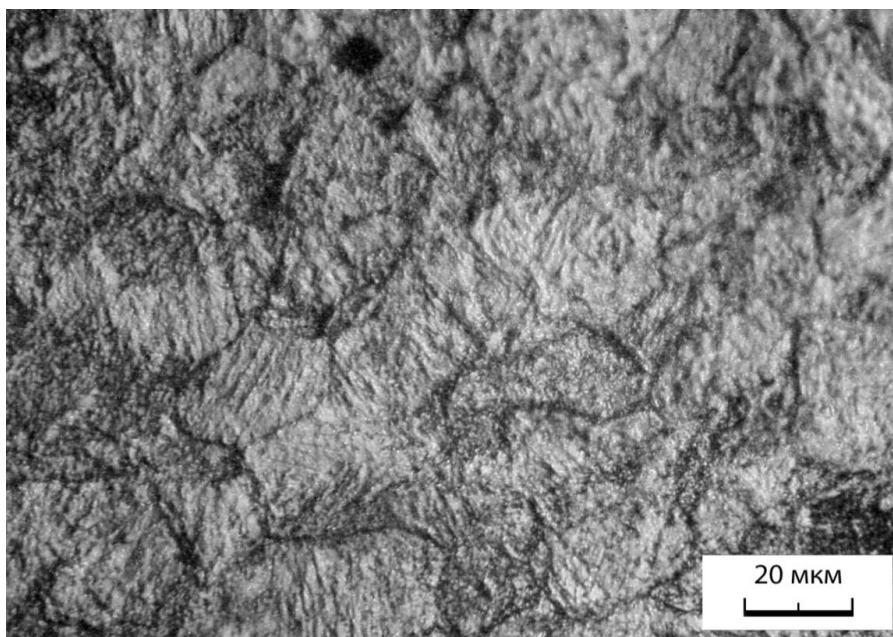


Рис. 3.6.1.1. Изображение структуры поверхностного азотированного слоя стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

Из рис.(3.6.1.2.) видно, что шероховатость азотированного образца закаленной стали 40X при токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут выше, чем у исходного закаленного. Шероховатость здесь равняется $R_a = 0.2\text{ мкм}$, в то время как у исходного она была равна $R_a = 0.03\text{ мкм}$. Так же приведено 3D изображение поверхности закаленной стали 40X при азотировании токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут, которая представлена на рис.(3.6.1.3.).



Рис.3.6.1.2. Профилограмма шероховатости поверхности азотированного образца из закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

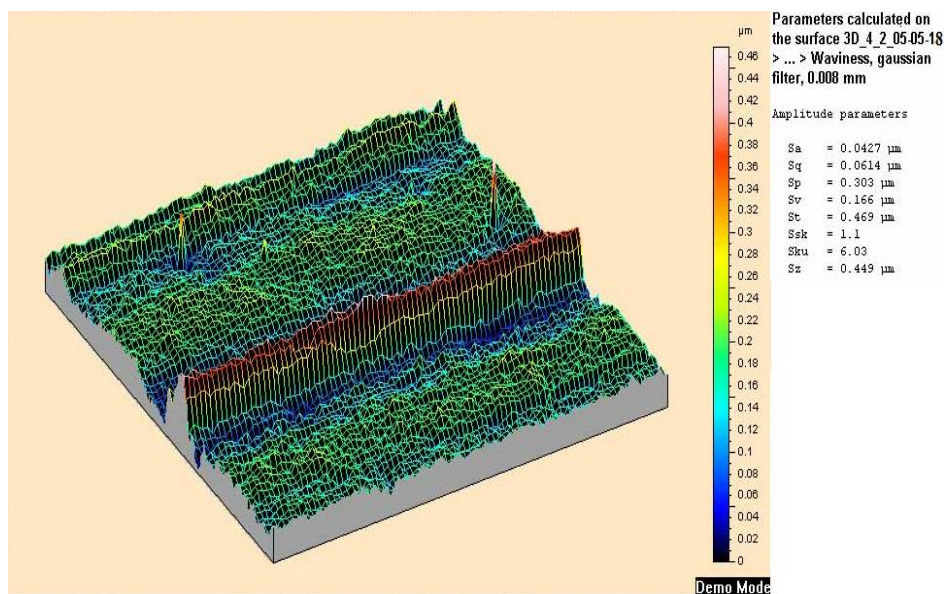


Рис.3.6.1.3. 3D изображение поверхности азотированного образца из закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

Также на рис.(3.6.1.4.) представлено изображение поперечного шлифа, где наглядно видно нитридный слой после проведения процесса. Толщина нитридного слоя составило 3-5 мкм.

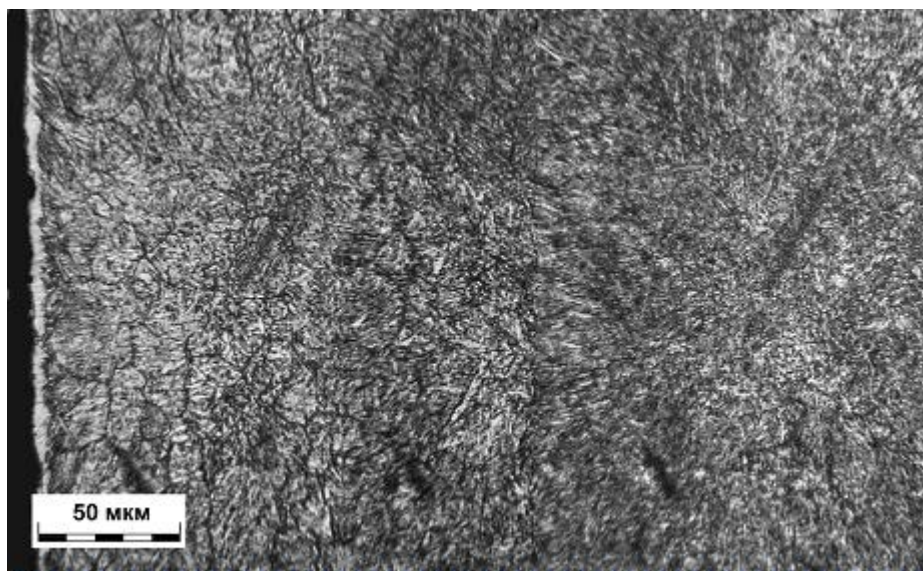


Рис.3.6.1.4. Изображение поперечного шлифа азотированного образца закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

3.6.2. Морфология поверхности образцов, изготовленных из закаленной стали 40X после азотирования в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда при токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут

Изображение структуры после азотирования в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут приведена на рис.(3.6.2.1.). По сравнению с изображением исходной структуры тут уже не наблюдается крупноигольчатая структура и уже нет глобул (ячеи) как при азотировании при токе $I=90\text{A}$ и температуре $520\text{ }^\circ\text{C}$.

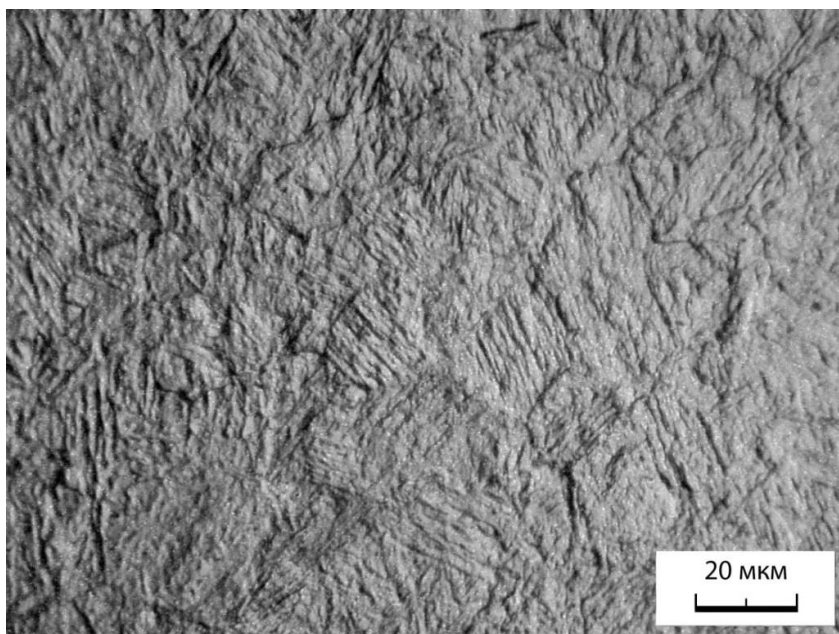


Рис.3.6.2.1. Изображение структуры поверхностного азотированного слоя стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

Из рис.(3.6.2.2.) видно, что шероховатость азотированного образца закаленной стали 40X при токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут так же выше, чем у исходного закаленного, но уже меньше чем при $I=90\text{A}$. Шероховатость здесь равняется $R_a = 0.1\text{ мкм}$, в то время как у исходного она была равна $R_a = 0.03\text{ мкм}$, а при $I=90\text{A}$ она была $R_a = 0.2\text{ мкм}$. Так же приведено 3D изображение поверхности закаленной стали

40X при азотировании токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут, которая представлена на рис.(3.6.2.3.).

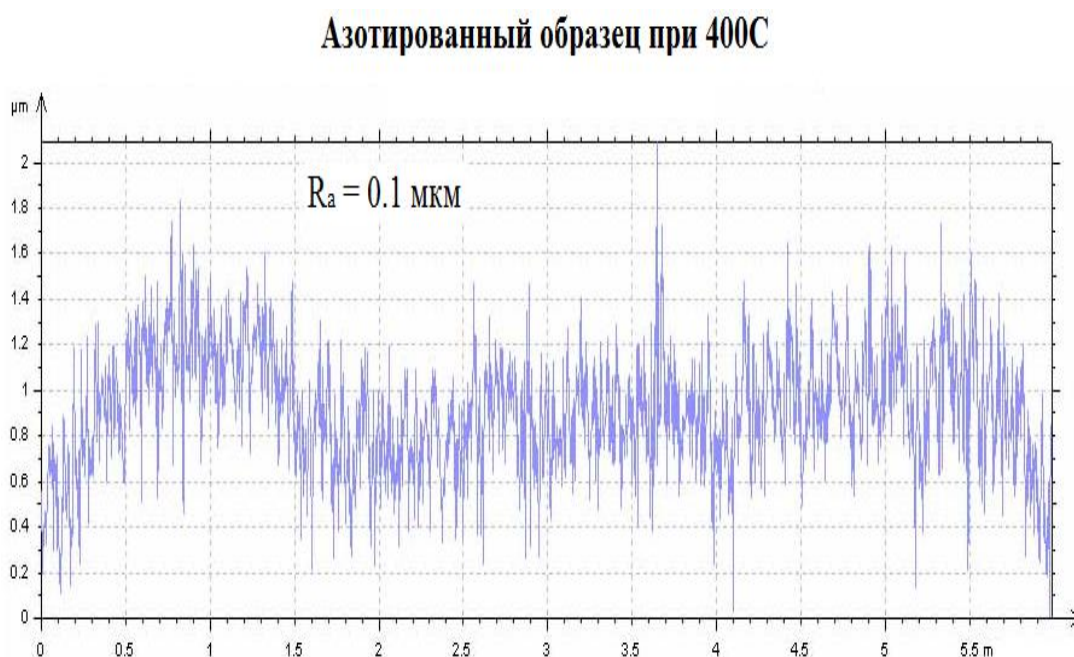


Рис.3.6.2.2. Профилограмма шероховатости поверхности азотированного образца из закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

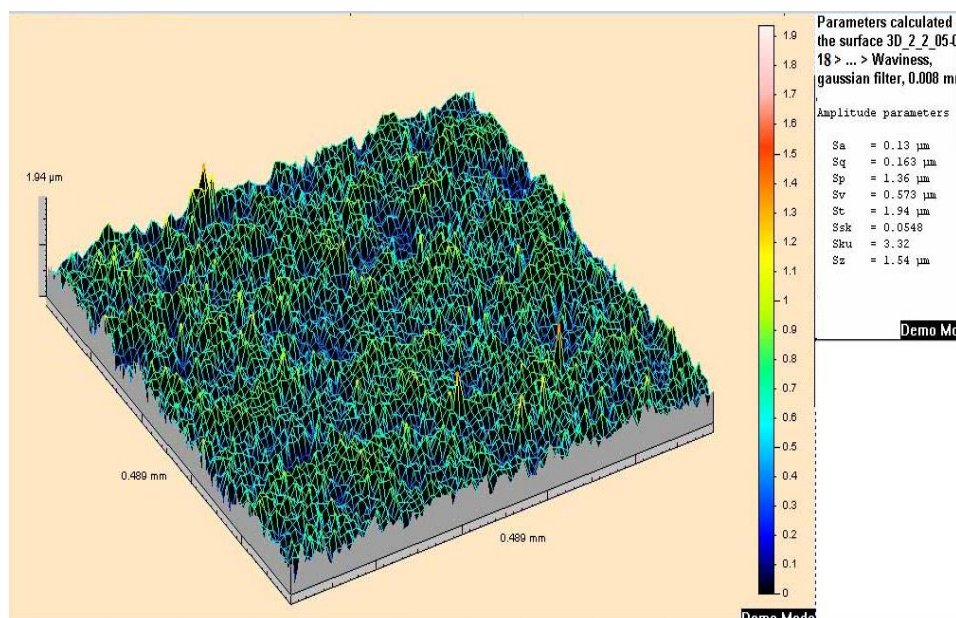


Рис.3.6.2.3. 3D изображение поверхности азотированного образца из закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

Также на рис.(3.6.2.4.) представлено изображение поперечного шлифа, где наглядно видно нитридный слой после проведения процесса. При азотировании токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ нитридный слой уже наглядно меньше, чем у исходного. Толщина нитридного слоя составило 2 – 3 мкм.

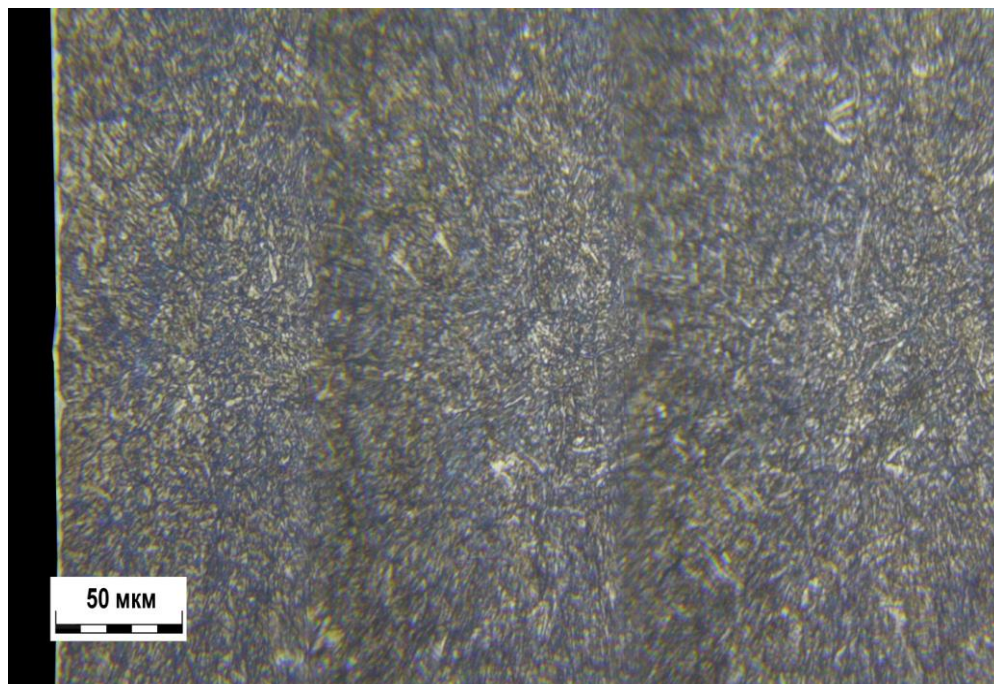


Рис.3.6.2.4. Изображение поперечного шлифа азотированного образца закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=60\text{A}$ и температуре $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 120 минут.

3.6.3. Морфология поверхности образцов, изготовленных из закаленной стали 40X после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда при токе $I=30\text{A}$ и температуре $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 120 минут

Изображение структуры после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового разряда при токе $I=30\text{A}$ и температуре $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 120 минут приведена на рис.(3.6.3.1.) По сравнению с изображением исходной структуры тут также не наблюдается крупноигольчатый мартенсит.

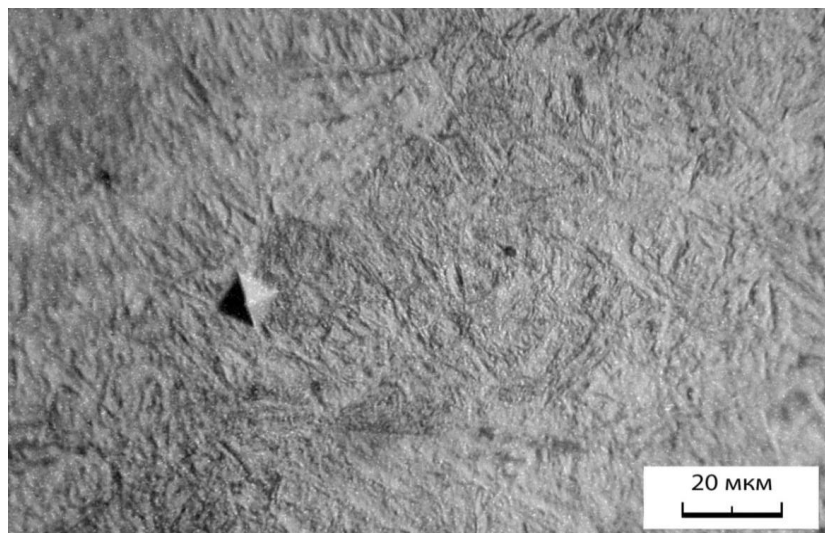


Рис.3.6.3.1. Изображение структуры поверхностного азотированного слоя стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=30\text{A}$ и температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

При токе $I=30\text{A}$ шероховатость поверхности образца заметно уменьшилась до $R_a = 0.07\text{ мкм}$ и стала близка к исходной, которая была $R_a = 0.03\text{ мкм}$. Это наглядно просматривается на рис.(3.6.3.2.). Так же приведено 3D изображение поверхности закаленной стали 40X при азотировании токе $I=30\text{A}$ и температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$, которая представлена на рис.(3.6.3.3.).

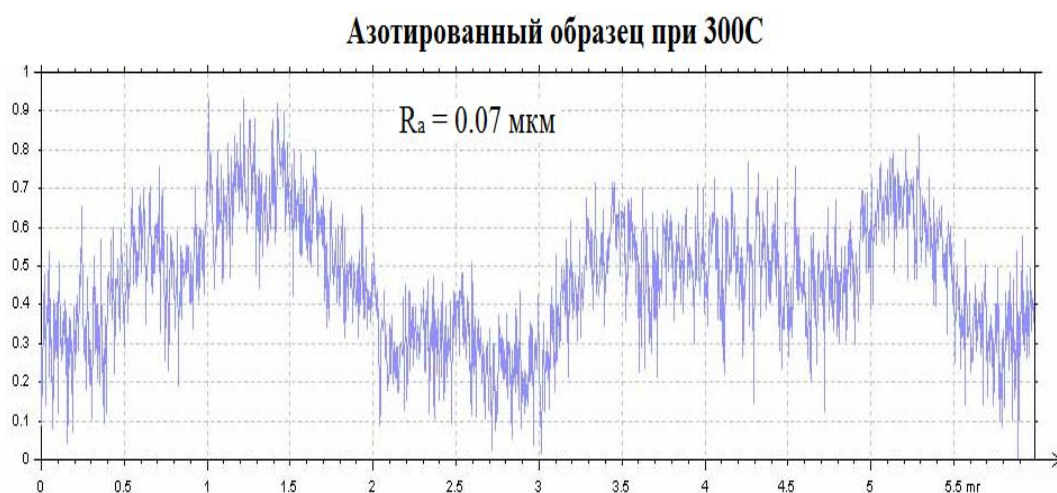


Рис.3.6.3.2. Профилограмма шероховатости поверхности азотированного образца из закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=30\text{A}$ и температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

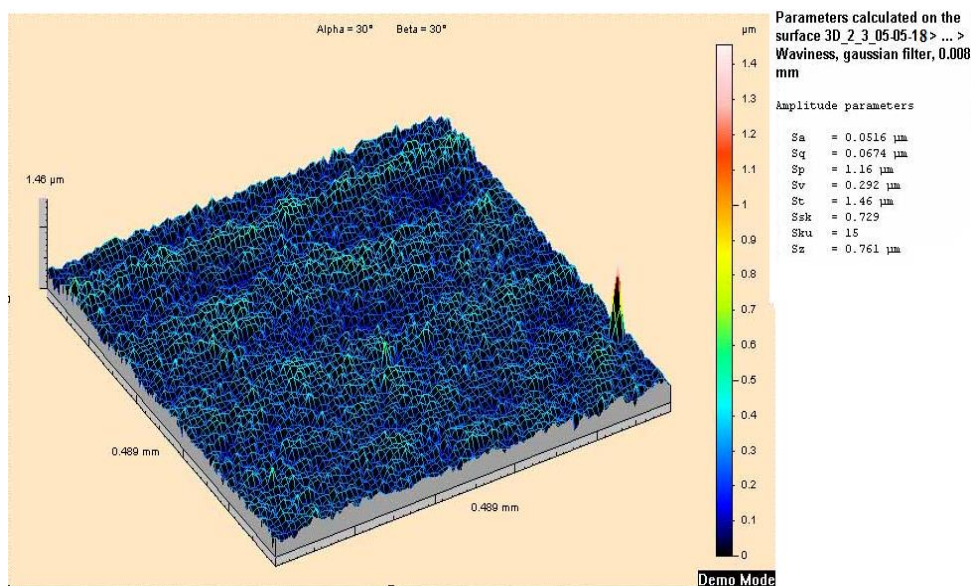


Рис.3.6.3.3. 3D изображение поверхности азотированного образца из закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=30\text{A}$ и температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

Также на рис.(3.6.3.4.) представлено изображение поперечного шлифа, где наглядно видно нитридный слой после проведения процесса. При азотировании токе $I=30\text{A}$ и температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$ нитридный слой заметно меньше, чем у исходного. Толщина нитридного слоя составило 1 – 2 мкм.

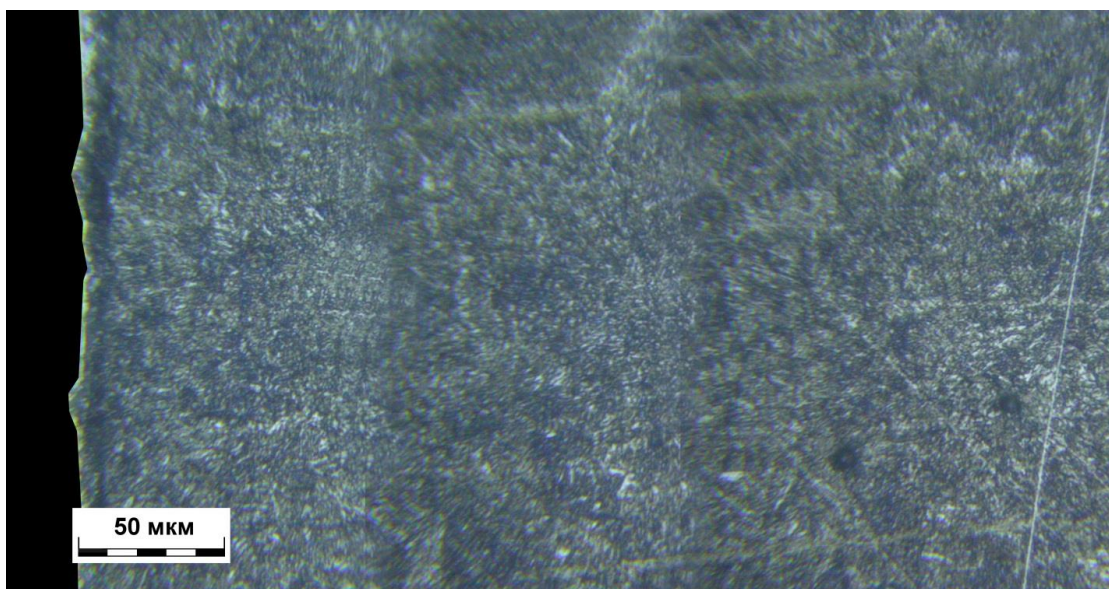


Рис.3.6.3.4. Изображение поперечного шлифа азотированного образца закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=30\text{A}$ и температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

3.6.4. Морфология поверхности образцов, изготовленных из закаленной стали 40X после азотирования в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда при токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут

Изображение структуры после азотирования при токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут приведена на рис.(3.6.4.1.). По сравнению с изображением исходной структуры тут также не наблюдается крупноигльчатый мартенсит.

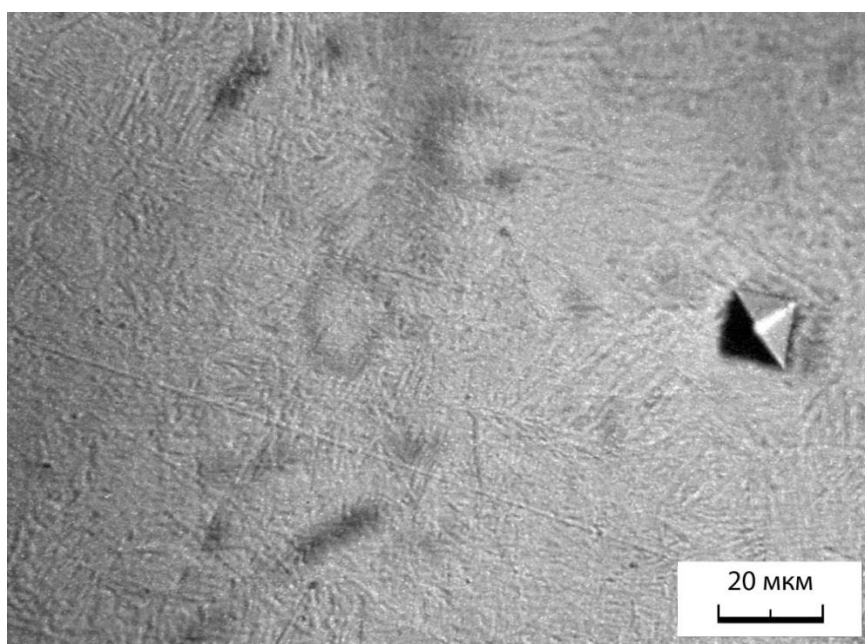


Рис.3.6.4.1. Изображение структуры поверхностного азотированного слоя стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

При токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^\circ\text{C}$ шероховатость поверхности образца составила $R_a = 0.02\text{ мкм}$. По сравнению с исходным образцом шероховатость стала меньше, чем у исходной, которая была $R_a = 0.03\text{ мкм}$. Это наглядно просматривается на рис.(3.6.4.2.). Так же приведено 3D изображение поверхности закаленной стали 40X при азотировании токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^\circ\text{C}$, которая представлена на рис.(3.6.4.3.).

Азотированный образец при 200С

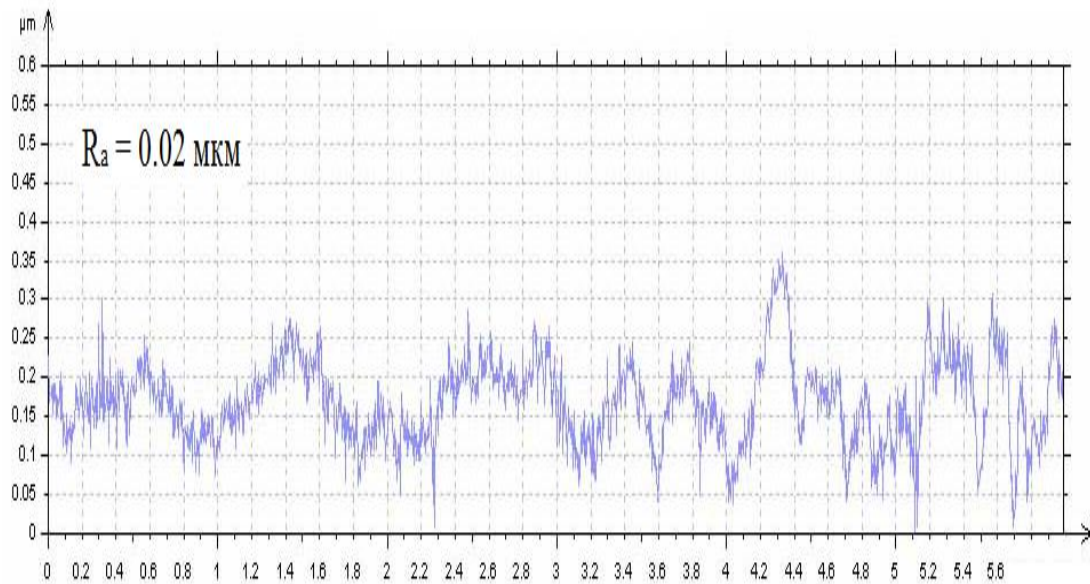


Рис.3.6.4.2. Профилограмма шероховатости поверхности азотированного образца из закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

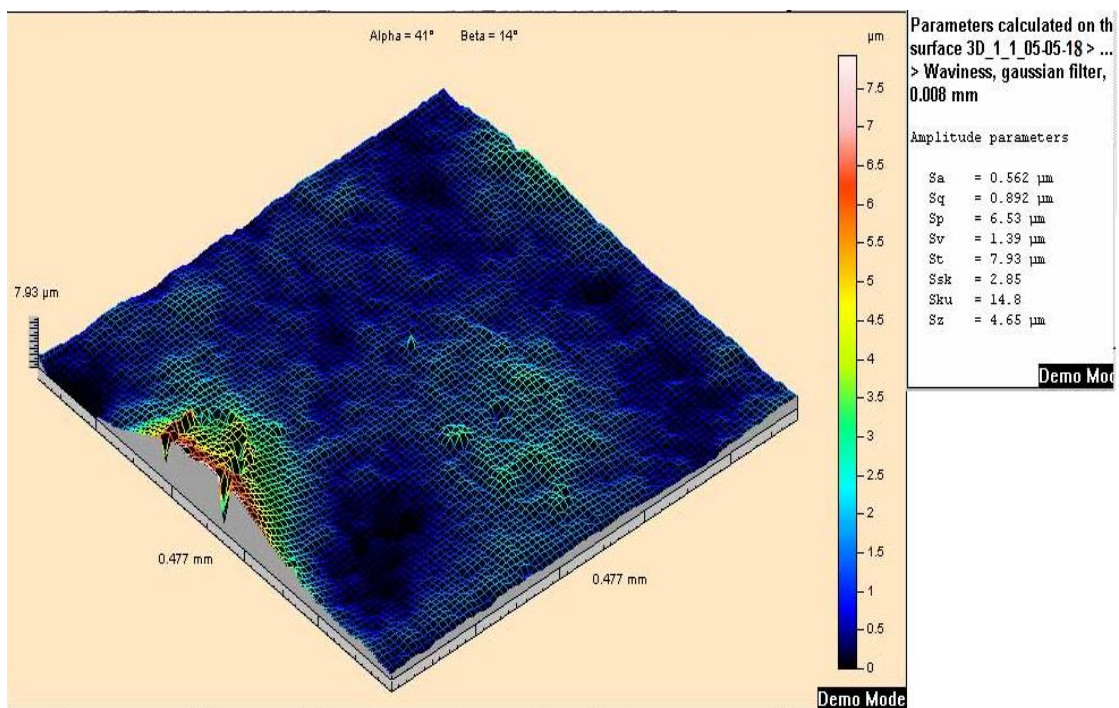


Рис.3.6.4.3. 3D изображение поверхности азотированного образца из закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 120 минут.

Также на рис.(3.6.4.4.) представлено изображение поперечного шлифа, где наглядно видно нитридный слой после проведения процесса. При азотировании токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ нитридный слой почти не заметен по сравнению с исходным. Толщина нитридного слоя не обнаружена, так как температура азотирования была маленькая.

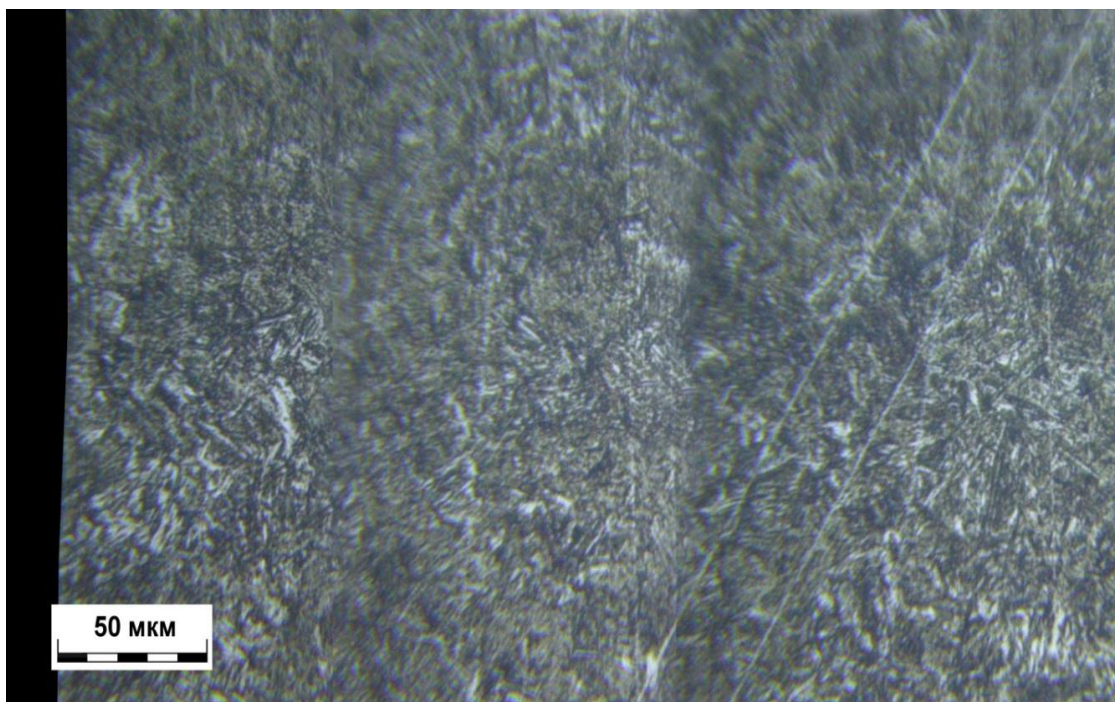


Рис.3.6.4.4. Изображение поперечного шлифа азотированного образца закаленной стали 40X после обработки в плазме газового дугового разряда при токе $I=10\text{A}$ и температуре $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 120 минут.

В таблице (№ 3.6.4.1.) приведены параметры шероховатости поверхности азотированных образцов из сталей 40X, 40X13 и 40X после закалке, при разных тока разряда и температуре азотирование.

Таблица № 3.6.4.1. Значение шероховатости поверхности экспериментальных образцов из сталей 40X, 40X13 и 40X после закалке, при разных тока разряда и температуре азотирование.

Марки стали	Шероховатость поверхности (Ra)	Исходная Шероховатость (мкм)	Шероховатость поверхностного азотированного слоя			
			при токе I=90А и температуре 520 °С (мкм)	при токе I=60А и температуре 400 °С (мкм)	при токе I=30А и температуре 300 °С (мкм)	при токе I=10А и температуре 200 °С (мкм)
40X	Ra	0,033	0,255	0,12	0,075	0,020
Закаленный сталь 40X		0,031	0,272	0,11	0,071	0,022
40X13		0,032	0,248	0,13	0,073	0,025

Из таблиц (3.6.4.1.) видно что, исходная значение шероховатость обрабатываемых образцов составило в районе от 0,031 до 0,033. После азотирование в плазме газового дугового разряда, шероховатость поверхности существенно поменялся. Азотирование при токе I=90А шероховатость поверхности выше чем у исходного, а при токе I=10А шероховатость поверхности по сравнению с исходным стало по меньше.

3.7. Физико-механические характеристики экспериментальных образцов после азотирование в безводородной плазме низковольтного газового дугового разряда

В данной работе основной характеристикой, отвечающей за физико-механических свойства экспериментальных образцов, была выбрана твердость.

Таблица № 3.7.1. Значения твердости поверхности образцов из сталей 40X , 40X13 и 40X после закалки при различных нагрузках испытаний в зависимости от тока разряда и температурах азотирования.

Марки стали	Нагрузка (грамм)	Время процесса (t,мин)	Значения твердости поверхности HV кг/мм ²				
			Исходный образец	Образец азотированный при токе I=90А и температуре 520 °С	Образец азотированный при токе I=60А и температуре 400 °С	Образец азотированный при токе I=30А и температуре 300 °С	Образец азотированный при токе I=10А и температуре 200 °С
40X	50	120	260	820	810	563	515
	100		270	780	785	535	450
	120		275	750	740	490	410
Закаленный 40X	50	120	635	870	810	835	680
	100		650	780	815	815	710
	120		645	800	825	842	700
40X13	50	120	290	1205	1215	1015	980
	100		275	1135	1140	1050	1000
	120		270	1145	1155	1010	1005

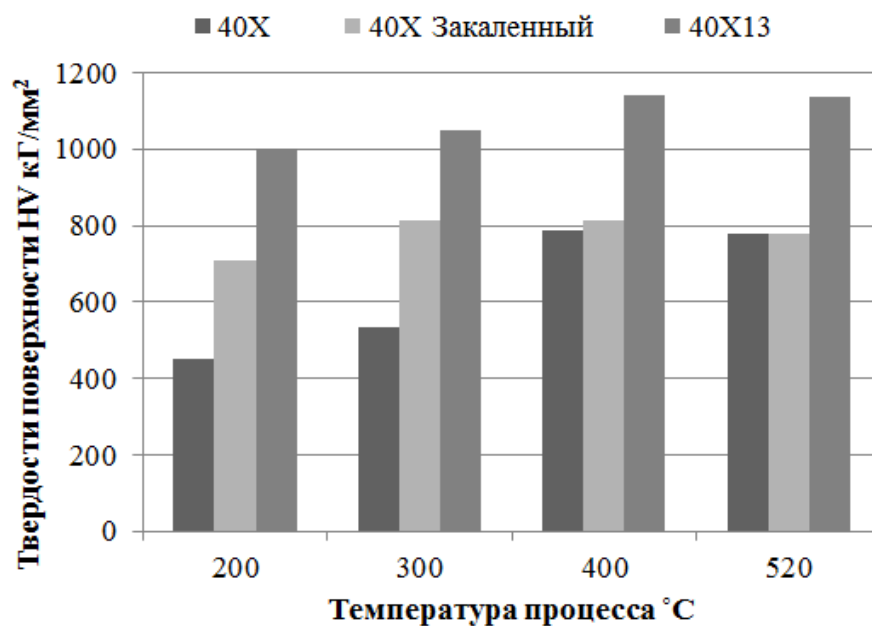


Рис.3.7.1. Изображение влияния состава стали и температуры процесса на итоговую твердость поверхности исследуемых образцов после азотирования в плазме безводородного дугового газового разряда.

Из рисунке (.3.7.1.) видно что, при температуре 200°С максимальная значения твердости на поверхности для стали 40X ниже чем для стали 40X13. Это говорит, о том что, определяющая значения на формирование , именно твердости (упрочнение) оказывает состав стали. Понятно что, стали 40X13 находится больше содержания легирующих добавок 13% хрома, а у стали 40X всего 0,8-1%. Соответственно твердость поверхности возникает от температуре азотирование. Видно что, даже посмотреть сталь 40X13 при температуре 200°С, у стала 40X13 максимальная твердость составляет всего 1000 кг/мм². То время как, при температуре 500°С, это твердость подрастает для одной и той же стали 40X13 до 1150-1180 кг/мм².

В таблице (3.7.2.) приведены значения микротвердости по глубине азотированного слоя для всех экспериментальных образцов.

Таблица № 3.7.2. Значения микротвердости по глубине азотированного слоя в зависимости от тока разряда и температуре

Глубина, мкм	Твердость при токе I=90А и температуре 520 °С, кГ/мм ²	Твердость при токе I=60А и температуре 400 °С, кГ/мм ²	Твердость при токе I=30А и температуре 300 °С, кГ/мм ²	Твердость при токе I=10А и температуре 200 °С, кГ/мм ²
10	794	794	612	677
20	752	752	612	612
30	713	532	508	583
40	677	532	508	583
50	643	508	486	583
60	612	486	486	583
70	557	428	466	583
80	532	428	466	583
90	508	428	466	583
100	466	412	466	583
120	412	412	466	583

Из этой таблицы (3.7.2.) можно увидеть, при какой температуре глубина азотированного слоя выше и при какой ниже. Было установлено, что азотирование при токе разряда и I=10А и температуре 200 °С, повышения твердости выше исходного, то есть, после закалке произошло незначительный отпуск 600 кГ/мм². А поверхностная твердость 677кГ/мм². Общая глубина слоя составила примерно 30мкм. Для твердости измерений после азотирование при токе разряда I=90А и температуре 520 °С обнаружено что, на поверхности твердость составило 794 кГ/мм², то есть, это твердость характерная для азотированной поверхности данного типа стали. И значение этой твердости превышает твердость после закалки. Потом происходит плавное снижение твердости до твердости сердцевине, но поскольку азотирование происходило при температуре 520°С произошёл отпуск закалочной структуры. Твердость сердцевине опустилась с 600 кГ/мм²

до 412 кГ/мм². Тем не менее, если посмотреть на динамику изменения твердости с глубиной, мы сможем говорить что, при 2-х часовом азотировании при температуре 520 °С образцов из закаленной стали, общий протяженность слоя составило около 100 мкм. А при температуре 200 °С 30 мкм. То есть, скорость диффузии при температуре 200 °С гораздо ниже, чем при 520 °С, что не противоречит природе процесса.

На основе этой таблицы был построен обобщающий график на рис.(3.7.2.) и графически показано, как изменяются значения твердости азотированных образцов по глубине в зависимости от режимов процессов.

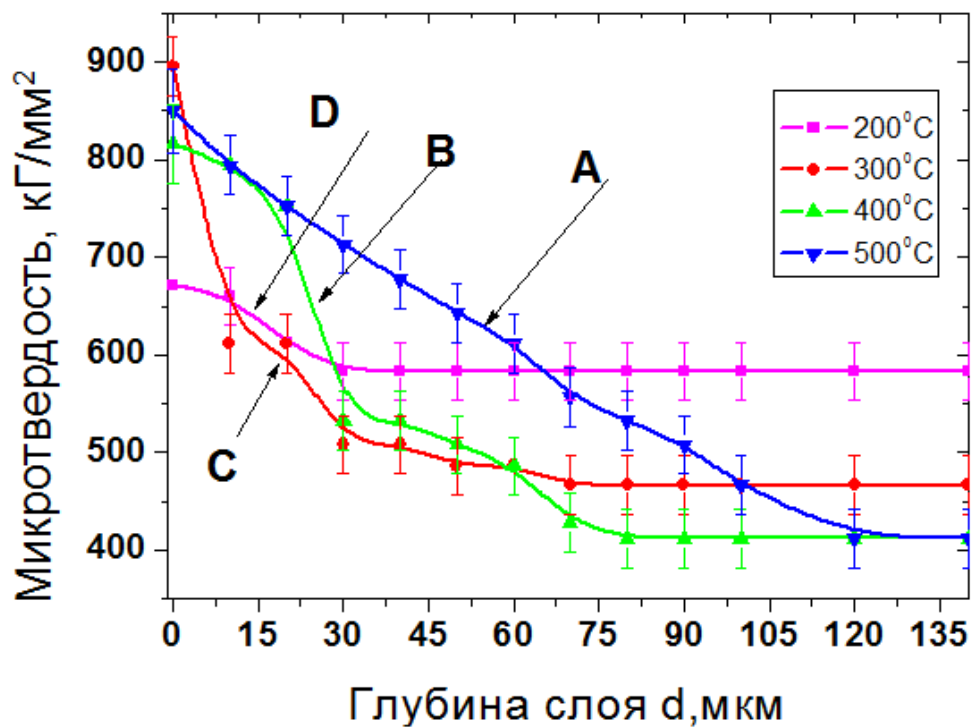


Рис.3.7.2. Результаты измерения микротвердости азотированных образцов. Доверительный интервал ± 30 кГ/мм².
Графики соответствуют температуре:

1. Графику А - соответствует при токе $I=90$ А и температуре 520 °С;
2. Графику В – соответствует при токе $I=60$ А температуре 400 °С;
3. Графику С – соответствует при токе $I=30$ А температуре 300 °С;
4. Графику D – соответствует при токе $I=10$ А температуре 200 °С.

Отсюда видно, что почти все образцы имеют повышенную микротвердость по глубине слоя. При температуре 200 °С образец имеет меньшую микротвердость по сравнению с другими образцами, но зато этот образец имеет высокую прочность в сердцевине ($HV \sim 600 \text{ кг/мм}^2$).

Вывод к главе 3

1. Показано, что ток разряда влияет на величину температуры обрабатываемых изделий при одном и том же значении напряжения смещения.
2. Установлено, что интенсивность воздействия ионной бомбардировки с ростом тока разряда приводит к изменению шероховатости поверхности и к более высокому значению глубины азотированного слоя.
3. Обнаружено, что при 200 °С азотирования закалочная структура и твердость сохраняются.
4. На величину твердости поверхности существенное влияние оказывает состав легирующих элементов в сталях.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.

Тема ВКР: Влияние ионной бомбардировки на формирование поверхностных слоев при азотировании в безводородной плазме газового разряда.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурс эффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки.

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

Для достижения вышеупомянутой цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Организовать работы по научно-исследовательскому проекту;
2. Определить возможные альтернативные проведения научных исследований;
3. Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
4. Определить ресурсную (ресурсосберегающую), финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективность исследования.

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

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

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками[27].

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар[27].

Научный проект заинтересован в тех потребителях, которые заинтересованы в его разработке. Следовательно, необходимо четко представлять, кто является конечным потребителем проекта или, кто может стать им в будущем и по какой причине они эту разработку приобретают, т. е. в итоге определить свой целевой рынок.

Рассмотрим целевой рынок и проведем сегментирование по применению азотированных материалов из изделий их них в различных промышленностях. Примем во внимание два критерия: тип продукта и объем потребления. На основании этих критериев построим карту сегментирования рынка в виде таблицы [4.1.1.1.].

Таблица № 4.1.1.1. – Карта сегментирования рынка для азотированных материалов.

		Тип продукта	
		Азотированные изделия	Изделия без азотированный
Объём потребления	Мелкий	+/∅	∅
	Средний	+/∅ / *	∅
	Крупный	*	+

Примечание: * - машиностроение; □ - инструментальные заводы; + - компании по производству азотирование изделия.

Из анализа сегментов рынка видно, что азотирование изделия с крупным объемом потребления относятся к машиностроению, средний объем относится к машиностроению и инструментальные заводы, а мелкий объем потребления к компаниям занимающийся азотированием. Области, выделенные □ относятся к компаниям, которые могут производить азотирование изделия из различных материалов, они и являются нашими ключевым потребителем, ведь они производят изделия для всех видов промышленности. Данная ниша не занята на рынке разработки и изготовления азотированных изделия для дальнейшего их использования в различных промышленностях.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В моей исследовательской работе предлагается вместо традиционного метода азотирования, который уже существует и широко реализуется на различных машиностроительных производствах, перейти на метод азотирования в дуговом газовом разряде в безводородной плазме.

Таблица №4.1.2.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерия оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентно способность	
		Бк1	Бк2	Кк1	Кк2
1	2	4	5	7	8
Технические критерии оценки ресурс эффективности					
1.Повышения производительности труда	0,2	4	5	0,6	0,8

пользователя					
2.Простота процесса технологий при насыщений	0,1	4	3	0,4	0,3
3.Энергоэкономичность	0,2	5	3	0,2	0,1
4.Надежность	0,05	5	4	0,3	0,25
5.Экологичность технологии и материала	0,2	3	3	0,45	0,25
6.Широкая область применения	0,1	3	4	0,3	0,4
Экономические критерии оценки эффективности					
7.Низкая стоимости	0,1	4	3	0,4	0,4
8.Финонсирования научной разработки	0,05	4	4	0,2	0,2
Итого	1	32	29	3,03	2,7

К1 – метод азотирования в дуговой газовой разряд на основе безводородной плазмы.

К2 – традиционные методы азотирования

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

4.2. SWOT-анализ

Одним из эффективных средств сокращения расходов металлов при сокращении высокого уровня производительности металлообработки является применение азотированных деталей и механизмов для увеличения срока службы.

В настоящей работе рассмотрены экспериментальные исследование процесса азотирования стальных деталей машиностроения в дуговой газовой разряд на основе безводородной плазмы.

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[27].

Таблица №4.2.1. –Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>С1.Возможность модифицировать установку.</p> <p>С2. Высокая производительность</p> <p>С3. Снижение затрат на электроэнергию</p> <p>С4. Увеличение срока службы инструмента</p> <p>С5. Актуальность темы.</p> <p>С6. Прочность, вязкость и теплостойкость режущего инструмента.</p>	<p>Слабые стороны научно исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Большие затраты на комплексное оборудование.</p> <p>Сл2. Максимальная загрузка камеры- 60 кг.</p> <p>Сл3. Большой объем выполнения работы за короткий срок.</p> <p>Сл4.Вероятность получения брака.</p>
--	--	---

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

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p> <p>У2. Задержка финансирования проекта.</p> <p>У3. Отсутствие спроса на новые технологии в машиностроительных производствах.</p> <p>У4. Ограничения на экспорт технологии в других странах мира.</p>	<p>С1У1-возможность создания более модифицированного и качественного конкурентоспособного оборудования.</p> <p>С2У2-финансирования более производительных проекта.</p> <p>С5У4-развитие простых и дешевых оборудования в направлении данного производства.</p> <p>С6У3- получить более прочных, теплостойких инструментах к использованию машиностроительных производствах.</p>	<p>Сл1У2- государство может задерживать такого масштабного проекта.</p> <p>Сл2У1- вероятность появления больших камера загрузки для процесса азотирования.</p> <p>Сл2У3- невозможно вести процесс более крупных экспериментах.</p>
--	---	--

Проанализировав матрицу SWOT можно сказать, что у исследовательского проекта есть как сильные, так и слабые стороны. Улучшение свойств поверхностей изделий обеспечит актуальность этой темы на протяжении многих лет. Угрозы У1 и У2 представляются серьезными и являются объектами для внимания при выводе разработки на рынок.

4.3.Инициация проекта

Таблица № 4.3.1. 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 № 4.3.2. Цели и результат проекта

Цели проекта:	Комплексное изучение процессов ионно-плазменного азотирования сталей в условиях ионной бомбардировки различной интенсивности. Выявление тенденций в морфологии, структуре и механических свойствах поверхностей стальных образцов после такого вида упрочнения.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение экспериментальных данных по оптимальным параметрам характеристик обработанных материалов в зависимости от параметров технологических процессов.
Критерии приемки результата проекта:	Законченная научно-исследовательская работа, авторы которой имеют список публикаций и участие на международных конференциях.
Требования к результату проекта:	Требования: 1. Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение 2. Наглядные иллюстрации (графики и диаграммы) 3. Выполнения проекта в срок

4.3.1. Организационная структура проекта

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

Таблица № 4.3.1.1. 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	Руководит ель проекта	Отвечает за реализацию проекта, полученных в ходе проекта, редактирование и издание статей, патентов.	62
	Махмудалиев А.Р., магистрант, Инженерная школа новых производственных технологий. Отделение материаловедения. 15.04.01 Машиностроение	Исполнит ель по проекту	Отвечает за выполнение научно- исследовательских работ, получение и обработку результатов, поиск литературных данных о схожих разработках ученых по всему миру, написание статей и магистерской диссертации по итогам работы.	600
ИТОГО:				662

4.4.Ограничения и допущения проекта

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

Таблица № 4.4.1. Ограничения проекта

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

4.4.1. Бюджет научного проекта

В таблице 4.8. приведены накладные расходы, связанные с приобретением сырья, материалов и комплектующих изделий для проведения исследования.

Таблица № 4.4.1.1. 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 2114-003-05758914-2007 баллон, емк. 6,0м ³ 40л	2шт	300	600
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				23336

Итоговая сумма сырья составит 23336 рубль.

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

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

В таблице [4.9.] включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппараты, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица № 4.4.1.2. Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Срок службы, Т, дни	Время эксплуатации, t, дни	H_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

4.4.2. План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен линейный план график в виде таблицы и представлен ниже:

Таблица №4.4.2.1. – Линейный план график научного проекта

№	Название	Длительность	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Подготовка материалов	4 мес	09.2016г	01.2017г	Гончаренко И.М. Махмудалиев А.Р.
2	Выполнение исследовательской работы	5 мес	01.2017г	05.2017г	Гончаренко И.М. Махмудалиев А.Р.
3	Анализ результатов	4 мес	09.2017г	01.2018г	Гончаренко И.М. Махмудалиев А.Р..
4	Оформление результатов исследования	5 мес	01.2018г	05.2018г	Гончаренко И.М. Махмудалиев А.Р.

Таблица № 4.4.2.2. 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 № 4.4.2.3. 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:

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

4.4.3. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

Отчисления на социальные нужды составляет 27,1 %

4.4.4. Затраты на электроэнергию

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

Таблица № 4.4.4.1. 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

4.4.5. 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.

4.4.6. Затраты на водоотведение

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

4.4.7. Полная смета затрат на выполнение НИР**Таблица № 4.4.7.1. Полная смета затрат**

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	23336
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	496928,9

4.4.8. Оценка сравнительной эффективности исследования

Таблица № 4.4.8.1. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

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

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

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

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

После проведенных расчетов определил что наилучший результат дал текущий проект.

Вывод к четвертому разделу

В этой главе была проанализирована и рассчитана экономическая эффективность научных исследований.

Проанализирован целевой рынок и произведено сегментирование потенциальных покупателей разрабатываемых технологий или готового продукта. Также проведен SWOT-анализ и составлена итоговая матрица SWOT-анализа. Приведен план проекта и рассчитан бюджет научного исследования. Таким образом, можно сделать вывод о том, что предлагаемый научно-исследовательский проект имеет не только научную новизну, но и заявляет о своей экологичности, энергоэффективности и экономической эффективности.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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).

Целью работы является Комплексное изучение процессов ионно-плазменного азотирования сталей в условиях ионной бомбардировки различной интенсивности. Выявление тенденций в морфологии, структуре и механических свойствах поверхностей стальных образцов после такого вида упрочнения.

5.1. Производственная безопасность

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

1 Модифицированная установка для азотирования в дуговом разряде «ННВ-6.6-И1» объём рабочей камеры 0,25 м³. Основными элементами установки являются, расположенные на боковых поверхностях камеры типовой электродуговой испаритель и плазмогенератор “ТИНК

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.

5.1.1. Анализ производственных факторов, возникающих при проведении исследований

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[28].

5.1.2. 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 101 влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей (ГОСТ 12.1.005 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны").

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

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

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

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

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Проект относится к работе средней тяжести (категория Пб), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 5.1.2.1.:

Таблица № 5.1.2.1. 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.

5.1.3. Вредные вещества

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

При выполнении работы по упрочнению поверхности образцов, в лаборатории используется газ азот. Азот–газ без цвета и запаха (Таб. 5.1.3.1.).

Таблица № 5.1.3.1. Перечень веществ используемых при работе [ГОСТ 12.1.007-76]

Рабочий газ	ПДК р.з. мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
N	2 2	2	газ

Азот – физиологически инертный, нетоксичный газ. Замещая кислород в воздухе, и вытесняя собой кислород из организма, он воздействуют на человека как удушающие агенты (асфиксанта) по причине снижения парциального давления кислорода.

5.1.4. 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 должен превышать 80 дБА. Уровень шума установлен в ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА. Уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих с компьютером не должен превышать 50 дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65 дБА (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, рассматриваются как шумовая болезнь. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма.

Мероприятия по защите от шума выполняются с помощью применения средств и методов коллективной защиты, разработкой шумобезопасной техники, а также средств индивидуальной защиты. Защита от шума акустическими средствами предполагает звукоизоляцию (устройство звукоизолирующих кабин, кожухов, ограждений, установку акустических экранов); звукопоглощение (применение звукопоглощающих облицовок,

штучных поглотителей); глушители шума (абсорбционные, реактивные, комбинированные).

Если невозможно уменьшить шум, действующий на работников, до допустимых уровней, то необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ) - противозумные вкладыши из ультратонкого волокна “Беруши” одноразового использования, а также противозумные вкладыши многократного использования (эбонитовые, резиновые, из пенопласта) в форме конуса, грибка, лепестка. Они эффективны для снижения шума на средних и высоких частотах на 10–15 дБА. Наушники снижают уровень звукового давления на 7–38 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц. Для предохранения от воздействия шума с общим уровнем 120 дБ и выше рекомендуется применять шлемофоны, оголовья, каски, которые снижают уровень звукового давления на 30–40 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц.

5.1.5. 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.

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 $\rho_c = 50\%$ свежепобеленного потолка $\rho_n = 70\%$. 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)

$$h_c = 0,5 \text{ м.}$$

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.

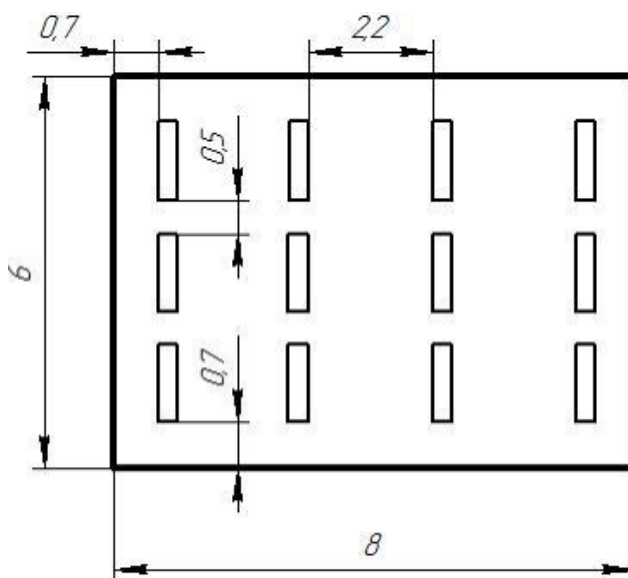


Рисунок 5.1.5.1. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

5.1.6. 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.

5.1.7. 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).

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 $I \leq 0.1 \text{ A}$, $U \leq 36 \text{ В}$, $R_{\text{заземления}} \leq 4 \text{ Ом}$.

Дополнительные электрозщитные средства в электроустановках

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

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

5.2. Экологическая безопасность

5.2.1. Региональная безопасность

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

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

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

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

5.2.2. Защита атмосферы

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

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

К сфере защиты ЗА и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и

одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

5.3. 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.

5.3.1. 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 Ан, Бн, Вн, Гн и Дн.

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.

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 5.3.1.1., предварительно плотно закрыв за собой дверь.



Рисунок 5.3.1.1. План эвакуации

5.4. 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 регулировку высоты сидений и спинки; его конструкция должна предусматривать также изменение угла

наклона спинки. Рабочее кресло должно иметь подлокотники. Регулировка каждого параметра должна легко осуществляться, быть независимой и иметь надежную фиксацию. Высота поверхности сидения должна регулироваться в пределах 400-500 мм. Ширина и глубина сиденья должна составлять не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки должна быть не менее 300 мм, ширина - не менее 380мм. Радиус ее кривизны в горизонтальной плоскости - 400 мм. Угол наклона спинки должен изменяться в пределах 90-110° к плоскости сиденья. Материал покрытия рабочего стула должен обеспечивать возможность легкой очистки от загрязнения. Поверхность сиденья и спинки должна быть полумягкой, с нескользящим, не электризующим и воздухопроницаемым покрытием.

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

Виды деятельности подразделяются на следующие группы:

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

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

Время непрерывной работы для I кат. - 2 часа; для II и III категории 1,5-2 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.

5.4.1 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе представлены результаты изучения, влияние интенсивности ионной бомбардировки на формирование азотированных слоев безводородной плазме газового дугового разряда. В ходе выполнения работ были изучены процессы ионно-плазменного азотирования, при различной интенсивности тока разряда диапазоне от 10 до 90А. Было изучено что, как изменялось морфология поверхности, структура при разных температурах нагрева и физико-механические характеристики таких как, твердости поверхности и глубина азотированного слоя. Исходя из этого можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что ток разряда влияет на величину температуры обрабатываемых изделий при одном и том же значении напряжения смещения.

2. При меньшем токе у нас получилась максимальная твердость сердцевине и минимальная глубина азотированного слоя

3. Установлено, что интенсивность воздействия ионной бомбардировки с ростом тока разряда приводит к изменению шероховатости поверхности и к более высокому значению глубины азотированного слоя.

4. Обнаружено, что при 200 °С азотирования закалочная структура и твердость сохраняются.

5. На величину твердости поверхности существенное влияние оказывает состав легирующих элементов в сталях.

6. Делая обобщающая заключения по работе можно сказать, что плазма несамостоятельного дугового разряда, позволяет в широких пределах управлять свойствами, в том числе, физико-механическими и трибологическими свойствами поверхности.

ПУБЛИКАЦИИ:

Часть материалов исследовательской работы была представлена в соавторстве на IX Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в машиностроении», проходившей в ЮТИ ТПУ (г. Юрга) с 24 по 26 мая 2018г.

Махмудалиев А.Р., Каримов А.К., Гончаренко И.М. Влияние состава газовой среды на параметры упрочнения стали при азотировании в тлеющем разряде . С. 74-77.-

Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов IX Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 295 с

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. 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.
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. Нефедов В.И., Черепин В.Т. Физические методы исследования поверхности твердых тел. М.: Наука, 1983, 296с.

12. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 2006. – 304 с.
13. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно – оптический анализ.: учебное пособие для вузов изд.4-е доп.и перераб.-М.: “МИСИС”, 2002, 360с.
14. Щанин П.М., Коваль Н.Н., Гончаренко И.М., Григорьев С.В. Азотирование конструкционных сталей в газовых разрядах низкого давления // ФХОМ, 2001, № 3, с.16-19.
15. Григорьев С.В., Коваль Н.Н., Щанин П.М. Генератор низкотемпературной плазмы химически активных газов. // in: Proc. 6th International Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, September 23-28, 2002, Tomsk, Russia, pp. 108-111.
16. Винтизенко Л.Г., Григорьев С.В., Коваль Н.Н., Толкачев В.С., Лопатин И.В., Щанин П.М. Дуговые разряды низкого давления с полым катодом и их применение в генераторах плазмы и источниках заряженных частиц. // Изв. Вузов. Физика, 2001, т. 44, вып. 9, с. 28-35.
17. Каплун В. Г. Особенности формирования диффузионного слоя при ионном азотировании в безводородных средах / В. Г. Каплун // ФИП. – 2003. – Т. 1. – № 2. – С. 141 – 145.
18. Е.В. Берлин, Н.Н. Коваль, Л.А. Сейдман плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей ТЕХНОСФЕРА Москва 2012 с. 167-186.
19. Панайоти Т. А. Создание максимальной насыщающей способности газовой среды при ионном азотировании сплавов / Т.А. Панайоти // Физика и химия обработки материалов. – 2003. – В. 4. – С. 70 – 78.
20. Muratore C. Low-temperature nitriding of stainless steel in an electron beam generated plasma / C. Muratore, D. Leonhardt, S. G. Walton, D. D. Blackwell, R. F. Femsler, R. A. Meger // Surface & Coatings Technology. – 2005. – № 191. – P. 255 – 262.

21. А.Н. Табенкин, С.Б. Тарасов, С.Н. Степанова. Шероховатость, Волнистость, Профиль. Санкт-Петербург ИПУ 2007. с.118-133
22. Williamson D. L. Relative roles of ion energy, ion flux, and sample temperature in low-energy nitrogen ion implantation of Fe-Cr-Ni stainless steel / D. L. Williamson, J. A. Davis, P. J. Wilbur, J. J. Vajo, R. Wei, J. N. Matossian // Nuclear Inst. And Methods in phys. Res. B. – 1997. – V. 127 – 128. – P. 930 – 934.
23. Meletis E. I. Plasma nitriding intensified by thermionic emission source. E. I. Meletis. US Patent and Trademark Office. – 1994. – Patent №5334264. – Aug. 22. – 1994.
24. Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Липецкий. Физические свойства металлов и сплавов. Metallurgy. 1980 с.56-85
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. 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.
27. Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Издательство ТПУ.- 2014. с.5-58.
28. С.В. Романенко, Ю.В. Анищенко. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ. Издательство ТПУ -2016. с.3-9.
29. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976, 102с.
30. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. Вашуль Х.: Пер. с нем.– М.: Metallurgy, 1988.– 320 с.
31. Александр Гуляев. Metallovedenie. Metallurgy, 1966- 250с.

32. Похмурский В.И. Коррозионно-усталостная прочность сталей и методы его повышение – Киев ; Наукова дума,1974. 184с.,ил.
33. Борисенок Г.В. и др Справочник. Химико – термическое обработка металлов и сплавов. 1981. 424с.

Приложение А

(обязательное)

ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Махмудалиев А.Р.		

Консультант школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коростелева Е.Н.	к.т.н.		

Консультант школы ШБИП:

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

CHAPTER 1. THE APPLICATION OF NITRIDING TO HARDEN THE STEEL

The task of reducing the wear rate of steel parts and increasing the service life was and remains one of the main tasks of metal working. There are a number of technological methods for processing steels and cast irons, which make it possible to significantly increase the wear resistance of parts, the most progressive and effective of which are the methods of hardening the surface layers of finished products. World experience shows that nitriding is economically feasible to increase the hardness, wear resistance and corrosion resistance of steels and alloys. One of the most promising types of this method is ion-plasma nitriding. When nitriding in the glow discharge, a gas mixture of hydrogen and nitrogen must be used, which eliminates the possibility of purposefully controlling the formation of the working layers according to the structure and properties. In addition, there are certain problems in ensuring safety and environmental conditions. Therefore, the development of new sources of active nitrogen generation to intensify the process of steel nitriding in environments that do not contain hydrogen for modern engineering is quite relevant.

1.1. Main technical methods of steel parts hardening

A large number of machine parts work in various (including aggressive) environments and in conditions of multiple repeated deformations (in the elastoplastic stage). In this regard, the parts quickly fail due to corrosion, which begins with the surface. To improve the reliability and durability, perseverance of machine parts in aggressive environments can be sufficiently strengthened only the surface layers. You can change the surface properties in the desired direction in various ways.

There are a lot of methods for hardening steel parts. Among them, the most famous are the following: heat treatment of metals, surface hardening, surface

hardening by plastic deformation, surfacing, spraying of coatings (thin membranes) in vacuum, chemical-thermal treatment methods, including nitriding.

1.1.1. Heat treatment of metals

Thermal treatment (heat treatment) is a set of heating, operations for soaking and cooling of hard metals and metal alloys. Heat treatment is carried out in order to change the structure and properties of metals and alloys, respectively, in a given direction. Heat treatment is used for a purposeful change in the phase composition and redistribution of components, the size and shape of crystalline grains, the morphology of defects, their concentration and distribution, which allows, in the final analysis, to easily obtain the required properties of materials. The tasks of heat treatment are liquidation of internal stresses in metals and alloys, improvement of machinability by cutting or pressure, increase of mechanical and operational properties, etc.

Heat treatment includes the following main types:

1. Annealing of the 1st kind-includes homogenization (diffusion) annealing, recrystallization annealing, annealing to relieve stresses;
2. Annealing of the 2nd kind is subdivided into complete annealing, incomplete annealing, isothermal annealing, spheroidization, normalization;
3. Hardening - used to obtain maximum hardness, strength and wear resistance of products;
4. Vacation - spend to bring the hardened alloy into a more stable structural state, remove internal stresses, increase viscosity and plasticity.

Normalization somewhat falls out of the general classification, because has particularities when applied to steels of varying degrees of alloying. All types of heat treatment differ from each other by the temperature of heating, the duration of soaking at this temperature and the cooling rate after the end of aging.

1.1.2. Chemical-thermal treatment

In order to change the chemical composition, structure and properties of the surface layer of the metal or alloy are widely used chemical–thermal treatment (CTE). CTE combines thermal and chemical effects and consists in surface treatment of materials to improve their durability, heat resistance, corrosion resistance, hardness and other useful properties. The methods of diffusion saturation of the treated surface are frequently used and developed in practice.

The processes of doping refer to methods of diffusion saturation, based on saturation of the surface of the processed metal with other chemical elements (for example, aluminum, zinc, chromium, nitrogen, etc.). As the atoms of the diffusing element accumulate, a diffusion flux from the surface into the processed metal arises on the saturation surface, the process being possible only when the solubility condition of the diffusing element in the processed metal is satisfied and at a sufficiently high temperature that would provide the necessary energy of the atoms. The development of the diffusion process leads to the formation of a diffusion layer, by which is meant the layer of the material of the part at the saturation surface, which differs from the initial one in chemical composition. The concentration of the diffusing element on the surface depends on the activity of the saturating medium and the rate of diffusion of atoms from the surface into the interior of the metal. At an excessively high rate of supply of atoms from the saturating atmosphere, it is possible to separate out the diffusing element on the surface to be treated, which prevents further saturation.

To date, there are many methods known, based on the phenomenon of diffusion saturation. Such processes as aluminizing, silication, chrome plating, boriding, titanization, galvanizing and others consist in diffusion saturation of the surface with aluminum, silicon, chromium, boron, titanium and zinc, respectively. Moreover, alloying, for example, became a large number of elements, with their small content, much more effectively affects its properties than alloying with one or two elements in a large number. The process of diffusion saturation can be

carried out in various ways: saturation from powder mixtures, suspensions and pastes, melts of metals and salts, using vacuum and in arc discharges, as well as doping with a laser beam and an electron beam.

1.1.2. Vacuum ion-plasma methods of material processing

The most convenient, often used and well-studied methods of vacuum ion-plasma surface treatment are the deposition of thin membranes on the surface of materials, as well as the modification of surfaces by diffusion saturation (in particular, nitriding).

Wide industrial applications were obtained by coating processes with evaporation in vacuum using arc discharges. Coating is based on the ability of metal atoms heated to evaporation temperature, in a high vacuum to move rectilinearly. The coating process can be divided into two stages: evaporation of the material in a vacuum and its condensation on the substrate to form a condensate film. The very process of motion of atoms or molecules of vapor is characterized by the degree of vacuum. It is known that in the case of a low vacuum, a large number of collisions of atoms of the evaporated material occur with each other and with the molecules of the residual gas, which leads to the loss of their original direction of motion and to the settling of the atoms of vaporized gas on the walls of the working chamber. In a high vacuum, the evaporated particles fly independently of each other without mutual collisions, without changing their direction, to the surface of the substrate. The process of coating formation and its properties in the future is greatly influenced by a number of factors: the parameters of the plasma generated in the arc-spraying of the cathode material; parameters of the gas plasma formed during ionization of the inert working gas; power supply parameters of the substrate (current, voltage, etc.). A significant influence on the formation of coatings is the substrate temperature and the degree of its purification before coating. So, at a sufficiently low temperature of the substrate, the atoms of the evaporated material can settle on the sample, and can be reflected from it and fly away. The ratio of the number of molecules

condensed on the substrate to the number of molecules that hit it is called the accommodation coefficient, which decreases significantly with increasing substrate temperature.

The use of coatings makes it possible to combine the properties of two or more materials (substrates and coatings) to produce composites having characteristics that cannot be obtained using a single material. As mentioned above, a great influence on the resulting treatment coating has the quality of the preliminary preparation of the sample, which includes grinding, polishing, washing in organic solvents. In case of poor preparation of the sample, low adhesion between the substrate and the coating is obtained, which can lead to its peeling or destruction during operation. The process of obtaining condensed coatings is quite promising. It is carried out mainly by the vacuum-plasma method, which, however, is inconvenient to use for protective parts having external surfaces of complex configurations; in addition, it is also impossible to work the internal surfaces of hollow articles and it is difficult to ensure a uniform adhesion throughout the surface. Therefore, in order to overcome the above-mentioned difficulties, as an alternative to coatings, it seems rational to use and develop methods of diffusion saturation at elevated surface temperatures of parts and products of various types of steels. Nitrogenation also applies to these methods.

1.2. The main types and technologies of nitriding steels

Nitriding is one of the most well-known and common methods of surface hardening of steel parts in modern industrial production. The nitriding process is based on the diffusion saturation of the surface of the workpiece with nitrogen, which greatly increases the hardness of the surface layer, its wear resistance, endurance limit and resistance to corrosion in environments such as atmosphere, water, steam, etc. When nitriding the metal, multilayer diffusion layers are formed, consisting of a surface nitride zone and a diffusion sublayer, an internal nitriding zone. The structure of the layer and its phase composition determine the operational properties of the nitrided articles. It is important that the dimensions of

the products after nitriding vary little, and therefore the process is carried out on finished products and is considered a finish operation. In installations of the Russian manufacturers as a source gas, a source of molecular nitrogen using ammonia, which dissociator decomposes into a mixture of H_2+N_2 with the ratio of hydrogen to nitrogen of the resulting atomic nitrogen diffuses into the metal at a temperature of 500 – 600°C.

1.2.1. Nitriding of steels

Nitriding can be subjected to various types of steels: structural, tool, ferritic titanium, martensitic aging, etc. Nitriding, for example, of tool steels, increases their hardness by 1.5 to 2 times, and the best combination of mechanical properties is achieved for this type of steel at a thickness nitrated layer 0.01 - 0.025 mm, the recommended temperature is 510 - 520 °C, with a process duration of 15 - 20 minutes. In this mode of nitriding, a nitrogen layer with high hardness HV 1340 – 1460 kgf/cm² is formed. Depending on the size of the processed product, the temperature and the duration of the process may vary. The strength and viscosity after nitriding decrease with increasing depth of the diffusion layer.

For the manufacture of various parts is widely used structural steel, reinforced by nitriding. This steel is pre-hardened and tempered to avoid decarburization, which can lead to the peeling of the nitrated surface. Nitriding itself is carried out at temperatures of 500 – 520 °C, which at a process duration of 15 – 30 min. allows to obtain layers with a maximum thickness of 1.0 mm and a surface hardness of HV 1100 – 1200 kgf/mm².

The nitriding process includes:

1. Preliminary heat treatment, consisting of quenching of high tempering. The purpose of this operation is to obtain increased strength and toughness in the core of the part.

2. Machining, in the form of grinding, to obtain the final dimensions of the part.

3. On sections of the product, which should not be subjected to nitriding, a thin layer of liquid glass or tin is applied to protect them from diffusion of nitrogen.

4. Nitriding.

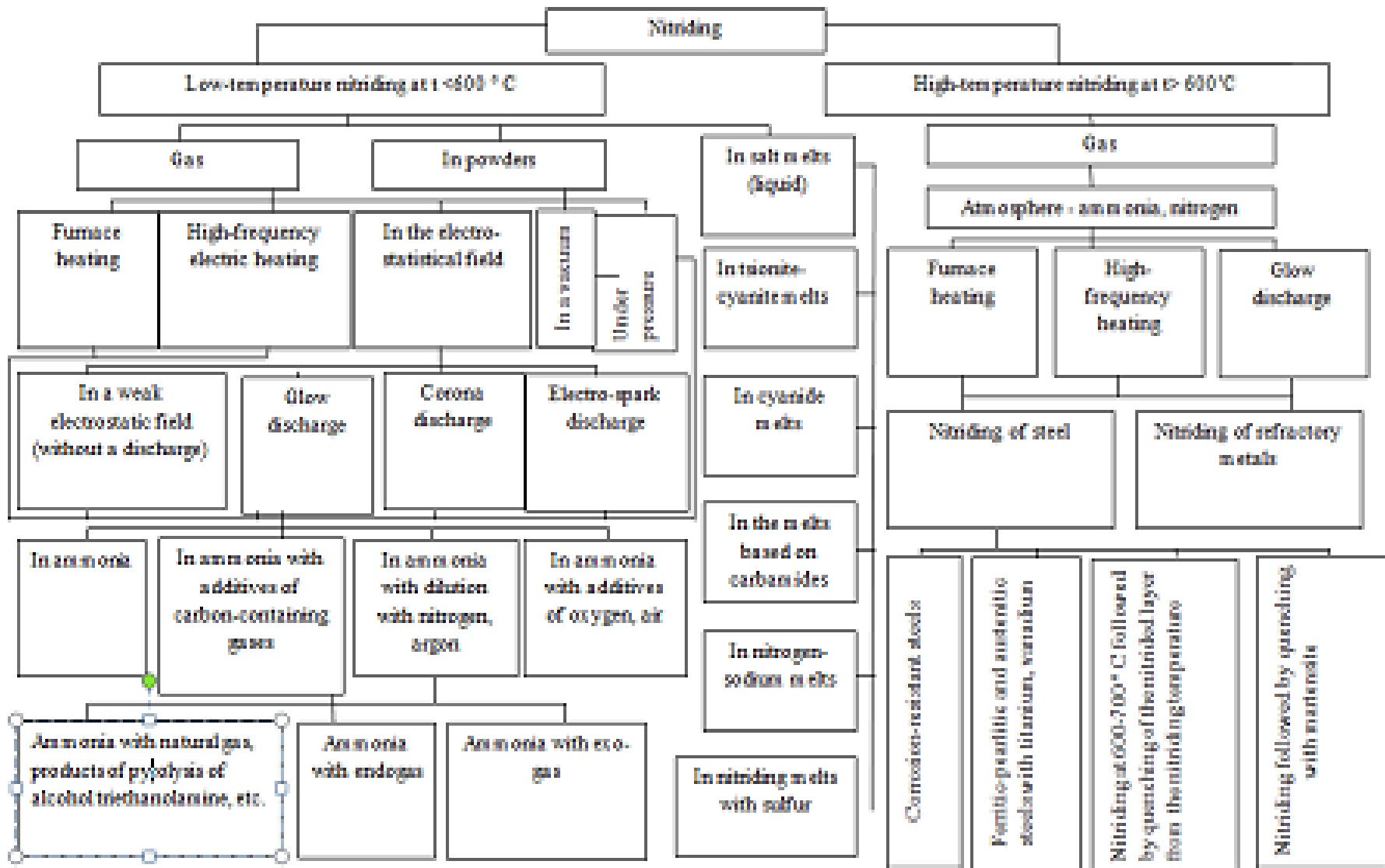
5. Final grinding or finishing of workpiece dimensions.

Nitriding, like surface hardening, creates an increase in the specific volume of the material on the surface, thus high internal compressive stresses appear. These stresses significantly reduce the tensile stresses from the external load when working with the product.

The data given in the table 1, characterize the nitriding processes, well-established at present and promising in the future. Traditional processes-in a salt bath and in a gas environment (in ammonia) create a completely certain type of layer (ϵ -nitrides). However, they are not able to meet the specific requirements for the structure of the layers, depending on the working conditions of the parts.

The nitriding process has disadvantages, and the main one is the duration of the process.

Table 1. Classification of nitriding processes.



1.2.2. The main types of nitriding

1. Gas nitriding

Enrichment of the surface layer of the product is carried out at temperatures from 400 to 1200 °C, depending on the material. This process occurs in dissociated ammonia. To regulate the mechanical and structural characteristics of the layer during gas nitriding, the products are used: two-, three-stage temperature regimes of saturation; dilution of dissociated ammonia: by air, less often by hydrogen.

2. Liquid nitriding

It is often possible to meet the process of nitriding in liquid media (Tenifer process) [4]. The process is carried out at 570 °C for 0.5 – 3 h in molten cyanide salts. Salts melted in a crucible made of titanium. Due to the low temperature in the steel diffuses mainly nitrogen, which is formed by the decomposition of cyanide salts. As a result of processing on the surface of the steel formed a thin (~ 7 – 15) microns carbonitride layer $Fe_3(N,C)$. This layer is not prone to brittle fracture and has high wear resistance. The hardness of the layer on carbon steels is HV 300-350 kgf / mm², and on doped - HV 600 - 1100 kgf / mm². The advantage of the method is a slight change in size, a disadvantage is the toxicity and high cost of cyanide salts.

3. Nitriding from electrolyte solutions

The use of the anode effect for the diffusion saturation of the surface treated with nitrogen in multicomponent electrolyte solutions is one of the types of high-speed electrochemical-thermal treatment (anodic electrolyte heating) of small-sized articles. The anode-part with a constant voltage in the range from 150 to 300 V is heated to temperatures of 450-1050 ° C. Achievement of such temperatures provides a solid and stable vapor-gas shell, which separates the anode from the electrolyte. To ensure nitriding in the electrolyte, in addition to the electroconductive component, donor substances, usually nitrates, are introduced.

4. Ion-plasma nitriding

The process of enrichment of products in a vacuum containing nitrogen (about 0.01 ATM.), in which there is a smoldering electric discharge. The object with the charge " plus " are the walls of the installation chamber, and the object with the charge " minus " are the parts subjected to nitriding. To regulate the mechanical and structural properties of the surface layer of the product is used (in different stages of the process): changing the flow rate of nitrogen, changing the current density, changing the degree of vacuum, additives to nitrogen of highly pure process gases, methane, oxygen, hydrogen, argon.

5. Nitriding in a glow discharge

To improve the generalization ability of the medium gas ions mainly use different types of gas discharges, such as ion-plasma nitriding in glow discharge, which is the most common method in industrial production. A glow discharge is formed at low gas pressures with a new current potential, and as the potential increases, the glow discharge is formed in the arc.

The essence of the method is as follows: in a rarefied nitrogen-containing atmosphere, a glow discharge is formed between the cathode (the product) and the anode (the chamber wall of the installation), and the gas ions bombard the cathode surface and heat it to the saturation temperature. The nitriding temperature is 470-580 ° C, the rarefaction is 1-10 mm Hg. The operating voltage ranges from 400 to 1100 V, the duration of the process is from a few minutes to 24 hours. A low pressure is necessary for stable burning of a glow discharge.

6. Nitriding in an arc gas discharge in a medium in which there is no hydrogen.

Currently, the nitriding plants operating on a glow discharge, usually use a gas mixture of hydrogen and nitrogen.

The traditional method of ion nitriding in a glow discharge of a nitrogen-hydrogen saturating gaseous medium has a number of serious drawbacks, among which: saturation duration of 20-30 hours, high probability of cathode spots formation on the surface of nitrated articles, uneven thickness of the nitrated layer over the surface of complex shape parts caused by the inhomogeneity of the cathode drop layer, and others. To overcome these shortcomings and improve the process in the direction of increasing the rate of formation of the strengthened layer, resource-saving, safety, new technical solutions are required. One of these solutions can be proposed low-voltage gas discharge, operating at pressures of the saturating medium a thousand times smaller than that of a glow discharge and allowing the formation of diffusion layers at a workpiece temperature of 550 °C in 5-6 hours. Hydrogen, being a good reducing agent, has a significant effect on the kinetics of formation of the nitrated layer, intensifying the process. However, as noted earlier, the presence of hydrogen in a saturating medium in significant quantities causes embrittlement of the surface (especially sharp edges) and softening of the substrate, which under certain conditions leads to a decrease in the strength and durability of the structural elements. The addition of argon to the hydrogen-containing saturating medium promotes an increase in the plasticity of the nitrated layer. Replacing hydrogen with argon in a saturating medium (a mixture of nitrogen and argon) eliminates the hydrogen embrittlement of the nitrated layer, but the energy of the ion nitriding process changes.

1.3. Nitriding in gas electric discharges

Electric discharge in gases is a complex and multifactorial phenomenon, and therefore the lack of a unified quantitative theory of all its types is quite understandable. It is known that under normal conditions, the concentration of charge carriers in the gas (ions and electrons) is small, so the gas is a good dielectric. Under the action of an external ionizer, a non-self-sustaining discharge arises, the existence of which depends on the action of the ionizer. The reason for the increase in current in this discharge is the ionization of gas molecules by

electrons, which under these conditions acquire the energy necessary for the ionization of neutral particles under the action of electric field forces, which in turn leads to the appearance of secondary electrons, which also accelerate between the electrodes in the further ionization of electrically neutral particles. Ionization of atoms and gas molecules is a process, as a result of which a free charge of the nucleus of electrically neutral particles arises and increases. In the simplest case, ionization is the splitting of an atom, either a positive ion and one or more free electrons.). As a result of such ionization, an avalanche-like increase in the electron flux arises, which leads to a significant increase in the current between the electrodes. This phenomenon develops at a very high potential difference, for example, in air at atmospheric pressure of -100 V / m . Ionization in these conditions, accompanied by a glow of gas, is called ignition of the gas discharge, or breakdown of the gas gap, and the discharge forming in this case is an independent discharge. The voltage at the electrodes necessary for the breakdown of the gas is called the discharge ignition voltage, and the voltage established on the electrodes after the breakdown is the burning voltage of the discharge, which, as a result of the described phenomenon, is of less importance.

Various forms of an independent discharge are known, differing both in appearance and in the character of the elementary processes that take place in this process. In the corona discharge, the excitation and ionization of neutral particles occur only in a narrow region near the electrode, and in the rest of the gas-discharge gap there exists a non-self-sustaining discharge. Spark discharge occurs at a high gas pressure (of the order of atmospheric and higher), a large distance between the electrodes and a high-voltage, but low-power power source. With a relatively small resistance of the external circuit, glow or arc discharges are formed. This depends on the value of this resistance and the gas pressure. The glow discharge can spontaneously transfer to the arc, with a corresponding increase in the gas pressure or current density (ie the discharge power).

1.4. Properties of nitrided materials and products

At present, nitriding of steel surfaces is used in various branches of engineering. The requirements for such products are reduced to an increase in wear resistance, corrosion resistance and fatigue strength, including contact endurance. Thus high precision geometric parameters nitriding parts in the absence of deformation (warpage), as well as simple and reliable saturation methods individual elements parts (local nitriding) make ionic nitriding is very cost-effective way of chemical-thermal treatment, especially in serial production.

High hardness of the surface is a necessary condition for ensuring wear resistance in most types of wear. The hardness of the diffusion zone is lower than that of the outer zone of the compounds, and its values decrease monotonically from the boundary of the two zones of the layer to values corresponding to the hardness of non-nitrided steel. The character and quantity of alloying elements in steel and the nitriding regime have a great influence on this characteristic. The distribution of microhardness over the thickness of the nitrided layer is an important operational characteristic. Increasing the hardness of the diffusion zone can be achieved by introducing a carbon-containing gas.

The ability to withstand failure under dynamic loading of the nitrided part is one of the main properties of steel, which determines the structural strength, i.e. providing reliability of hardened parts during operation. The plasticity of the layers obtained after ion nitriding is higher than after normal saturation, which is due to the features of their structure described above, and is one of the main advantages of ion treatment.

Increasing wear resistance is the main goal of nitriding steels. The harder the nitrided layer, the higher the resistance to abrasion. The high wear resistance of steels after ion nitriding is especially characteristic for parts that work under friction conditions without or with a lack of lubricant. To ensure the highest wear resistance, high hardness should be combined with a certain ductility.

Ion nitriding reduces the friction coefficient of the treated surfaces. Two nitrified layers obtained by the ion method slide well relative to each other, i.e. in this case there is no adhesion interaction.

Due to the appearance of compressive stresses on the metal surface due to its saturation with nitrogen, ion nitriding significantly increases the fatigue resistance of all structural steels.

In the formation of a dense external nitride zone, corrosion resistance of even unalloyed steels in the atmosphere, fresh water and steam significantly increases. After removing the layer by grinding 0.05 ... 0.15 mm ion nitriding has a clear advantage over conventional process.

According to numerous studies, such treatment does not change the morphological state of the surface, since ion nitriding is carried out at low temperature in a rarefied atmosphere. The state of the surface of the part does not change up to the smallest degrees of roughness corresponding to the polished surface. Thanks to cathode sputtering, the surface cleanliness of the nitride parts is improved or preserved. The introduction of nitrogen into the crystal lattice of steel, along with the formation of useful compressive stresses in the surface layer, should lead to some increase in dimensions. Thanks to the same effect of cathode sputtering, one can partially or completely compensate for the usual increase in the layer during nitriding.

Further reduce the deformation allows the reduction of temperature and duration of saturation, given the significant intensification of nitrogen diffusion in ion CTE. The change in the size of the nitrified layer does not exceed 10 μm [8]. At the same time, the surface roughness after ion nitriding remains the same as before treatment.

The data given allow us to recommend ionic nitriding for final machining of parts, thus eliminating the laborious finishing operation of grinding, in which part of the nitrified layer is removed, which is often undesirable.

Thus, based on the above-mentioned literature data, it can be noted that no matter how nitriding is carried out, it is necessary to strive to reduce energy resources, increase safety and environmental friendliness of the process.

In the first Chapter of this work, various methods of CTE were considered, but since the choice fell on the study of arc discharge, it would be desirable to give the advantages and disadvantages of other methods in relation to the method of nitriding of steels in an hydrogen-free gas medium of low pressure. Laser nitriding, advantages: high hardness and thickness of the nitrated layer; disadvantages: the microstructure of the nitrated layer changes completely and roughness increases significantly, uneven heating increases the probability of surface microcracks formation, low efficiency and high cost of laser equipment. Implantation of nitrogen ions, shortcomings: difficulties in processing complex profile parts, as well as high complexity and high cost of ion sources and high-voltage equipment. Plasma immersion ion implantation, in contrast to the use of sources of directional ion beams, allows processing of products of complex geometric shapes placed in a gas-discharge plasma, but experiments on nitriding of stainless steel, carried out by the authors of [26], have shown that, in comparison with classical ion implantation and plasma immersion ion implantation (PIII), the use of low-pressure gas discharges (in this case, a glow discharge) provides at the same temperatures processing high speed forming modified layers. The only one of all these methods that is currently implemented in the industry is nitriding in a glow discharge. But it also has a number of drawbacks, such as the use of hydrogen and ammonia during the process, a high process duration. In comparison with these methods nitriding in an arc discharge looks most promising. The working gas here is pure nitrogen, which eliminates the problems associated with ecology and explosiveness, to obtain a layer of the same thickness as for nitriding in a glow discharge for 24 hours, it is necessary to 6-8 times less time (3-6 hours). However, there are restrictions associated with the dimensions of the nitrated parts.

1.5. Statement of research tasks

After analyzing all the pros and cons of the method of nitriding in the arc discharge, for the successful implementation of its production were formulated the following goals and objectives:

The purpose of this paper is the experimental confirmation of the advisability of using a low-voltage discharge plasma to intensify the process of nitriding steels in a nitrogen gas environment that does not contain hydrogen. In particular, the questions of studying the effect of ion bombardment at different values of the discharge current on the intensity of the diffusion layer formation, the evolution of the morphology of the surfaces being treated and the degree of hardening were of interest.

To achieve this goal, a number of tasks were identified:

- to investigate experimentally the physical processes and phenomena occurring with steel samples during treatment in gas-discharge hydrogen-free plasma;

- to study the influence of the main technological options on changes in the structure, morphology and mechanical properties on the surfaces of steel samples.