

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

---

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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Особенности эрозии поверхности материалов при взаимодействии с ионами газоразрядной плазмы.</b>

УДК 537.57:533.9:620.22-408

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Куминов Павел Олегович		

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)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
Р1	Применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и обработки новых материалов
Р2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
Р3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
Р4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных технологий обработки материалов, нано технологий, создания новых материалов в сложных и неопределенных условиях
<b>Универсальные компетенции</b>	
Р7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
Р8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, разрабатывать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
Р9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
Р11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

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

---

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Коростелева Е.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ61	Куминов Павел Олегович

Тема работы:

Особенности эрозии поверхности материалов при взаимодействии с ионами газоразрядной плазмы.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования являются образцы материалов: Сталь 40Х, Д16, 12Х18Н10Т, ВК6.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Экспериментальное изучение механизмов формирования периодического микрорельефа на поверхности твердых тел при бомбардировке химически нейтральными газовыми ионами. Разработка практических способов подготовки образцов материалов для исследования особенностей их микроструктуры без жидких электролитов.
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в Microsoft PowerPoint
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Старикова Е.В.
Социальная ответственность	Раденков Т.А.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Демьяненко Н.В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Основная часть, Литературный обзор, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», Социальная ответственность – русский язык	
<b>На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:</b>	
Литературный обзор	
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ61	Куминов П.О.		

## Реферат

Магистерская диссертация состоит из 103 с., 29 рисунков, 31 таблиц, 31 использованного источника, 1-го приложения.

Ключевые слова: покрытие, ионный пучок, дуговой разряд, микрорельеф, универсальный вакуумный пост.

Объектом исследования магистерской диссертации является формирование рельефа заряженными частицами.

Цель работы – экспериментальное изучение механизмов формирования периодического микрорельефа на поверхности твердых тел при бомбардировке химически нейтральными газовыми ионами;

Исследование влияния физических параметров на процесс бомбардировки, формируемый ускоренным ионным пучком под низким давлением в газоразрядной среде.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

Изучение особенностей распыления материалов двумя типами ионов: высокоэнергетическим (4-6 кэВ) и низкоэнергетическим (до 1 кэВ), причем следует учитывать условия формирования микрорельефа, так как они будут различны, исходя из сущности образования ионных потоков.

Проведение сравнительного анализа таких режимов, как ионный ток, напряжение и температура на основе формирования микрорельефа образцов материала двумя источниками ионов: ионным пучком и дуговым разрядом.

Установление тенденции изменения режимов процесса в зависимости от физических характеристик образцов материала.

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	9
<b>ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПОЛУЧЕНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ.....</b>		<b>11</b>
1.1	Методы получения морфологии.....	11
1.2	Получение микроструктуры химически травлением.....	12
1.3	Получение микроструктуры ионной бомбардировкой.....	13
1.3.1	Ионный обеспечивающие пучок.....	13
1.3.2	Классификация различных групп распыления.....	17
1.4	Метод катодного распыления.....	19
1.5	Метод ионного осаждения.....	21
1.6	Постановка задач и цели работы.....	22
<b>ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>		<b>24</b>
2.1	Оборудование для выявления микроструктуры материалов в дуговом разряде.....	24
2.2	Установка ВУП-4 для выявления микроструктуры ионным пучком окально.....	26
2.3	Материалы для исследования.....	29
2.4	Технология подготовки образцов к испытаниям и исследованиям.....	31
2.5	Оборудования для исследования полученных результатов.....	32
<b>ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ.....</b>		<b>35</b>
3.1	Описание процесса ионного травления в вакуумном посту ВУП-4.....	35
3.2	Описание процесса травления в ионно-плазменном разряде.....	36
3.3	Исследование ависимостей.....	37
3.3.1	Зависимость тока и напряжения от давления.....	37
3.3.2	Зависимость плотности ионного тока от расстояния.....	38
3.3.3	Влияние напряжения смещения на динамику нагрева образца....	39
3.4	Растравленность образца относительно падению угла ионного пучка.....	40
3.5	Зависимость области растравленного отпечатка от тока ионов...	41
<b>ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....</b>		<b>50</b>
4.1	Предпроектный анализ.....	50
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	50
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	52
4.1.3	SWOT-анализ.....	53
4.1.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	55
4.1.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	56 <sup>7</sup>

4.2	Инициация проекта.....	56
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом.....	57
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	57
4.3.2	Контрольные события проекта.....	58
4.3.3	План проекта.....	59
4.3.4	Бюджет научного исследования.....	60
4.3.5	Матрица ответственности.....	62
4.3.6	Реестр рисков проекта.....	63
4.3.7	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	63
<b>ГЛАВ.5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>		<b>65</b>
5.1	Введение.....	65
5.1.1	Анализ вредных производственных.....	66
5.1.2	Шум.....	66
5.1.3	Расчет уровня шума.....	67
5.1.4	Вредные вещества.....	68
5.1.5	Микроклимат на рабочем месте.....	70
5.1.6	Освещение на рабочем месте.....	72
5.1.7	Расчет общего равномерного освещения.....	73
5.2	Анализ опасных факторов на рабочем месте.....	76
5.2.1	Статическое электричество.....	76
5.2.2	Поражение электрическим током.....	77
5.3	Охрана окружающей среды.....	78
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	82
	Вывод к пятому разделу.....	84
	<b>Основные выводы по всей работе.....</b>	<b>85</b>
	<b>Список литературы.....</b>	<b>86</b>
	<b>Приложения А.....</b>	<b>88</b>



## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в машиностроении на стадии технического проекта необходимо произвести опыты над образцом и выявить его структуру методом металлографии. Перед тем как произвести металлографию, нужно создать на поверхности шлиф, который, обычно, выполняется травлением. Травление выполняют несколькими способами: химическим, электрохимическим и ионно-плазменным.

Ионно-плазменное травление в вакууме является прогрессирующим методом для выявления структуры металлов при металлографии. Удаление атомов, находящихся на поверхности, при бомбардировке ускоренных частиц твердого тела происходит в результате столкновения бомбардирующих частиц и атомов в граничных слоях.

При химическом травлении необходимо подобрать реактивы для определенного материала, которые могут быть дорогостоящими или недоступными для многих лабораторий из-за отсутствия сертификата для работы с данным реактивом. Ионно-плазменное травление не нуждается в опасных реактивах; этот процесс происходит на установках, не занимающих много места, что является актуальным в данной сфере.

Процессы ионно-плазменной обработки в вакууме позволяют обеспечить решения многих технологических задач при производстве электроники: травления и нанесения материалов, создания материалов с различными электрофизическими характеристиками.

Также, преимуществом обработки материалов является низкотемпературная газовая плазма низкого давления. Плазма источника должна иметь высокую плотность и значительную температуру ионов, но при всем этом ионная температура должна быть низкой, для получения плазмы с низкой численной характеристикой заряженного пучка. Данная плазма имеет вид слабого ионизированного газа, состоящий из смеси

покоящихся и инертных атомов и молекул, продуктов диссоциации молекул - радикалов, электронов и заряженных ионов.

Низкое давление в рабочей камере обеспечивает снижение потерь в ионном потоке и устранение возможность расфокусировки пучков. Давление в рабочей и разрядной камерах зависит от газового потока, поступающего в разрядную камеру. Уменьшение потока вызывает снижение ионного тока и, соответственно, скорости травления. Имеется возможность изменять скорость травления образца, поменяв инертный газ в системе подач, также имеется возможность изменить скорость, варьируя расстояние “ образец – источник ионов ”.

В направлении ионизирования актуальность принимает несколько течений: модернизация конструкции, глубокое исследование процессов и результатов травления, а также автоматизация ионно-плазменного травления. Данные исследовательские пути имеют повышенное внимание, при достижении которых можно получить рывок в материаловедении, а так же в импортозамещении.

## **ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПОЛУЧЕНИЯ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ.**

В данной главе будут описаны методы выявления микроструктуры, рассматриваются процессы образования элементов рельефа на поверхности при распылении тяжелыми ионами. В начале главы после краткого описания, о микрорельефе и типе травления, далее дается определение основных процессов формирования характерных структур.

### **1.1 Методы получения морфологии.**

Внутренняя структура и состав металлов неоднородны, так как обычно они состоят из многочисленных зёрен в виде прилегающих друг к другу кристаллитов. Чаще всего эти неоднородности имеют микроскопические размеры, поэтому соответствующие разновидности внутренней структуры называются микроструктурами [3].

С точки зрения геометрических параметров микроструктуры могут различаться по величине, форме и ориентировке зёрен. Различия в составе характеризуются относительным количеством зёрен присутствующих фаз и локальной сегрегацией внутри отдельных зёрен.

Наиболее характерной особенностью микроструктуры является присутствие внутренних границ, разделяющих зёрна в металле. Независимо от того, будут ли это границы между разориентированными зёрнами одной фазы или между зёрнами различных фаз, они представляют собой резкие изменения внутренней структуры металла [21].

Микроструктура и соответственно свойства металла не постоянны, они могут видоизменяться под влиянием различных внешних факторов, таких как:

- механические силы,
- тепловое воздействие,
- химическое взаимодействие [4].

Для выявления микроструктуры поверхности травят реактивами, зависящими от состава сплава. Различные фазы протравливаются

неодинакова и окрашиваются по-разному. Можно выявить форму, размеры и ориентировку зерен, отдельных фазы и структуры составляющих.

Для идентификации микроструктуры материала поверхностный слой образца подвергается травлению. Изначально материал обрабатывают спиртом, с целью обезжирить исследуемую поверхность. Наиболее часто применяется травление методом избирательного растворения фаз. Он основан на различии физико-химических свойств отделенных фаз и пограничных участков зерен. В результате различной интенсивности растворения создается рельеф поверхности шлифа [6].

## **1.2 Получение микроструктуры химически травлением.**

Для идентификации микроструктуры изначально необходимо подобрать реактивы, которые способны растворить поверхностный слой материала, затем их комбинируют и определяют оптимальную концентрацию для травления. В итоге, на поверхности шлифа происходит растворение одних фаз, окисление и окрашивание других. Химическое травление реализуется посредством опускания материала в травящий реактив или протирания поверхностного слоя материала с использованием тампона. Длительность процесса травления обычно устанавливается опытным путем. Конечным этапом травления является тщательная промывка водой и сушка фильтрованной бумагой [2].

Признаком недотравленности шлифа материала, как правило, является очень светлая и недостаточно выявленная структура образца. Это значит что процесс травления необходимо повторить. Но, если поверхностный слой образца оказался слишком темным, это значит что шлиф перетравлен, и его необходимо повторно полировать и травить [1].

Примеры рекомендуемых реактивов для выявления структуры различных металлов и сплавов приведены в табл. 1.

**Таблица 1.1.** Травители и режимы для выявления микроструктуры некоторых металлов и сплавов

Состав травителя	Способ употребления	Область применения
Ниталь: азотная кислота - 1-5 мл; этиловый (или метиловый) спирт - 100 мл	Химическое травление от нескольких секунд до 1-2 мин	Для травления железоуглеродистых сплавов (сталей и чугунов)
Хлорное железо – 5 г; соляная кислота - 10 мл; вода - 85 мл	Химическое травление в течение 3-10 с	Для выявления микроструктуры медных сплавов
$H_2SO_4$ - 74 мл $H_3PO_4$ - 74 мл $CrO_3$ - 16 гр $H_2O$ - 56 мл	Химическое травление от 5 до 8 минут	Электролит для травления Д16
5-20%-ый раствор NaOH в воде или в метиловом спирте	Химическое травление	Для выявления микроструктуры алюминия и его сплавов

### 1.3 Получение микроструктуры ионной бомбардировкой.

Ионное травление - процесс удаления поверхностных слоев материала под воздействием бомбардировки ионами инертных газов (обычно аргона) с высокой энергией. Ионы при столкновении с поверхностью подвергаемого травлению образца передают поверхностным атомам свою энергию. Для того чтобы атомы с поверхности вещества могли от нее оторваться (распылиться), энергия, передаваемая атомам, должна быть больше энергии химической связи атома в решетке, а импульс, сообщаемый атому, должен быть направлен наружу от поверхности [8].

#### 1.3.1 Ионный пучок

Ионный пучок - это направленный поток положительных (одно- или многозарядных) или отрицательных ионов, имеющий обычно малые

поперечные размеры по сравнению с длиной и движущийся со скоростью, значительно превышающей хаотические тепловые скорости составляющих его частиц. Имеет применение в ускорителях, установках термоядерного синтеза, масс-спектрометрах, различных технологических установках микроэлектроники [11].

Поведение ионного пучка зависит от начальной направленной скорости ионов, их тепловых скоростей, внешних электрических и магнитных полей, парных столкновений ионов с частицами среды, а также от собственного объёмного заряда пучка и магнитного поля его тока. Важным параметром ионного пучка, характеризующим влияние объёмного заряда на его свойства, является первеанс

$$P = \frac{I}{U^{3/2}}$$

где  $I$  - ток пучка, а  $U$  - ускоряющая ионы разность потенциалов [19]. Пучки с постоянным первеансом при одинаковых размерах подобны друг другу. Хотя разброс тепловых (хаотических) скоростей ионов может быть мал по сравнению с их направленной скоростью, часто именно тепловые скорости ограничивают возможную фокусировку ионного пучка, искажая его форму [28]. Это качество пучка характеризуется т. н. эмиттансом, связанным с проекцией фазового объёма пучка на плоскость, который примерно равен

$$V_{\phi} = 2|R_0\sqrt{\frac{2T_i}{Mc^2}}, \quad (1.2)$$

где  $R_0$  - радиус плазмы, служащей источником ионов с температурой;

$T_i$ -, выраженной единицах энергии;

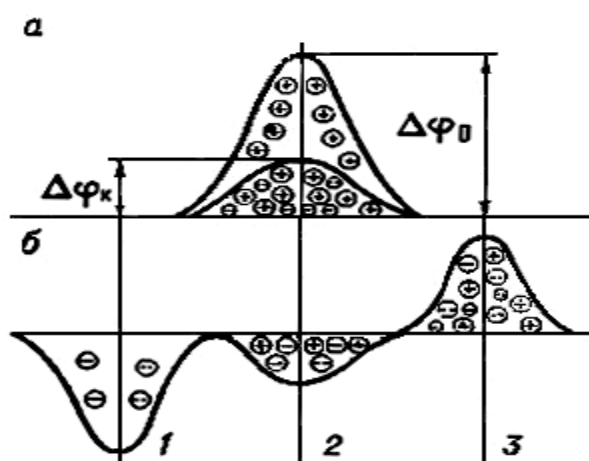
$M$  - масса иона [24].

В отсутствие частиц противоположного знака, осесимметричный ионный пучок расширяется вдоль оси  $z$  под действием собственного заряда, и профиль ионного пучка описывается формулой:

$$f\left(\frac{R}{R_0}\right) = 2^{-\frac{3}{4}}I^{\frac{1}{2}}\left(\frac{M}{e}\right)^{\frac{1}{4}}U^{-\frac{3}{4}}R_0^{-1}z \quad (1.3)$$

$$f(x) = \frac{1}{2} \int_1^x \frac{dy}{\sqrt{\ln y}} \quad (1.4)$$

Для сохранения формы ионного пучка их объемный заряд должен быть скомпенсирован зарядом частиц противоположного знака. Наиболее распространена «газовая» компенсация объемного заряда в ионном пучке. При столкновении некоторых положительных, ионов пучка с атомами остаточного газа образуются электроны, и относительно медленные положительные ионы. Последние выталкиваются из пучка электрическим полем, а электроны накапливаются в нём, несмотря на то, что этому препятствуют кулоновские столкновения их с первичными ионами. Так достигается не полная, но значительная компенсация объемного заряда в пучке положительных ионов (Рис. 1.1, а). Иначе происходит газовая компенсация объемного заряда в пучке отрицательных ионов (Рис. 1.1, б). В этом случае при малом давлении газа накапливаемые медленные положительные ионы также лишь частично компенсируют объемный заряд ионного пучка. Однако при достаточно большом давлении газа происходит перекомпенсация объемного заряда: за счёт накопления большого числа медленных положительных, ионов потенциал в пучке изменяет свой знак и происходит «газовая фокусировка» пучка отрицательных, ионов [30].

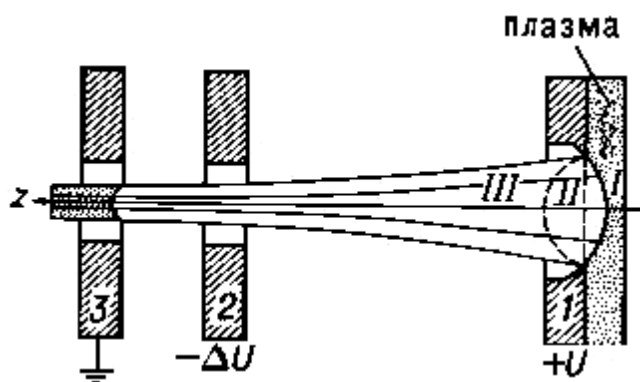


**Рисунок 1.1.** Радиальное распределение потенциала: а - в пучке положительных ионов до компенсации ( $\Delta\varphi_0$ ) и после неё ( $\Delta\varphi_k$ ); б - в пучке отрицательных ионов при различных давлениях газа: 1 - в высоком вакууме;

- 2 - при большом давлении, когда пучок в значительной мере компенсирован;
- 3 - при большом давлении, когда произошло обращение знака потенциала.

Другой способ компенсации объёмного заряда ионного пучка состоит в «принудительном» введении в ионный пучок пучков зарядов противоположного знака, т. е. в совмещении пучков. Так получают синтезированные ион-электронные или ион-ионные пучки с компенсированным объёмным зарядом; при этом одновременно с компенсацией объёмного заряда часто осуществляется необходимая токовая компенсация. В результате происходит переход к плазменным потокам, называемым в плотных ионных пучках ионно-пучковой плазмой. Из-за немаквелловского распределения скоростей возникают коллективные явления - электронные и ионные колебания. Коллективные эффекты, приводя к изменению фазового объёма, также влияют на транспортировку ионного пучка [12].

Для получения ионного пучка часто используют ионные источники с газоразрядными ионизационными камерами и тогда отбор ионов осуществляется не с фиксированной поверхности твёрдого тела, а с границы плазмы, перемещающейся при изменении внешних условий или режима работы источника (Рис. 1.2) [10].



**Рисунок 1.2.** - Система первичного формирования ускоренного пучка ионов, извлекаемых из плазменного источника: 1, 2, 3 - Электроды.

I - вогнутая граница плазмы, II —плоская, III —выпуклая.



В этом случае первичное формирование И. п. связано с так называемой плазменной фокусировкой. При увеличении ускоряющей разности потенциалов  $U$  граница плазмы из выпуклой (III) становится вогнутой (I), создаются условия для фокусировки пучка. Электрод 2 с отверстием для пучка, имеющий потенциал ниже потенциала заземлённого электрода 3, удерживает электроны, компенсирующие ионный пучок, и ускоряет сам ионный пучок. В дальнейшем ионные пучки могут фокусироваться с помощью электростатических и магнитных линз. Сжатие ионного пучка связано с его «охлаждением» — уменьшением фазового объёма. Одним из методов охлаждения «горячего» ионного пучка является совмещение его с «холодным» электронным пучком [7].

### **1.3.2 Классификация различных групп распыления**

При бомбардировке поверхности твердого тела атомными частицами поверхность разрушается. Данное явление, называемое теперь распылением, впервые было обнаружено в середине прошлого столетия в газовом разряде, но сейчас известно, что оно носит весьма универсальный характер. Бомбардировка любыми тяжелыми частицами может приводить к разрушению поверхности любого материала, хотя и с весьма разной эффективностью; и даже облучение поверхности легкими частицами, например, электронами или фотонами, может вызывать значительную эрозию некоторых классов материалов. Скорости разрушения характеризуются коэффициентом распыления  $Y$ , который определяется как среднее число удаленных с поверхности атомов, приходящееся на одну бомбардирующую частицу [31]. Вообще говоря, коэффициент распыления зависит от типа распыляемого материала и его состояния и в особенности от детальной структуры и состава поверхности, а также от характеристик падающей частицы и от геометрии эксперимента. Достоверные экспериментальные значения величины  $Y$  обычно лежат в интервале  $10^{-5} \leq Y \leq 10^3$  атомов на одну упавшую частицу (гл. 4). Меньшие значения трудно

измерить, а большие значения коэффициента распыления возможны лишь при некоторых особых условиях бомбардировки.

Физическое распыление происходит при энергиях падающих частиц, измеряемых десятками и сотнями электронвольт, и распространяется до мегаэлектронвольтной области, но оно ослабевает в области нескольких электронвольт, в противоположность химическому распылению, которое может иметь место вплоть до очень низких энергий. Правда, резкой границы между физическим и химическим распылением не существует. При энергиях, измеряемых многими гигаэлектронвольтами, эффективность обоих видов распыления должна быстро уменьшаться, поскольку ослабевает взаимодействие падающих частиц с атомами мишени [25].

Существует два вида ионного травления: реактивное ионно-плазменное и реактивное ионно-лучевое травление. При реактивном ионно-плазменном травлении обрабатываемые образцы помещают на электрод газоразрядного устройства и бомбардируют ионами химически активной плазмы [17]. При реактивном ионно-лучевом травлении образцы помещают в высоковакуумную камеру, а их бомбардировка осуществляется из автономного источника ионами химически активных газов.

Разновидностью ионного травления является ионно-химическое (реактивное) травление, при котором в плазму вводят химически активный газ, обычно кислород [22]. Химическое взаимодействие между атомами подложки и добавленным газом влияет на скорость травления.

Бомбардировка твердых веществ потоками быстрых ионов, атомов, ядер атомов, нейтронов, электронов, кластеров и микрочастиц с энергией 10-20 эВ и выше приводит к распылению (эрозии) их в виде атомов, ионов, молекул и кластеров (нейтронов и заряженных комплексов из многих атомов) [32].

Ионное травление используется для очистки поверхности образцов, для получения профилей (например, для измерения изменения состава образца по глубине), также оно позволяет выявить структуру поверхности.

Изменения морфологии поверхности неизбежны при взаимодействии ионов с твердым телом, но насколько они заметны — это зависит от конкретных параметров твердого тела и окружающей его среды, а также от плотности потока первичных ионов [18]. Макроскопическим следствием распыления является эрозия мишени. Если бы мишень была однородной и аморфной, а плотность потока ионов — однородной, то можно было бы ожидать равномерной эрозии материала, при которой первоначально плоская поверхность остается макроскопически плоской в ходе ионной бомбардировки [23].

Но, так как реальные мишени очень редко бывают аморфными или однородными, а чаще всего являются кристаллическими, первоначально плоская поверхность не остается плоской в ходе бомбардировки — на ней появляется множество впадин и выступов неправильной формы, возникающих отчасти из-за различия коэффициентов распыления зерен разной ориентации, а отчасти из-за наличия границ зерен и других дефектов, первоначально имевшихся в твердом теле, а также возникших в результате ионной бомбардировки. [13]

Подобные изменения морфологии можно считать «собственными», так как они обусловлены взаимодействиями лишь в самой системе ионы—твердое тело. Но возможны и «несобственные», или примесные, эффекты, возникающие вследствие возмущения процесса взаимодействия ионов с твердым телом примесями, загрязнениями и инородными включениями как на поверхности, так и в объеме твердого тела.

#### **1.4. Метод катодного распыления**

Метод основан на том, что мишень из материала, который надо распылить, бомбардируется быстрыми ионами, в результате чего с поверхности мишени выбиваются атомы, осаждающиеся на расположенную вблизи подложки (рис. 1.3). Источником ионов служит плазма, возникающая в среде инертного газа при давлении  $P=0,013-13$  Па (10-10-1 мм рт.ст.). По способу формирования разряды различаются на диодные, триодные,

магнетронные системы. Применение того или иного способа формирования разряда позволяет достигнуть высокой скорости нанесения покрытий [15].

Метод катодного распыления позволяет преодолеть ряд трудностей, встречающихся при термическом методе: снизить температуру источника вещества, использовать сравнительно низкий вакуум, избегать изменения состава конденсата при испарении сплавов, получить покрытия из любых тугоплавких материалов, обеспечить равномерное распределение конденсата по подложке с большой площадью. При катодном распылении плазма может создаваться тлеющим или высокочастотным разрядом. Последний способ позволяет не только проводить катодное распыление при пониженном давлении, но и значительно повысить скорость осаждения материала, а также наносить диэлектрические материалы [14]. Энергия вылетающих из подложки частиц может достигать нескольких электронвольт, а степень ионизации достигает 1%, что позволяет получать покрытия с несколько лучшей адгезией и более плотные, чем термические покрытия.

Свойства пленок, полученных методом катодного распыления, зависят от ряда факторов: качества материала мишеней, температуры мишени и подложки, энергии плазмы, давления газа в рабочей камере, конструкции установки и т.п. Скорость нанесения покрытий в несколько раз ниже, чем в термических методах. Это связано с тем, что скорость распыления зависит от давления в межэлектродном пространстве. Повышение давления приводит к росту концентрации ионов, следовательно, и скорости распыления. Однако коэффициент распыления при давлениях выше 10 Па сильно уменьшается из-за обратной диффузии распыленных молекул к мишени, что снижает скорость освящения вещества на подложке и приводит к увеличению содержания газовых включений в пленке.

Преимущества метода:

- реализация процесса при низких температурах;
- высокий коэффициент использования материала;
- достаточно простые установки.

Недостатки метода:

- малая скорость травления (10 - 10 - мкм/мин);

### 1.5. Метод ионного осаждения

При данном методе обработки в пространстве между обрабатываемой поверхностью (подложкой) и источником осаждаемого материала (испарителем) создается тлеющий разряд в атмосфере инертного газа (Ar, Xe) при давлении порядка 1 Па, либо в парах осаждаемого материала. При ионном осаждении подложка выполняет роль катода. Осаждаемое вещество, частично ионизируясь в разряде, ускоряется электрическим полем и внедряется в поверхность подложки (рисунок 1.3). В этих условиях частицы осаждаемого вещества приобретают к моменту удара с поверхностью подложки большую кинетическую энергию, что способствует проникновению их в материал подложки на заметную глубину. Степень ионизации может достигать 80-90%, энергия конденсирующихся частиц достигает  $E_i = 10-20$  эВ, что делает возможным протекание некоторых типов реакций, неосуществимых при отсутствии ионизации.

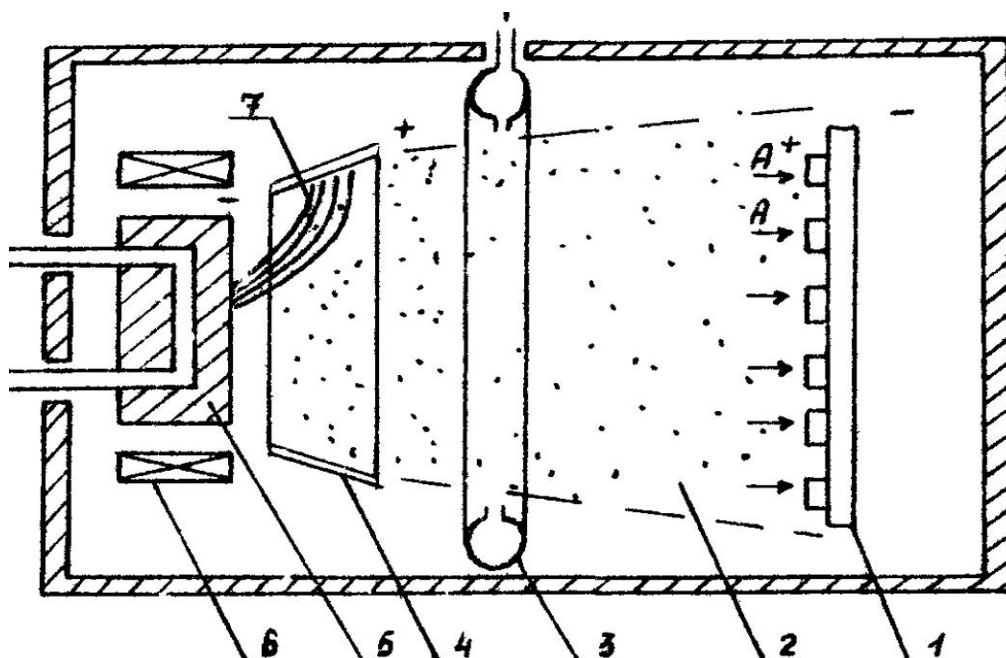


Рисунок 1.3. Схема установки для ионного осаждения покрытий с электродуговым испарителем. 1 - подложка; 2 - плазма; 3 - коллектор подачи газа; 4 - анод; 5 - охлаждаемый катод; 6 - магнитная катушка

Наличие слоя прикатодного падения потенциала, в точности повторяющего форму детали, позволяет достаточно эффективно обрабатывать поверхности самой произвольной формы. Размеры обрабатываемой детали лимитируются фактически только размерами вакуумной камеры. В промышленных установках для создания плазменных потоков различных рабочих веществ используются процессы эрозии электродов в катодном пятне вакуумной дуги (плазменные ускорители) [16].

Использование ускорителей отличается непосредственно от ионного осаждения в тлеющем разряде тем, что ускорители создают направленный поток.

Процесс ионного осаждения протекает в два этапа: очистка и осаждение покрытия. На стадии очистки подложка служит распыляемым катодом тлеющего разряда и подвержена бомбардировке положительными ионами остаточных газов (либо ионами металлов), а также действию ультрафиолетовых лучей из области тлеющего разряда.

### **1.6. Постановка задачи и цели работы**

Цель настоящей работы является экспериментальное изучение механизмов формирования периодического микрорельефа на поверхности твердых тел при бомбардировке химически нейтральными газовыми ионами;

Исследование влияния физических параметров на процесс бомбардировки, формируемый ускоренным ионным пучком под низким давлением в газоразрядной среде.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

Изучение особенностей распыления материалов двумя типами ионов: высокоэнергетическим (4-6 кэВ) и низкоэнергетическим (до 1 кэВ), причем следует учитывать условия формирования микрорельефа, так как они будут различны, исходя из сущности образования ионных потоков.

Проведение сравнительного анализа таких режимов, как ионный ток, напряжение и температура на основе формирования микрорельефа образцов материала двумя источниками ионов: ионным пучком и дуговым разрядом.

Установление тенденции изменения режимов процесса в зависимости от физических характеристик образцов материала.

## **ГЛАВА 2. ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИОННОГО ТРАВЛЕНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Данная глава посвящена описанию оборудования, на котором проводились эксперименты. Обоснован выбор материала исследуемых образцов. Представлены методики анализа результатов.

### **2.1. Оборудование для выявления микроструктуры материалов в дуговом разряде.**

Эксперименты по выявлению микроструктуры осуществлялось в плазме дугового разряда низкого давления, которые проводились на модернизированной вакуумной ионно-плазменной технологической установке. Основными элементами установки являются типовой электродуговой испаритель и плазмогенератор “ПИНК”, которые располагаются на боковых поверхностях камеры. 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, но дуговой испаритель в данных экспериментах не использовался. 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 с использованием форвакуумного и турбомолекулярного насосов [24]. Через токоввод на образцы подается регулируемое отрицательное напряжение смещения величиной от 0 до - 1000 В, благодаря которому происходит до ускорения ионов в слое пространственного заряда, образующемся вблизи поверхности образцов. В качестве рабочего газа используется аргон. 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

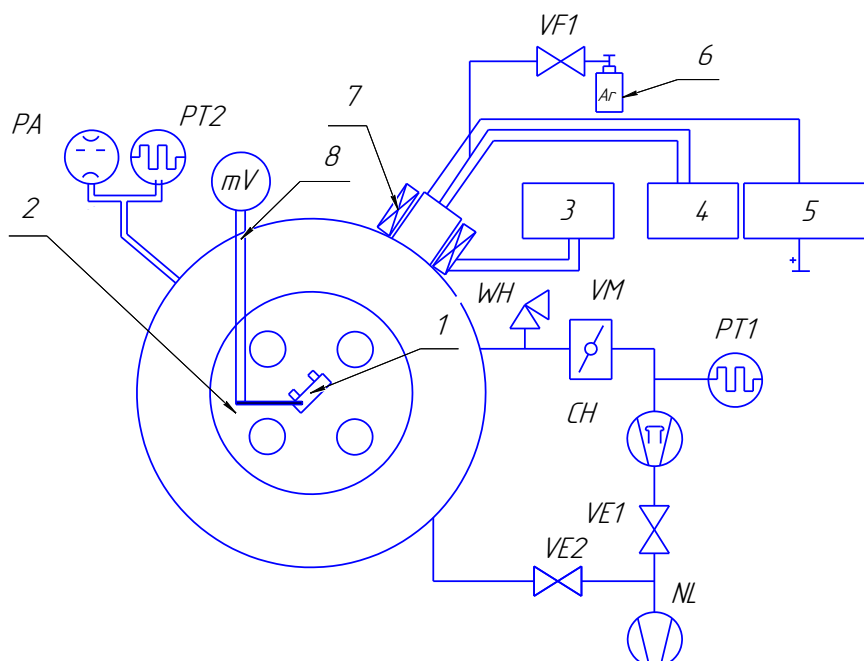


кварцевом чехле или зачеканивают в глухое отверстие контрольного образца, который обеспечивает отсутствие электрического контакта термопары с поверхностью изделия [8].

Внешний вид и блок-схема установки приведены на рисунках 2.1. и 2.2.



Рисунок 2.1 Слева - Общий вид установки; справа – элементы управления и питания разрядов



**Рисунок 2.2.** Блок-схема модернизированной установки для ионного травления: 1 – Образец; 2 – Вращающийся рабочий стол; 3 – источник питания продольного магнитного поля плазмогенератора “ТИНК” ( $U=100V$ ,  $I=1A$ ); 4 – источник питания нити накаливания вольфрамового катода плазмогенератора “ТИНК” ( $U=10V$ ,  $I=150A$ );

## **2.2 Установка ВУП-4 для выявления микроструктуры ионным пучком локально.**

Модернизированный вакуумный универсальный пост ВУП-4 специализируется на осуществлении процессов травления, связанных с ионной бомбардировкой в вакууме. Данный прибор может быть использован для нагрева и охлаждения исследуемых образцов, очистки образцов и распыления материалов с помощью ионной бомбардировки. Установка за один прием позволяет растравить образец для исследования микроструктуры материала различной толщины [29]. Внешний вид установки и блок-схема изображены на рисунках 2.3 и 2.4



Рисунок 2.3. Внешний вид установки.

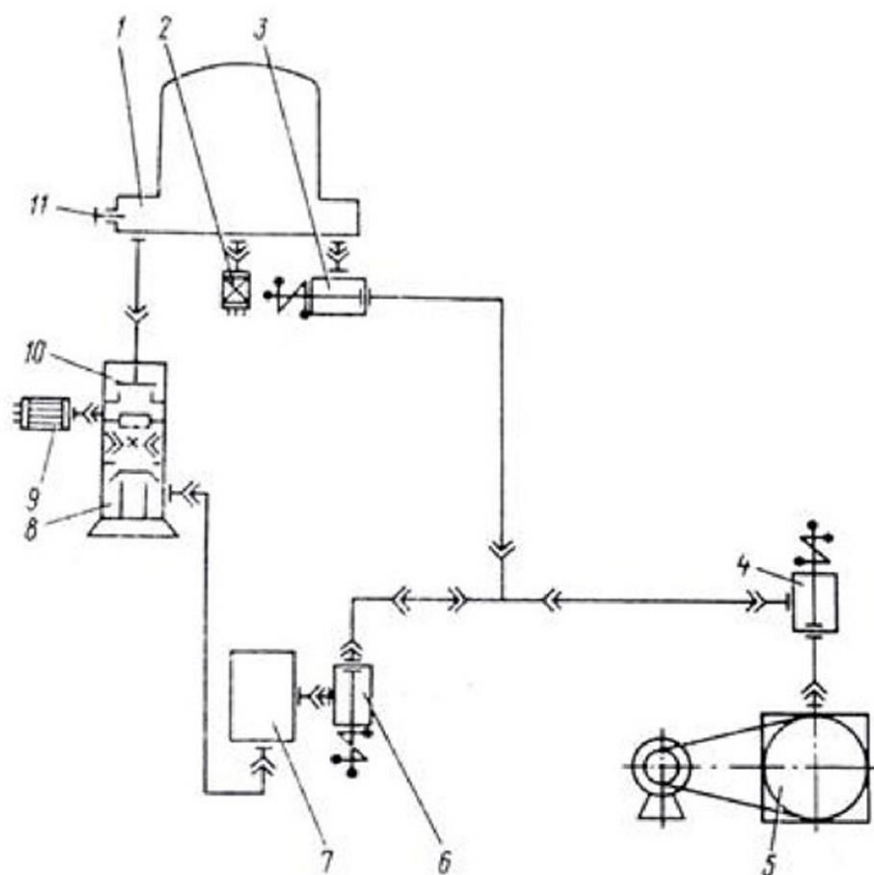


Рисунок 2.5 - Блок схема установки ВУП-4: 1-рабочий объем; 2-манометрически термопарный преобразователь; 3-вентиль откачки рабочего объема на предварительный вакуум МВ2; 4-отсекающий вентиль МВ1; 5-вакуумный механический насос; 6-вентиль откачки баллона МВ3; 7-баллон; 8-высоковакуумный паромасляный насос; 9-манометрический ионизационный преобразователь; 10-высоковакуумный клапан; 11-винт напуска воздуха в рабочий объем.

ВУП-4 включает в себя правую вакуумную и левую электрическую стойки. На вакуумной стойке установлен стол для вакуумного препарирования. Справа и слева от стола расположены наклонные и горизонтальные пульты управления.

Все процессы травления образцов осуществляются в рабочей камере, образуемой основанием и колпаком. Держатель образца, установленный перед источником ионов, позволяет вращать его в собственной плоскости и имеет поворот относительно оси пучка.

Устройство для ионного травления монтируется на вакуумном посту типа ВУП-4. Источником ионов является пушка, схема которого приведена на рисунке 2.6. В латунном корпусе 4 во фторопластовом изоляторе 3 установлен пустотелый анод 5 с внутренним диаметром 7 мм. В торце его со стороны катода 1 имеется отверстие диаметром 3 мм. С другой стороны, в анод вворачивается балластное сопротивление 7 для подачи напряжения, также поверх потенциала вворачивается крышка 6. Соосно отверстию в аноде в центре сменного катода 1 для вывода ионов высверлено отверстие диаметром 0,7 – 0,8 мм. В разрядный промежуток через паз 2 (а не через фторопластовые изоляторы [4], что приводит к их эрозии) подается аргон. Подача газа регулируется игольчатым натекателем вакуумного поста.

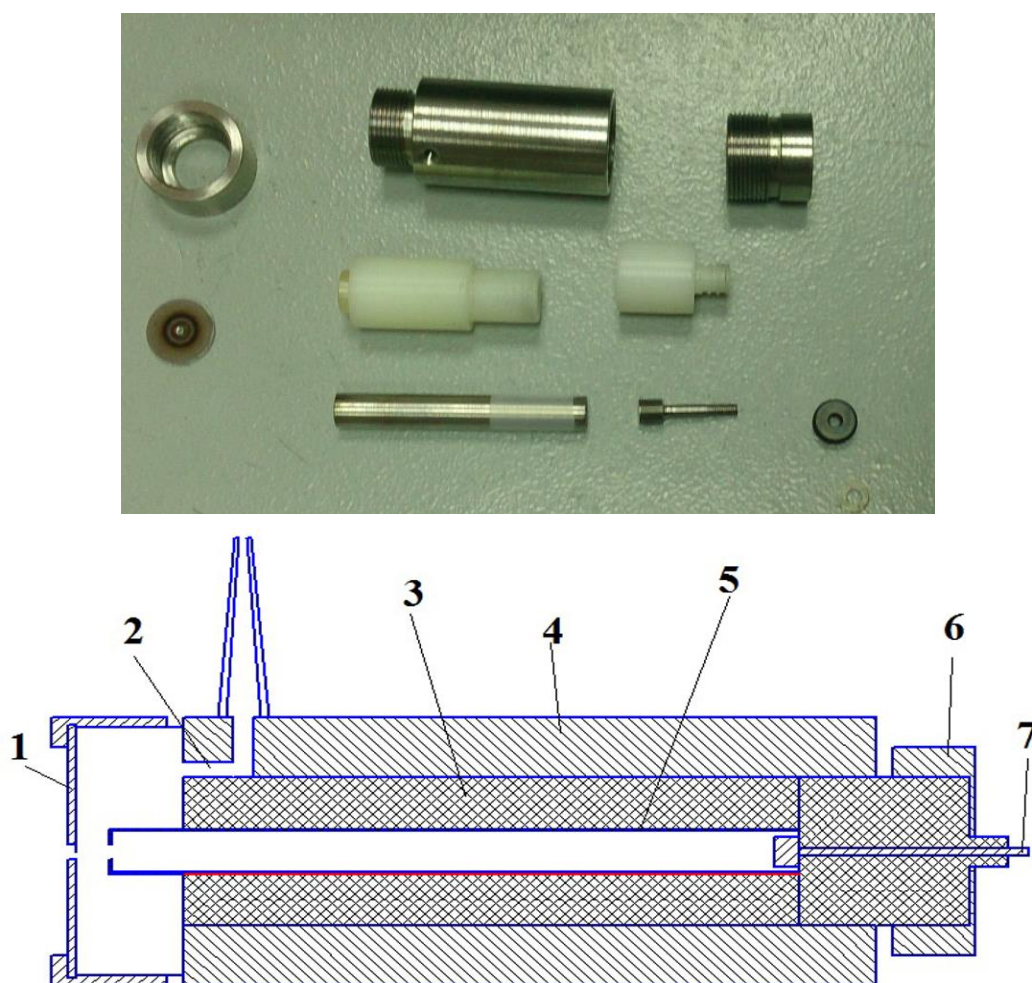


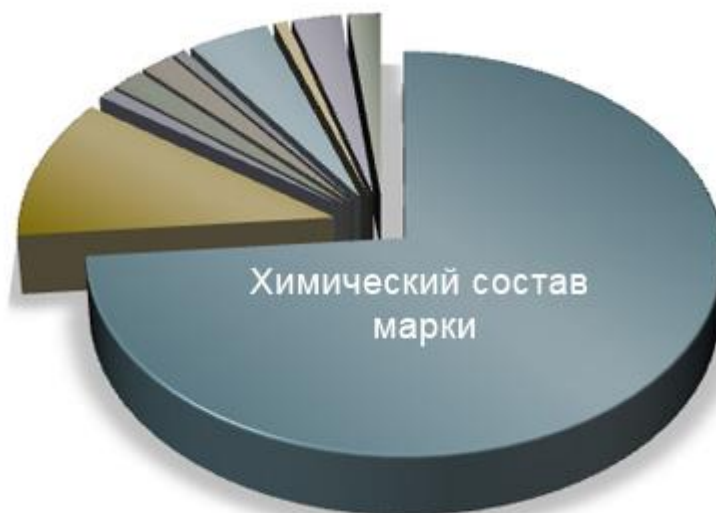
Рисунок 2.6 - Схема источника ионов.

### 2.3 Материалы для исследования

В данной работе проведены исследования с использованием образцов из таких сплавов как: сталь 40Х; Д16; ВК 8; 12Х18Н10Т.

#### Химический состав в % стали 40Х

<b>C</b>	0,36 - 0,44
<b>Si</b>	0,17 - 0,37
<b>Mn</b>	0,5 - 0,8
<b>Ni</b>	до 0,3
<b>S</b>	до 0,035
<b>P</b>	до 0,035
<b>Cr</b>	0,8 - 1,1
<b>Cu</b>	до 0,3
<b>Fe</b>	~97

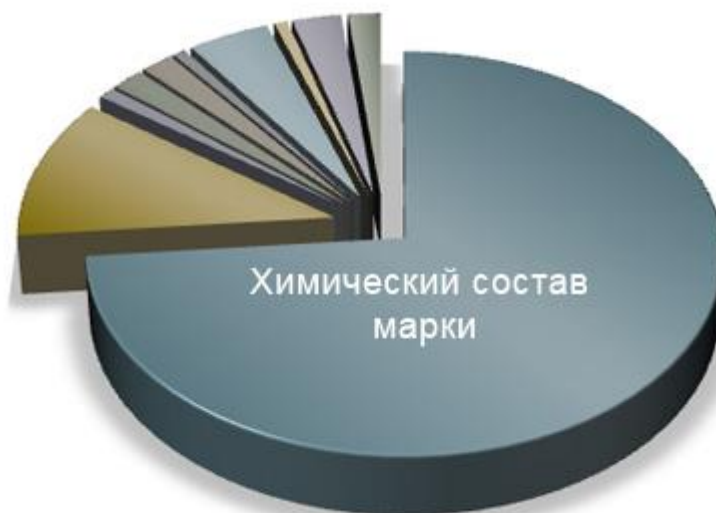


**Удельный вес:** 7820 кг/м<sup>3</sup>

**Твердость материала:** НВ 10<sup>-1</sup> = 217 МПа

#### Химический состав в % сплава Д16

<b>Fe</b>	до 0,5
<b>Si</b>	до 0,5
<b>Mn</b>	0,3 - 0,9
<b>Ni</b>	до 0,1
<b>Ti</b>	до 0,1
<b>Al</b>	90,8 - 94,7
<b>Cu</b>	3,8 - 4,9
<b>Mg</b>	1,2 - 1,8
<b>Zn</b>	до 0,3



**Удельный вес:** 2800 кг/м<sup>3</sup>

**Твердость материала:** НВ 10<sup>-1</sup> = 42 МПа

#### Химический состав в % стали 12Х18Н10Т



<b>C</b>	до 0,12
<b>Si</b>	до 0,8
<b>Mn</b>	до 2
<b>Ni</b>	9 - 11
<b>S</b>	до 0,02
<b>P</b>	до 0,035
<b>Cr</b>	17 - 19
<b>Cu</b>	до 0,3
<b>Fe</b>	~67



**Удельный вес:** 7920 кг/м<sup>3</sup>

**Твердость материала:** HB 10<sup>-1</sup> = 179 МПа

**Химический состав в % сплава ВК8**

**W** 92

**Co** 8



## **2.4. Технология подготовки образцов к испытаниям и исследованиям**

При испытании непосредственно на поверхности необходимо обеспечить хорошую подготовку места измерения. Тщательная подготовка поверхности должна быть проведена по возможности в лаборатории, так как неаккуратная полировка или зачистка шкуркой приводит к неправильной интерпретации результатов [26] .

Процесс подготовки образцов весьма трудоемок и занимает много времени. Для начала берется необходимый материал, определенного диаметра и размера (в одном из нашего случая сталь 40Х, D=40мм) и нарезается на несколько частей толщиной (5-10 мм), далее начинаем процесс шлифования на нескольких типах шкурок, соблюдая порядок от первой к четвертой:

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

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

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

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

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

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

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

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

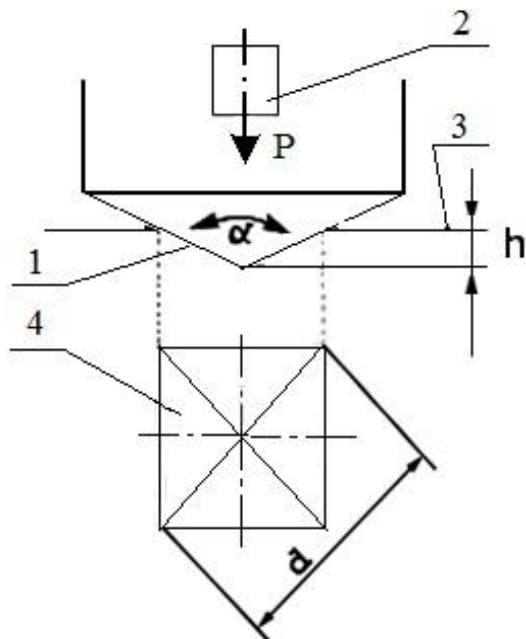
## **2.5 Оборудование для исследования полученных результатов**

Для исследований полученных результатов, использовались распространённые оборудования в научной деятельности, такие как, микротвердомер ПМТ-3, микроскоп ММР-4 и микроскоп МБС-10 [9].

В настоящей работе применялся микротвердомер ПМТ-3. В данном приборе реализован метод определения микротвердости по восстановленному отпечатку после вдавливания четырехгранной алмазной



пирамидки с квадратным основанием и углом между противоположащими гранями 136°С (рис. 4).



- 1 – индентер;
- 2 - нагрузка;
- 3 - испытываемый образец;
- 4 - отпечаток;
- $\alpha$  - угол между противоположными гранями пирамиды - 136°;
- Форма отпечатка - **квадрат**;
- d** - диагональ отпечатка (3 - 300 мкм)
- h** - глубина отпечатка (0,5 - 40 мкм).

**Рисунок 2.7** - Принцип действия прибора, основанного на вдавливании алмазного индентера Викерса.

По диагоналям отпечатка и углу  $\alpha$  при вершине пирамиды значения микротвердости вычисляли по формуле:

$$H = \frac{P}{S} = \frac{2 * P * \sin(\frac{\alpha}{2})}{d^2} = \frac{1.854 * P}{d^2} \quad (2.1)$$

где, **d** - диагональ отпечатка в мкм,  $\alpha$  - пространственный угол при вершине,

**P** - нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику в граммах [5].

Металлографический анализ заключается в идентифицировании микроструктуры материалов при многократном увеличении с помощью микроскопа. В зависимости от необходимого увеличения, использование белого света и обычной оптической системы в микроскопах позволяет четко наблюдать все присутствующие фазы, их распределение и форму. Максимальная разрешающая способность оптической системы определяется из условий дифракции согласно уравнению:

$$d=\lambda(2n*\sin \alpha/2) \quad (2.2)$$

где  $\lambda$  - 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.

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.

### **ГЛАВА 3. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ**

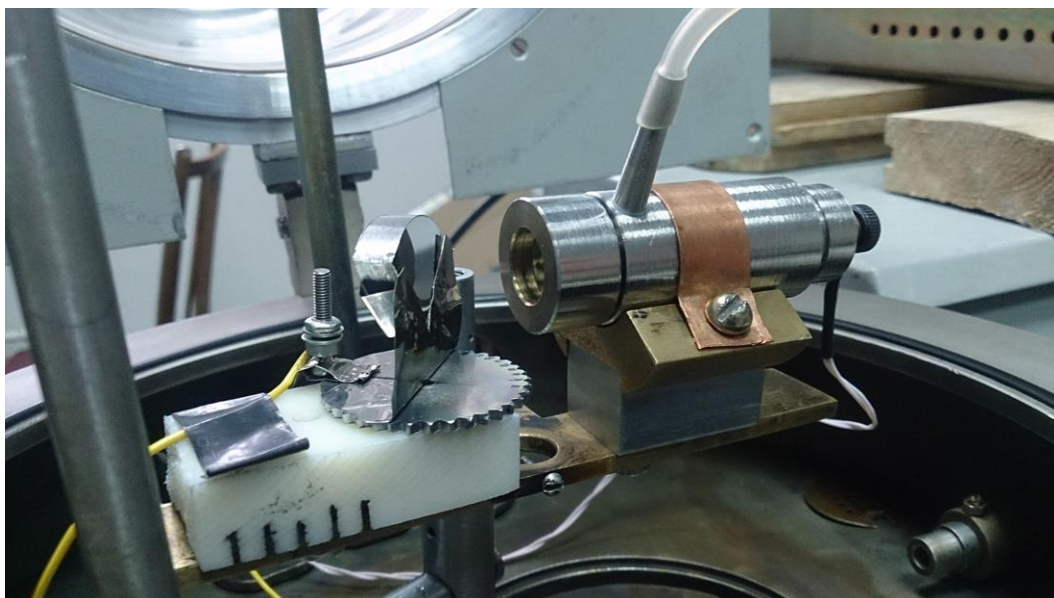
В третьей главе описывается ход экспериментов, показаны схемы установки образцов при испытаниях, графически предоставляются результаты экспериментов, фотографии травленной поверхности.

Выявление структуры материала можно осуществить в газоразрядной плазме дугового разряда, но при этом имеются недостатки, температура нагрева образцов превышает 100 °С. Порой образцы установлены в оснастке (пластмассы, фторопласта, эпоксидных смол и т.п.)

С помощью ионного пучка в установки ВУП-4, образец не нагревается, мы можем травить локальные участки образцов. При ионном травлении было проведено множество процессов. Использовались образцы из таких материалов, как ВК8, СТ40Х, Д16, и 12Х18Н10Т. Приготовленные для травления образцы, мы устанавливаем в оснастку из материала с низким коэффициентом распыления (нержавеющая сталь, фторопласт или тантал).

#### **3.1 Описание процесса ионного травления в вакуумном посту ВУП-4.**

Для травления образцов откачивают камеру до остаточного давления  $2 \cdot 10^{-5}$  Торр, после открывая игольчатый натекагель и достижения оптимального давления для зажигания разряда, включают высоковольтный выпрямитель. Для зажигания разряда использовали аргон, чтобы зажечь в пушке разряд, в камере поднимали давления до  $8,6 \cdot 10^{-5}$  Торр с помощью аргона. Ток разряда регулируют скоростью подачи газа и напряжением высоковольтного выпрямителя. На рисунке 3.1 представлена вакуумная камера установке ВУП-4. В которой установлены напротив друг друга, ионная пушка и оснастка с образцом (сталь 40Х).



**Рисунок 3.1.** Ионная пушка и оснастка с образцом (сталь 40X)

### **3.2 Описание процесса травления в ионно-плазменном разряде.**

При ионно-плазменном травлении удаление поверхностных слоев материала осуществляется за счет физического распыления ионами инертных газов или других ионов, химически не реагирующих с обрабатываемым материалом. При этом он находится в контакте с зоной плазмы, а необходимая энергия ионов обеспечивается подачей на материал отрицательного смещения. Для ионной очистки поверхности материалов обычно используют ионы с энергией в диапазоне от 20 до 100 эВ, а для ионного травления от 100 до 1000 эВ. В первом диапазоне распыление осуществляется в режиме первичного прямого выбивания, а во втором – как в режиме первичного выбивания, так и в режиме линейных каскадов.

На рисунке 3.2 изображены рабочая зона экспериментальной установки. Образцы исследуемых материалов располагаются на рабочем столе, к нему же установлена термопара с датчиками отслеживания температуры. Также в стенке рабочей зоны встроен плазмогенератор “ПИНК”.

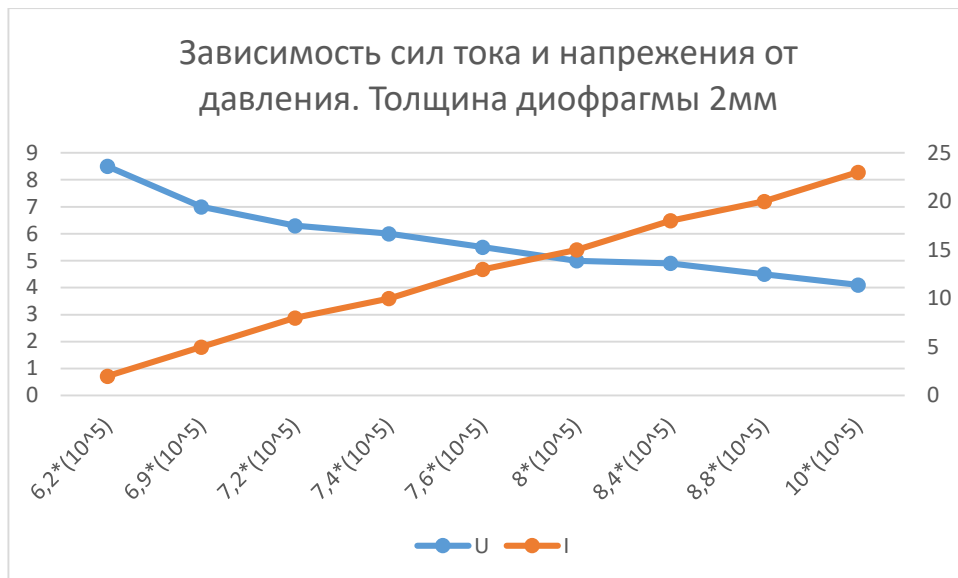


**Рисунок 3.2.** Образцы, установленные на рабочем столе

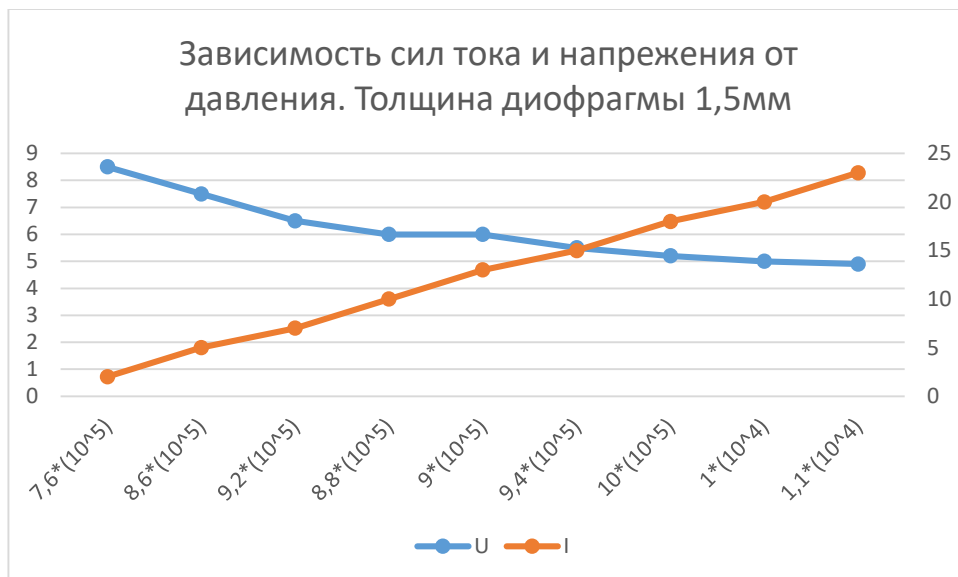
### **3.3 Исследование зависимостей**

#### **3.3.1 Зависимость тока и напряжения от давления**

На рисунке 3.3.a приведена зависимость тока и напряжения от давления. На кривой красного цвета представлено, изменение тока ионного пучка от давления, кривая синего цвета - это изменение напряжения от давления. Исходя из данного графика видно, что при увеличении давления, ионный пучок увеличивается, а напряжение уменьшается. Данные закономерности применяются в проведении последующих опытах.



**Рисунок 3.3.а**



**Рисунок 3.3.б**

### 3.3.2 Зависимость плотности ионного тока от расстояния

На рисунке 3.4 представлена зависимость плотности ионного тока от расстояния между катодом и анодом. Было выбрано 2 диафрагмы толщиной  $L_2=1,5\text{мм}$  и  $L_2=2\text{мм}$ .

L1	I	L2	I
1	20	1	15
1,5	25	1,5	20
2	30	2	25

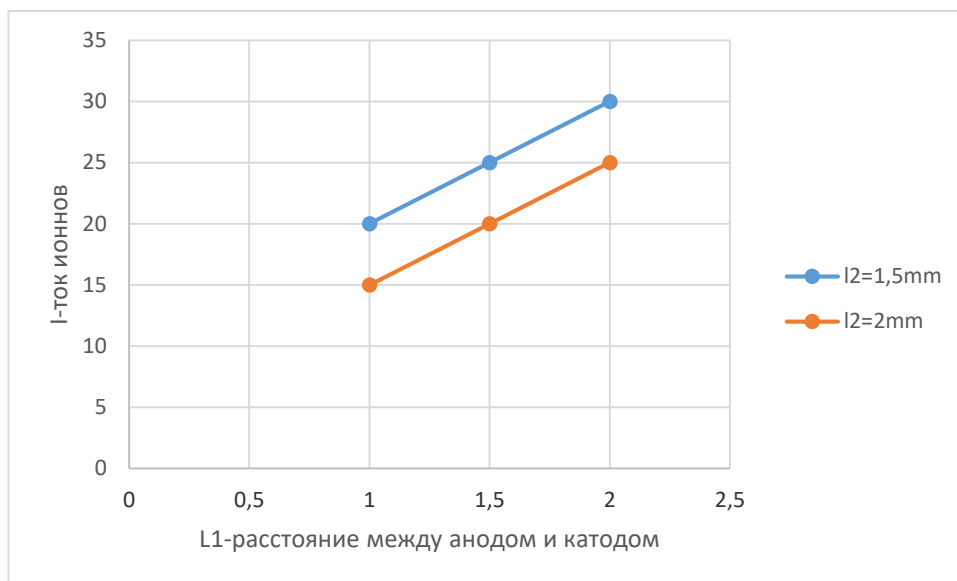
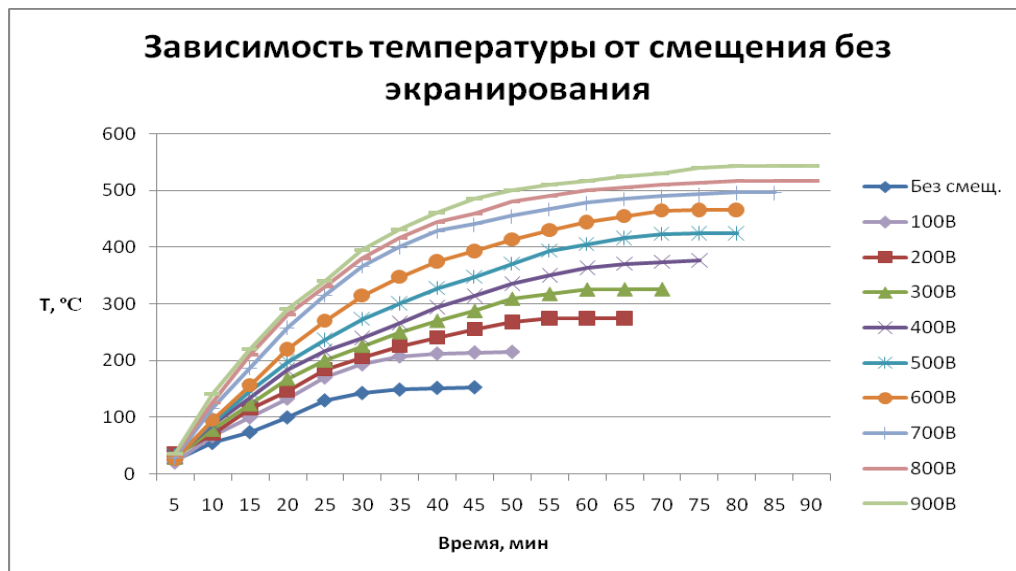


Рисунок 3.4 Зависимость плотности ионного тока от расстояния между катодом и анодом

Исходя из рисунка 3.4, мы можем сделать вывод, что при диафрагме  $L_2=1,5$  мм и расстоянием  $L_1=2$ мм ионный пучок будет больше. Поэтому в дальнейших экспериментах мы использовали наилучший результат, чтобы передать корректность наших исследований.

### 3.3.3 Влияние напряжения смещения на динамику нагрева образца.

Нагрев образца является негативным фактором при исследовании морфологии материала. Сущность травления заключается в идентификации марки материала и его фазового состояния. Нагрев образца может стать причиной фазового перехода материала. В ходе работы была проведена зависимость температуры от смещения и изображена на рисунке 3.5.



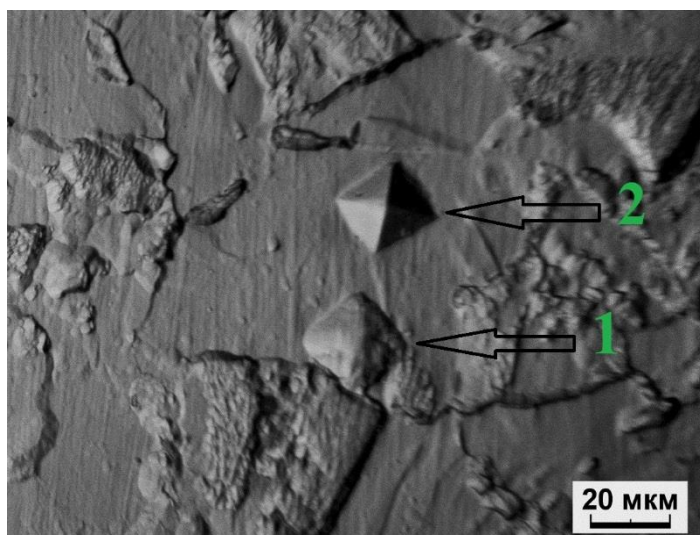
**Рисунок 3.5** Динамика роста температуры в зависимости от отрицательного смещения. Доверительный интервал +20 °С.

На рисунке видно, что при смещении в 900 В материал нагревается до 550 °С. Данный метод подходит только для тугоплавких материалов и следующие опыты будут проводиться на установки ВУП-4.

### 3.4 Растравленность образца относительно падению угла ионного пучка.

Во время исследований было проведено испытания, как будет растравлена поверхность материала (Ст40Х) от угла падения ионного пучка. Было выбрано 2 угла падения пучка: 60° и 90°. Изначально был выбран угол падения 90°, при этом положение поверхность материала хорошо растравилась, видна структура материала. Также мы хотел замерить скорость утонения материала, до помещения материала в камеру, был поставлен отпечаток нагрузкой 100 г. алмазным индентером, в центре падения ионного пучка на материал, также была замерена диагональ и глубина отпечатка. После 1 часа травления мы отчетливо видим структуру материала, но отпечаток увеличился. Вывод, что ионный луч направленный под 90°, попадал и в сам отпечаток и растравливал его. На рисунке 3.6 отчетливо видно отпечаток 1 до травления и отпечаток 2 поставленной после травления с той же нагрузкой.





**Рисунок 3.6** Отпечатки поставленные нагрузкой в 100г. 1 до травления, 2 после травления.

На рисунке 3.6 образец подвергся процессу травления, с продолжительностью 60 минут в инертном газе. Перед травлением был нанесен отпечаток индектором (четырёхгранной призмой), который в процессе травления стал более сглаженным и уже не имел отчетливые грани. Что касается непосредственно микрорельефа материала, то он изменил свой вид: отчетливо проявились перлитная пластинчатая, а также ферритная структуры зерен. На рисунке видно, что ферритные зерна подверглись травлению значительно больше перлитных, данное явление объясняется тем, что перлитная структура тверже и травится медленнее.

Второе испытание, провели под углом  $60^\circ$ . Поверхность материала растравилась хорошо

### **3.5 Зависимость области растравленного отпечатка от тока ионов.**

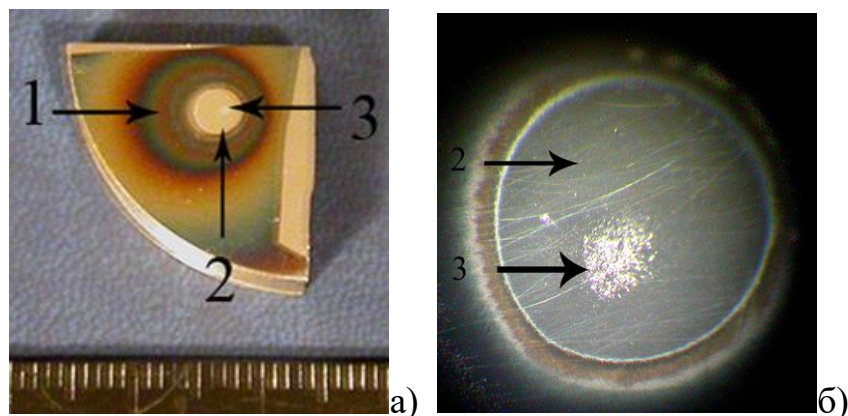
В данном разделе мы рассматриваем, как растравится локальная область отпечатка под  $90^\circ$  от разных сил тока ионов. Было подобрано несколько сил тока смотреть в таблице 3.1. После проведения испытания мы можем сказать, что чем больше сила тока ионов, то область травленной поверхности больше, но наибольшей диаметр травленной поверхности мы

получили, при  $I_i = 20$  А, также мы выявили, что при силе токов ионов равной  $I_i = 25$  А и  $I_i = 30$  А, ионный пучок фокусируется и область травления уменьшается.

**Таблица 3.1** Зависимость площади распыления от режимов травления

Рабочее давление (P). Торр	Ток ионов ( $I_i$ ) А	Напряжение (U) кВ	Площадь распыленного пятна $S'$ мм <sup>2</sup>	Площадь растравленной поверхности $S''$ мм <sup>2</sup>
$9,1 \cdot 10^{-5}$	25	4,5	12,6	1,8
$9 \cdot 10^{-5}$	20	4,5	19,6	1,1
$8,8 \cdot 10^{-5}$	15	4,5	15,9	0,7
$8,4 \cdot 10^{-5}$	10	4,5	8,3	0,4
$8,3 \cdot 10^{-5}$	5	4,5	3,14	0,2

После 15 минут травления мы отчетливо видим на образце продукты распыления рисунок 3.7. Под 1 мы видим черную область на образце, это область распыленного материала, она представляет собой темную пленку продуктов распыления. 2 мы наблюдаем область травления пучка, она представляет собой белую, гладкую поверхность. После 60 минут ионного травления, мы наблюдаем, что в центре белого отпечатка появилась матовая белая область 3, это растравленная область образца, где в микроскоп (ММР-4) отчетливо видно структуру материала смотреть рисунки 5а и 5б.



**Рисунок 3.7** Растравленная поверхность образца Стали 40Х

Также в ходе данной исследовательской работы мы провели испытание под углом  $60^\circ$ . Под углом  $60^\circ$  мы также наблюдаем появление темного пятна 1, в виде темных остатков распыленного материала, но травленная поверхность выглядит, как слабо выраженный эллипс. В таблице 3.4 приведены какие использовались силы тока и напряжения, также были произведены замеры диаметров по оси x ( $d_1$ ) и y ( $d_2$ ).

**Таблица 3.4.** Зависимость растравленной площади от напряжения и тока под углом  $60^\circ$

Рабочее давление (P). Торр	Ток ионов ( $I_i$ ) А	Напряжени е (U) кВ	Площадь распыленного пятна $S'$ мм <sup>2</sup>	Площадь распыленного пятна $S_i'$ мм <sup>2</sup>	Площадь растравленной поверхности $S''$ мм <sup>2</sup>
$9 \cdot 10^{-5}$	25	4,5	6	5	2,2
$9,2 \cdot 10^{-5}$	20	4,5	5,5	4,75	1,5
$8,4 \cdot 10^{-5}$	15	4,5	6,1	5,1	1,1
$8,4 \cdot 10^{-5}$	10	4,5	4,75	3,75	0,6
$8,1 \cdot 10^{-5}$	5	4,5	3,15	2,25	0,4

На рисунке 3.8 изображены автографы с распыленной поверхностью и линейка, для определения диаметра распыления.

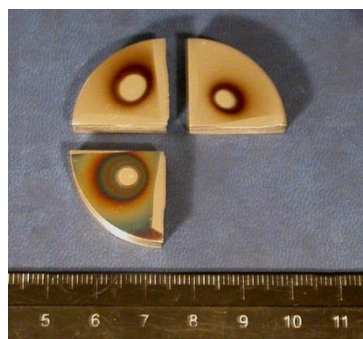


Рисунок 3.8. Автограф распыленного образца

### 3.6 Исследование морфологии поверхности исследуемых образцов

Данный раздел посвящается тщательному изучению растравленных участков образцов при помощи электронного микроскопа. Также были подобраны оптимальные режимы травления, которые представлены в таблицах. На рисунках изображены снимки, полученные с микроскопа.

**Таблица 3.5** Режимы травления образца ВК8 ,

Давление остаточное, Торр	Давление розжига, Торр	Рабочее давление, Торр	Время начала и конца травления, Т, мин	Напряжение, U, кВ	Ток ионов, I, А
$2,4 * 10^{-5}$	$9,8 * 10^{-5}$	$9,4 * 10^{-5}$	00:00	4,25	15
$2 * 10^{-5}$			00:30	4,25	15

На рисунке 3.9 видна зеренная структура ВК8, структура выявилась после 30 мин. травления ионным пучком. Режимы для ионной пушки приведены в таблице 3.5.



**Рисунок 3.9** Зеренная структура твердого сплава ВК 8.

Зеренная структура сплава ВК 8 хорошо протравилась, как мы видим на рис. 3.9 на зеренной структуре видно зерна карбида вольфрама размер зерна от 3 до 14 мкм.

На рисунке 3.10 изображен растравленный образец твердого сплава ВК8 с измерительной шкалой. На поверхности образца отчетливо видно растравленное пятно, размер которого составляет 1 мм.

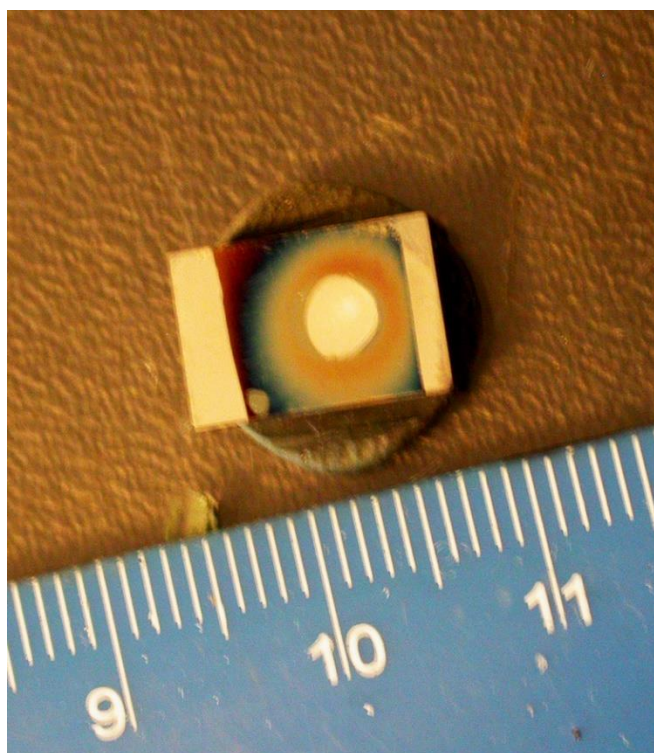


Рисунок 3.10. Растравленный образец ВК 8

Таблица 3.6 Режимы травления образца дюралюминия Д16

Давление остаточное, Торр	Давление розжига, Торр	Рабочее давление, Торр	Время начала и конца травления, Т, мин	Напряжение, U, кВ	Ток ионов, I, А
$3 * 10^{-5}$	$7 * 10^{-5}$	$6,4 * 10^{-5}$	0:00	4	10
		$5,8 * 10^{-5}$	0:30	4,5	10
$1,6 * 10^{-5}$		$5,8 * 10^{-5}$	1:00	4,5	10

После травления в 1 час на образце Д16 начало выявляться микроструктура в виде блоков, так же начали отображаться белые внедрения (рис.3.11)

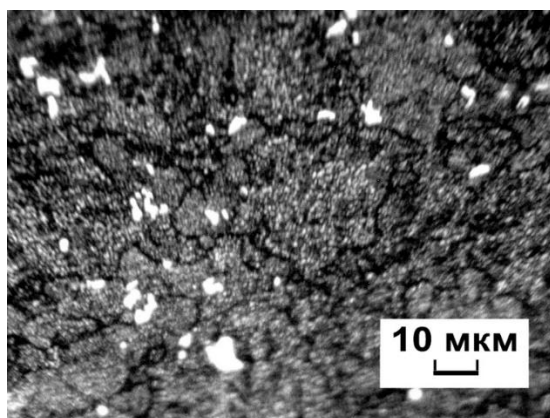


Рисунок 3.11 Микроструктура дюралюминия Д16

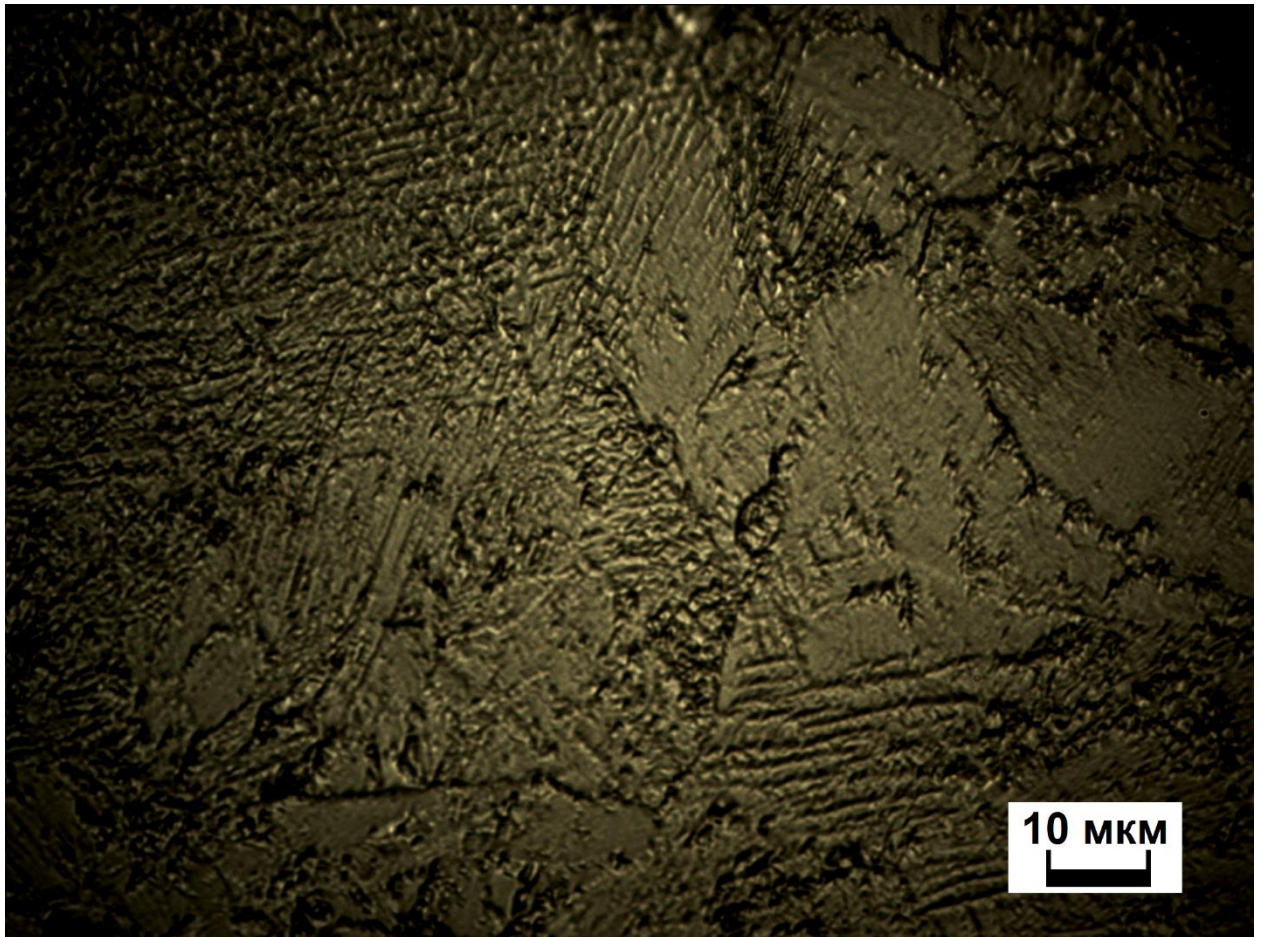
Таблица 3.7 Режимы травления образца 12Х18Н10Т

Давление остаточное, Торр	Давление розжига, Торр	Рабочее давление, Торр	Время начала и конца травления, Т, мин	Напряжение, U, кВ	Ток ионов, I, А
$1,6 * 10^{-5}$	$9,8 * 10^{-5}$	$9 * 10^{-5}$	00:00	5,5	25
		$9,5 * 10^{-5}$	00:05	4,5	25
		$9 * 10^{-5}$	00:20	5	25
		$9,2 * 10^{-5}$	00:40	3,7	15
		$9 * 10^{-5}$	00:55	4	15
$1 * 10^{-5}$		$9 * 10^{-5}$	01:00	4	15

Таблица 3.8 Режимы травления образца Стали 40Х азотированной

Давление остаточное, Торр	Давление розжига, Торр	Рабочее давление, Торр	Время начала и конца травления, Т, мин	Напряжение, U, кВ	Ток ионов, I, А
$9,1 * 10^{-5}$	$9,1 * 10^{-5}$	$8,2 * 10^{-5}$	00:55	4,5	5
		$9 * 10^{-5}$	00:10	4	20
		$9 * 10^{-5}$	00:20	4,7	30
		$9 * 10^{-5}$	00:25	5	25
		$9,1 * 10^{-5}$	00:45	5	30
		$9,4 * 10^{-5}$	00:50	5	30
		$9,4 * 10^{-5}$	01:00	5	25
$1,8 * 10^{-5}$		$9,4 * 10^{-5}$	01:20	5	25





**Рисунок 3.12** Микроструктура образца Стали 40Х азотированной

Микроструктура азотированной поверхности закаленной стали 40х состоит из поверхностной светлой зоны (ε-фаза или нитроаустенит и нитро-мартенсит) и нижележащей тёмной зоны (браунит — α + γ).

**Таблица 3.9** Режимы травления образца Стали 40Х закаленной

Давление остаточное, Торр	Давление розжига, Торр	Рабочее давление, Торр	Время начала и конца травления, Т, мин	Напряже-ние, U, кВ	Ток ионов, I, А
$1,5 * 10^{-5}$	$9 * 10^{-5}$	$8,2 * 10^{-5}$	00:25	4	5
		$9,1 * 10^{-5}$	00:10	4	20
		$9,1 * 10^{-5}$	00:35	4,5	25
$1,4 * 10^{-5}$		$9,1 * 10^{-5}$	00:50	4,5	25

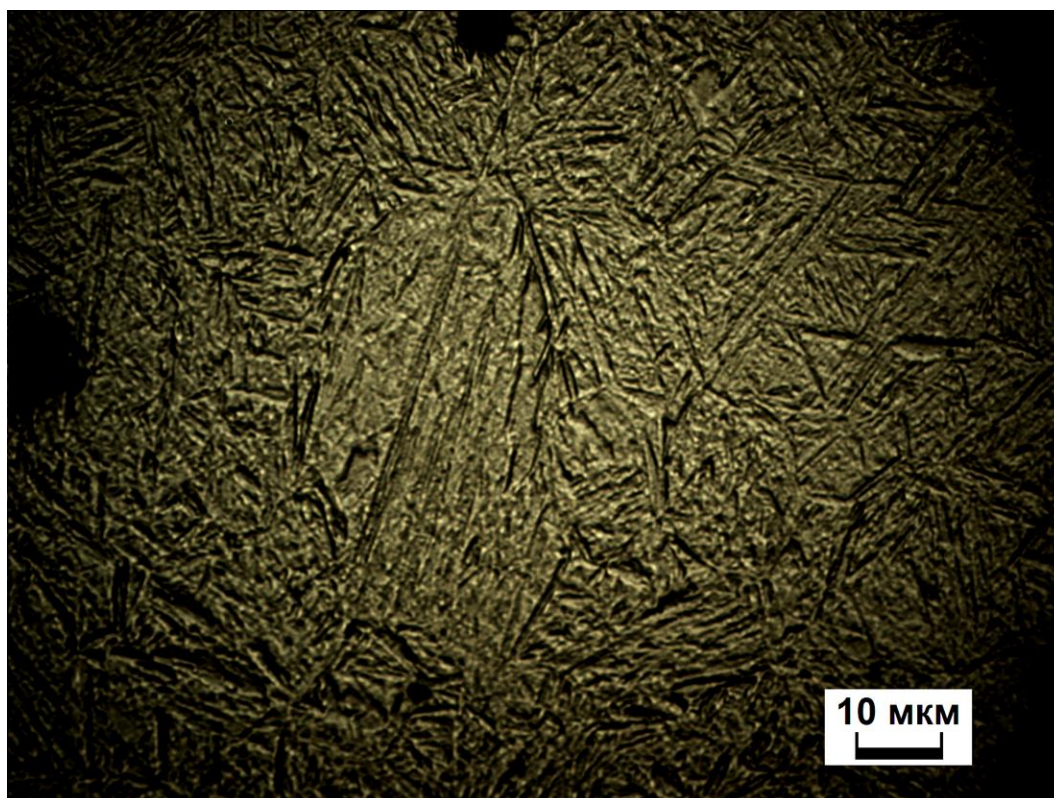


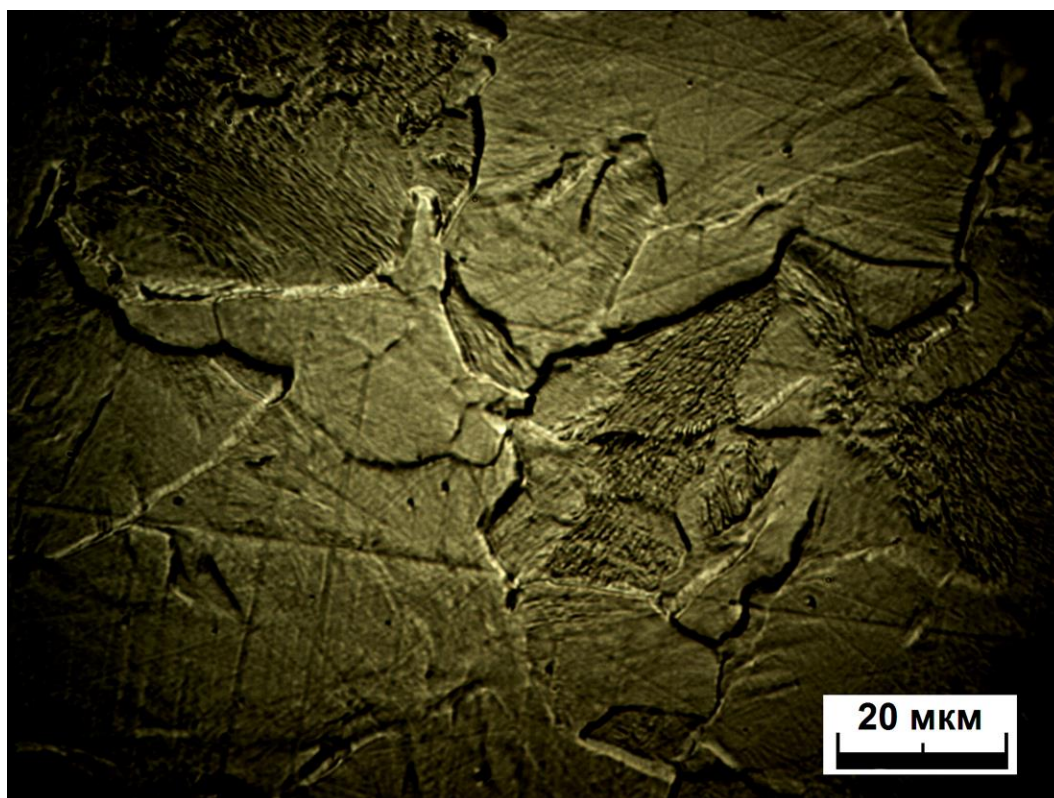
Рисунок 3.13 Пикроструктура образца Стали 40Х закаленной

На микроструктуре закаленной поверхности стали 40х видны ярко выраженные мартенситные иглы разного размера (рисунок 3.13).

**Таблица 3.10** Режимы травления образца Стали 40Х

Давление остаточное, Торр	Давление розжига, Торр	Рабочее давление, Торр	Время начала и конца травления, Т, мин	Напряжение, U, кВ	Ток ионов, I, А
$2,8 * 10^{-5}$	$9,2 * 10^{-5}$	$8,6 * 10^{-5}$	00:05	3,5	15
		$9,1 * 10^{-5}$	00:20	4	20
		$9 * 10^{-5}$	00:30	4	15
$1,4 * 10^{-5}$		$9 * 10^{-5}$	01:10	4	15





**Рисунок 3.14** Микроструктура образца Стали 40Х

В стали 40Х мы наблюдаем феррито-перлитную структуру, в середине некоторых из них цементитные пластины.

По данной главе можно сделать следующие выводы:

- травление ионным пучком производится локально, а в дуговом разряде – по всей поверхности;
- выявлены оптимальные режимы травления, ионный пучок сфокусирован, процесс протекал равномерно, отрицательных факторов не обнаружено;
- при травлении в дуговом разряде возникают температуры, достигающие до 550 °С, что неприемлемо для некоторых металлов, например для алюминия. Ионно-лучевое травление происходит при температурах до 40 °С, что является существенным преимуществом, по сравнению с дуговым разрядом, из-за низкой плотности тока.

## **ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **4.1 Введение**

В современном машиностроительного производства находит широкое применение повышение эксплуатационных характеристик деталей из конструкционной стали за счет обработки поверхности. Такие методы как травление ионной бомбардировкой позволяет обеспечить необходимыми данными для изучения морфологии материала.

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследование**

Потенциальными потребителями данной технологии являются машиностроительные предприятия, в частности машиностроительные заводы, занимающиеся производством деталей из высокого ассортимента металлов и сплавов.

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения;

· определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

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

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

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

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

**Таблица 4.1** – Карта сегментирования рынка.

		Отрасли, занимающиеся травлением		
		Научные институты	Научно-исследовательские лаборатории	Предприятия по выполнению травления материала.
Сфера деятельности по применению травления материалов	Изучение материалов оборудования	x	x	x
	Изучение морфологии материалов.	x	x	x
	Анализ характеристик оборудования		x	x
	Использование вакуумного ионно-лучевого оборудования для травления в промышленных			x

	целях			
--	-------	--	--	--

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

#### **4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.**

По нашему мнению, наиболее целесообразным по технологическим и экономическим соображениям для выявления структуры металла, является применение травления ионами инертных газов.

Проведем анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения расходуемых материалов для процесса травления. Данный анализ выполним с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.2

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	4	5	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	3	4	0,6	0,8
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	3	4	0,3	0,4
3. Энергоэкономичность	0,05	2	3	0,1	0,15
4. Надежность	0,05	4	4	0,2	0,15
5. Безопасность	0,1	2	3	0,3	0,3
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	3	4	0,3	0,4
7. Простота эксплуатации	0,1	4	3	0,4	0,3

<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
8. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	0,4	0,5
9. Цена	0,15	3	3	0,45	0,45
10. Финансирование научной разработки	0,05	4	4	0,2	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>32</b>	<b>37</b>	<b>3,25</b>	<b>3,65</b>

к1 – метод химического травления, к2 – выявление микроструктуры ионным пучком.

Смотря на оценочную карту, мы можем сказать, что травления ионным пучком более ресурсоэффективнее, так как затраты на электроэнергию не большие, а на химическое травление нужно покупать химические реагенты, из-за сложности доступности, цена может быть велика.

#### **4.1.3. SWOT-анализ**

Основные преимущества данного проекта - универсальность, высокая производительность и возможность выявления структуру металлов без хим. реагентов.

Но, не смотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. Травление ионами возможно только на проводящих материалах.

**Таблица 4.3. Матрица SWOT**

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	<p><b>научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Возможность локально травить, варьировать расстояние и угол падения ионного пучка</p> <p>С2. Высокая производительность</p> <p>С3. Улучшение качества обрабатываемой поверхности</p> <p>С4. Снижение себестоимости изделия (за счет расходных материалов)</p> <p>С5. Растравливать локальные участки</p>	<p><b>научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Не отработаны режимы, для получения структуры металлов.</p> <p>Сл2. Возможность травить только токопроводящие материалы</p> <p>Сл3. Пока что отсутствие автоматизированных процессов.</p>

	образцов	
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (т.е использование нового оборудования)</p> <p>В2. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на развитие данной отрасли в РФ (снижение зависимости от поставщиков реагентов).</p> <p>В3. Возможность внедрения технологии в производство для изучения структуры покрытий</p> <p>В4. Участие в грантах</p>	<p>С1В2 – вероятность расширения кол-ва поставщиков для ионного травления (снижение себестоимости изделия)</p> <p>С1В3 - улучшение технологии в производство за счет изменения параметров и режимов ионного травления</p> <p>С3В2 - качество и стоимость выявления микроструктуры будет являться конкурентным преимуществом на российском рынке</p>	<p>В3Сл2 – внедрение в производство поспособствует появлению новых кадров на производстве.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p> <p>У2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>У3</p>	<p>С1У1-возможность травить локально поверхность исследуемого образца, позволит создавать более качественное исследовать микроструктуру образцов.</p>	

Проанализировав матрицу SWOT можно сказать, что у исследовательского проекта есть как сильные, так и слабые стороны. Оптимизация режимов травления значительно ускорит процесс, что позволит улучшить производительность и обеспечит актуальность этой темы на протяжении многих лет. Данные улучшения могут последовать внедрению новых улучшений в сфере идентификации морфологии материала. Угрозы У1 и У2 представляются серьезными и являются объектами для внимания при выводе разработки на рынок.

#### 4.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 4.3. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	2
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	2
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	1
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	1
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования	3	1

	услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот		
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	1
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	31	21

Согласно таблице 3. выявилось, что оценочные баллы готовности научного проекта к коммерциализации и уровень имеющихся знаний у разработчика не высоки. Перспективность данного проекта, к сожалению, является ниже средней.

Для проведения маркетинговых исследований, создания бизнес-плана, оформления всех необходимых документов по защите прав авторов и т.д. необходима помощь специалистов: менеджеров, юристов и экономистов.

#### **4.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. Торговля патентными лицензиями.
2. Передача ноу-хау.
3. Инжиниринг.
4. Франчайзинг.
5. Организация собственного предприятия.
6. Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.
7. Организация совместного предприятия.
8. Организация совместных предприятий.

Из всех перечисленных методов коммерциализации, инжиниринг и организация совместного предприятия поможет успешному продвижению разрабатываемого проекта.

#### **4.2. Инициация проекта**

##### **Цели и результат проекта**

В получении результата заинтересованы следующие стороны, представленные в таблице 4.

**Таблица 4.4** Заинтересованные стороны проекта



<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Университет	Наличие НИОКР
Студент	Защита магистерского диплома. Получение высшего образования
Предприятия и институты, занимающиеся выявлением структуры материала	Сокращение времени на травление. Большая производительность. Снижение себестоимости работ
Потребители	Точное выявление микрорельефа. Возможность получение структур материалов локально

## Организационная структура проекта

**Таблица 4.5. Рабочая группа проекта**

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО, основное место работы, должность</b>	<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудо-затраты, час.</b>
1	Гончаренко Игорь Михайлович	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	1024
2	Куминов Павел Олегович	Исполнитель по проекту	Выполняет отдельные работы по проекту	1624
<b>ИТОГО:</b>				

## Ограничения и допущения проекта

**Таблица 4.6. Ограничения проекта.**

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	<b>3000000 тыс.руб</b>
3.1.1. Источник финансирования	<b>ИФПМ СО РАН</b>
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.01.2017
3.2.2. Дата завершения проекта	15.03.2018

## 4.3. Планирование управления научно-техническим проектом

### 4.3.1. Иерархическая структура работ проекта



Рис.4.1. Иерархическая структура проекта

#### 4.3.2. Контрольные события проекта

Таблица 4.7. Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Обсуждение плана проект	1.09.17	Утверждение участников исследования
2	Обзор литературы(сбор необходимой информации)	1.10.17	Отчет по изученной литературе.
3	Получение материалов для выявления структуры	15.10.17	Материалы для исследований

4	Подготовка оборудования	16.10.17	Техническое обслуживание
5	Обсуждение всей имеющейся информации	24.10.17	Утверждение технологий
6	Исследование полученных образцов	17.11.17	Исследуемые образцы, иллюстрации(графики, картинки)
7	Отчет по исследовательской работе	6.04.18	Отчет
8	Защита диссертации	8.06.18	Диссертация

### 4.3.3. План проекта

Таблица 4.8. Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
2	Обзор литературы(сбор необходимой информации)	22	1.09.14	1.10.14	Гончаренко И.М. Куминов П.О.
4	Подготовка необходимого оборудования для исследований	7	5.09.14	15.09.14	Гончаренко И.М.
6	Получение материала для травления	11	1.10.14	15.10.14	Гончаренко И.М. Куминов П.О.
6.1	Травления материала	23	16.10.14	15.11.14	Гончаренко И.М. Куминов П.О.
6.2	Получение результатов травления	9	17.11.14	24.11.14	Гончаренко И.М. Куминов П.О.
6.3	Металлография	10	25.11.14	8.12.2014	Гончаренко И.М. Куминов П.О.
6.4	Описание результатов	8	9.12.15	1.02.15	Гончаренко И.М. Куминов П.О.

7	Отчет по исследовательской работе (написание статей, выступление на конференциях.)	42	2.02.15	6.04.15	Гончаренко И.М. Куминов П.О.
8	Написание дипломного проекта	54	1.04.15	15.06.15	Куминов П.О.
<b>Итого:</b>		210			

#### 4.3.4. Бюджет научного исследования

**Таблица 4.9. Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты**

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Образец ВК8		0,1 кг	800	80
Образец Ст40Х		0,1 кг	47	5
Образец Д16		0,1 кг	210	21
Алмазная паста		5	300	1500
Наждачная бумага		10	25	250
Всего за материалы				1856
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				92
Итого по статье С <sub>м</sub>				1948

#### Амортизационные отчисления

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

$$A = (S/365) \cdot N_a \cdot t$$

**Таблица 4.10. Амортизационные отчисления**

№ п/п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Срок службы, Т, дни	Время эксплуатации, t, дни	N <sub>a</sub> , норма амортизации	Амортизационные отчисления, руб.
1.	Вакуумная установка ВУП-4	900000	5475	20	0,02	3288
2.	ММР-4	300000	3650	10	0,03	822
3.	Микротвердомер ПМТ-3	250000	5475	7	0,02	320
4.	Шлифовально-полировальный станок 3Е881	185000	3650	20	0,03	1014
5.	Компьютер	30000	2190	60	0,05	822
ИТОГО						6266

**Зарботная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени.**

Расчет заработной платы персоналу сведем в таблицу

**Таблица 4.11. Расчёт заработной платы**

Исполнители	Количество	Зарплата, руб./мес.	Количество отработанных дней	Всего з.п, руб	Дополнительная з.п	Отчисления на социальные нужды
Руководитель	1	25000	128	145454	17455	43636
Исполнитель	1	9000	203	83045	9965	24913
Итого:				228499	27420	68549

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

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

**Отчисления на социальные нужды**

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

Отчисления на социальные нужды составляет 30%

**Затраты на электроэнергию**

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

**Таблица 4.12. Затраты на электроэнергию**

№ п/п	Наименование оборудования	Мощность кВт	Время эксплуатации, (час)	Расход электроэнергии. Руб.
1.	Установка электронно-лучевой наплавки "ВУП-4"	8	80	2790
2.	АХЮVERT-200МАТ	0,2	80	70
4.	Микротвердомер ПМТ-3	0,02	56	5
5.	Шлифовально-полировальный станок Saphir 520	1,6	160	1116
	ИТОГО			3981

**Затраты на водоснабжение**

Тариф на водоснабжение 30,22 р. м<sup>3</sup>

Примерный расход воды за время исследований составляет 25 м<sup>3</sup>

Затраты на водоснабжение за весь период исследования составляет 756 руб.

#### **Затраты на водоотведение**

Тарифы на водоотведение 20,59 р.м<sup>3</sup>

Затраты на водоотведение за весь период исследования составляет 515 руб.

#### **Полная смета затрат на выполнение НИР**

Полная смета затрат приведена в таблице 14.

**Таблица 4.13. Полная смета затрат**

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	1975
Заработная плата	228499
Дополнительная заработная плата	27420
Отчисления на социальные нужды	68549
Затраты на электроэнергию	3981
Амортизация	6266
Затраты на водоотведение	515
Затраты на водоснабжение	756
Итого	337961

#### **4.3.5. Матрица ответственности**

**Таблица 4.14. Матрица ответственности**

Этапы проекта	Руководитель	Исполнитель	Инженер-технолог
Обзор литературы(сбор необходимой информации)	оиу	и	
Получение композиционных порошков		ои	ои
Исследование полученных порошков	у	ои	
Описание результатов	оиус	ои	
Получение покрытий		ои	ои
Исследование полученных покрытий	у	ои	

Описание результатов	оиус	ои	
Отчет по исследовательской работе	оу	ои	
Защита диплома	у	ои	

#### 4.3.6. Реестр рисков проекта

Таблица 4.15. Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Повышение цен на сырье, энергию и комплектующие, тем самым есть риск не уложиться в бюджет проекта	2	4	средний	Планирование финансирования проекта с учетом повышения цен.	В случае девальвации.
2	нехватка квалифицированной рабочей силы	3	4	средний	Повышение квалификации кадров	При условии, если уволиться или заболит один из участников проекта
3	Не выполнение в срок проекта	2	4	средний	Выполнение в срок отдельных этапов проекта	При условии нехватки квалифицированной рабочей силы, а так же не выполнения в срок отдельных этапов проекта

#### 4.3.7. Оценка сравнительной эффективности исследования

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  
 $n$  – число параметров сравнения.

**Таблица 4.16.** Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Инструмент с покрытием	Инструмент без покрытия
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	2
2. Цена( уменьшение затрат на выявление структуры материала)	0,2	5	3
3. Энергосбережение	0,15	4	5
4. Удобство травления	0,15	4	2
<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>	<b>2,6</b>	<b>1,85</b>

$$\Gamma_m^a = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 2,6$$

$$\Gamma_m^b = 0,1 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 2 = 1,85$$

При сравнении интегральных показателей ресурсоэффективности, можно сделать вывод что выявление структуры помощью ионного травления, которое является результатом проекта, является более ресурсоэффективным, чем выявление структуры с помощью химического травления.



## ГЛАВА.5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### 5.1 Введение

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

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

Эксперименты по выявлению микроструктуры осуществлялось в плазме дугового разряда низкого давления, которые проводились на модернизированной вакуумной ионно-плазменной технологической установке. Основными элементами установки являются типовой электродуговой испаритель и плазмогенератор “ПИНК”, которые располагаются на боковых поверхностях камеры. 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, но дуговой испаритель в данных экспериментах не использовался. 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 с использованием форвакуумного и турбомолекулярного насосов. Через токоввод на образцы подается регулируемое отрицательное напряжение смещения величиной от 0 до - 1000 В, благодаря которому происходит до ускорения ионов в слое пространственного заряда, образуемом вблизи поверхности образцов. В

качестве рабочего газа используется аргон. 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. Спаи термопары вставляют в отверстие детали в кварцевом чехле или зачеканивают в глухое отверстие контрольного образца, который обеспечивает отсутствие электрического контакта термопары с поверхностью изделия.

### **5.1.1 Анализ вредных производственных**

Данный раздел посвящен рассмотрению следующих вопросов:

- определение оптимальных условий труда инженера;
- расчет уровня шума;
- расчет системы общего равномерного освещения.

### **5.1.2 Шум**

Шум – совокупность аperiodических звуков различной интенсивности и частоты. С физиологической точки зрения шум – это всякий неблагоприятный воспринимаемый звук [3].

Основными источниками шума в помещении являются электродвигатель “АИР71А4УЗ” и трансформаторы [3].

Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения прежде всего в органах слуха, нервной и сердечнососудистой системах. Длительное воздействие интенсивного шума может приводить к перераздражению клеток звукового анализатора и его утомлению, а затем к стойкому снижению остроты слуха. Функциональные изменения центральной нервной системы под влиянием шума происходят раньше, чем диагностируется нарушение слуховой деятельности. Поражение нервной системы под действием шума сопровождается раздражительностью, ослаблением памяти, апатией, подавленным настроением, изменением кожной чувствительности и другими нарушениями, в частности замедляется

скорость психических реакций, наступает расстройство сна и т.д. У работников умственного труда происходит снижение темпа работы, её качества и производительности. Действие шума может привести к заболеваниям желудочно-кишечного тракта, сдвигам в обменных процессах (нарушение основного, витаминного, углеводного, белкового, жирового, солевого обменов) [4].

Уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих на установке ВУП-4 не должен превышать 75дБА. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлена установка ВУП-4, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами. [21]

### 5.1.3 Расчет уровня шума

Одним из неблагоприятных факторов производственной среды в лаборатории с вакуумной установкой является высокий уровень шума, создаваемый электродвигателями и плазмодгенераторами, оборудованием для вентиляции воздуха.

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

Уровень шума, возникающий от нескольких некогерентных источников, работающих одновременно, подсчитывается на основании принципа энергетического суммирования излучений отдельных источников [6]:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^{i=n} 10^{0,1L_i},$$

где  $L_i$  – уровень звукового давления  $i$ -го источника шума;

$n$  – количество источников шума.

Полученные результаты расчета сравниваются с допустимым значением уровня шума для данного рабочего места. Если результаты расчета выше допустимого значения уровня шума, то необходимы специальные меры по снижению шума. К ним относятся: облицовка стен и

потолка зала звукопоглощающими материалами, снижение шума в источнике, правильная планировка оборудования и рациональная организация рабочего места оператора.

Уровни звукового давления источников шума, действующих на оператора на его рабочем месте представлены в таблице 6.1.

**Таблица 5.1** Уровни звукового давления различных источников.

Источник шума	Уровень шума, дБ
Электродвигатель	71
Вентилятор	45
Плазмогенератор	65

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

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \lg(10^{7,1} + 10^{4,5} + 10^{6,5}) = 72 \text{ дБ}$$

Полученное значение не превышает допустимый уровень шума для рабочего места в лаборатории для проведения экспериментов, равный 75 дБ (ГОСТ 12.1003-83 с изм. 1999г.).

#### **5.1.4 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 для покрытия образцов, в лаборатории используется газы: аргона и азота. Азот и аргон – газы без цвета и запаха.

Аргон и азот – физиологически инертные, нетоксичные газы. Замещая кислород в воздухе, и вытесняя собой кислород из организма, они воздействуют на человека как удушающие агенты (асфиксанта) по причине снижения парциального давления кислорода [7].

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

- учащение дыхания и пульса, ритм дыхания может быть волнообразным (периоды учащения дыхания сменяются периодами замедления);
- потеря равновесия, головокружение, возможна эйфория;
- чувство тяжести или сдавливания в лобной части головы;
- чувство жара во всем теле;
- чувство покалывания в языке, кончиках пальцев рук и ног;
- изменение восприятия окружающей обстановки и угнетение функции органов чувств, особенно осязания;
- возможны «провалы» памяти и потеря сознания.

**Таблица 5.2** Характеристика вредных веществ, применяемых в работе.

[19]

	ПДК <sub>р.з.</sub> мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Агрегатное состояние
Ar	2,4	2	газ
N <sub>2</sub>	2	2	газ

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

При резком снижении содержания кислорода в атмосфере и, особенно при случайном попадании человека в среду азота или аргона достаточно нескольких вдохов для снижения парциального давления кислорода в крови до критического уровня – наступает потеря сознания, практически всегда внезапно. Разницы в воздействии на человека аргона или азота при полном вытеснении ими из атмосферы кислорода не существует [7].

При вдыхании гипоксической, но переносимой организмом, смеси воздуха с аргоном в отличие от азота индивидуально может проявляться слабое наркотическое действие аргона, выражающееся небольшой эйфорией. Но принципиального значения относительно угрожающей опасности это не имеет.

### 5.1.5 Микроклимат на рабочем месте

Под микроклиматом понимаются метеорологические условия внутренней среды рабочего помещения, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения [8].

Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря терморегуляции, т.е. способности организма регулировать отдачу тепла в окружающую среду. Принцип нормирования микроклимата – создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой.

Вакуумное оборудование является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В санитарных нормах СанПиН 2.2.4.548-96 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия [20].

**Таблица 5.3**      Оптимальные параметры микроклимата в помещениях с использованием ПК

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении	21-23°C
		Относительная влажность	40-60%
		Скорость движения воздуха	до 0,1м/с

Теплый	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении	22-24°С
		Относительная влажность	40-60%
		Скорость движения воздуха	0,1-0,2м/с

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

**Таблица 5.4** Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			диапазон температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	диапазон температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Iб (140 - 174)	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0- 25,0	15 - 75	0,1	0,2
Теплый	Iб (140 - 174)	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0- 29,0	15 - 75 *	0,1	0,3

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления

неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19°C [10].

В помещении имеется только естественная вентиляция (форточки окон, двери). Отопление зимой осуществляется только через систему общего отопления (городская). В крайнем случае, устанавливаются электрические обогреватели в зимнее время и вентилятор в летнее [11].

**Таблица 5.5** Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м <sup>3</sup> /на одного человека в час
Объем до 20м <sup>3</sup> на человека	Не менее 30
20.40м <sup>3</sup> на человека	Не менее 20
Более 40м <sup>3</sup> на человека	Естественная вентиляция

### 5.1.6 Освещение на рабочем месте

Важное место в комплексе мероприятий по созданию условий труда, работающих с вакуумным оборудованием в лаборатории, занимает создание оптимальной световой среды, т.е. рациональная организация естественного и искусственного освещения помещения и рабочих мест.

Правильно спроектированное и выполненное производственное освещение улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм.

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной



утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего.

Согласно СНиП II-4-79 в лабораторных помещениях необходимо применить систему комбинированного освещения. При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3-0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5-1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [9].

Кроме того, все поле зрения должно быть освещено достаточно равномерно – это основное гигиеническое требование. Иными словами, степень освещения помещения и яркость экрана компьютера должны быть примерно одинаковыми, т.к. яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости.

### **5.1.7 Расчет общего равномерного освещения**

Расчет освещенности рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения. Исходя из этого, рассчитаем параметры искусственного освещения. Обычно искусственное освещение выполняется посредством электрических источников света двух видов: ламп накаливания и люминесцентных ламп. Будем использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ [17]:

- по спектральному составу света они близки к дневному, естественному свету;

- обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания);

- обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания);

- более длительный срок службы.

Расчет освещения производится для комнаты площадью 36м<sup>2</sup>, ширина которой 6м, высота – 4,5 м. Воспользуемся методом светового потока [9].

Для определения количества светильников определим световой поток, падающий на поверхность по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta},$$

где,  $\Phi$  - рассчитываемый световой поток, лм;

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, 400лк;  $S$  – площадь освещаемого помещения, 36 м<sup>2</sup>;  $K_z$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли (табл. 4.9)  $K = 2,1$ ;  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{cp}/E_{min}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;  $N$  – число ламп в помещении  $Z=1,1$ ;  $\eta$  - коэффициент использования, (выражается отношением светового потока, падающего на расчетную поверхность, к суммарному потоку всех ламп и исчисляется в долях единицы; зависит от характеристик светильника, размеров помещения, окраски стен и потолка, характеризуемых коэффициентами отражения от стен ( $P_C$ ) и потолка ( $P_{П}$ )), значение коэффициентов  $P_C$  и  $P_{П}$  были указаны выше:  $P_C=40\%$ ,  $P_{П}=60\%$ . [9]

Значение  $\eta$  определим по таблице коэффициентов использования различных светильников. Для этого вычислим индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h(A+B)},$$

Где,  $S$  - площадь помещения,  $S = 36 \text{ м}^2$ ;

$h$  - расчетная высота подвеса,  $h = 3,5 \text{ м}$ ;

$A$  - ширина помещения,  $A = 6 \text{ м}$ ;

$B$  - длина помещения,  $B = 6 \text{ м}$ .

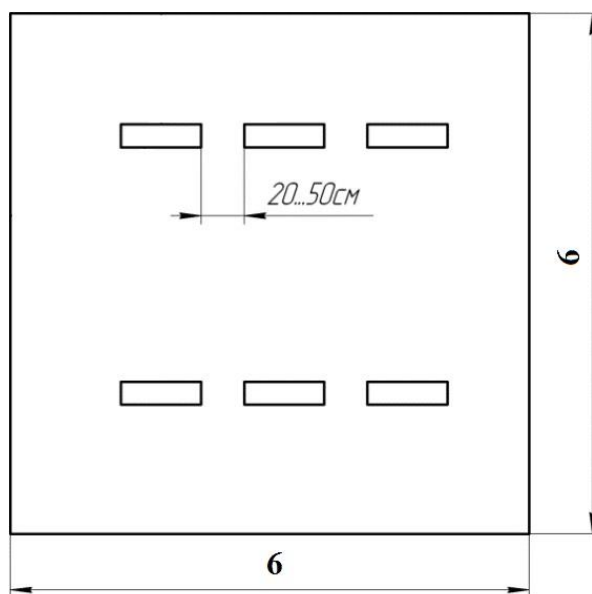
Подставив значения получим:

$$I = \frac{36}{3,5 * (6 + 6)} = 0,86$$

Зная индекс помещения  $I$ , по таблице 7 [23] находим  $\eta = 0,81$

При выборе осветительных приборов используем светильники типа ОД. Каждый светильник комплектуется двумя лампами.

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника типа ОД мощностью 30 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе схему размещения на нем светильников (рисунок 6.1). [8]



**Рис 5.1** Схема размещения светильников с люминесцентными лампами

$$n = 6 * 2 = 12 \text{ шт}$$

Подставим все значения в формулу для определения светового потока

*F*:

$$F = \frac{400 * 36 * 2,1 * 1,1}{0,81 * 12} = 3422,22 \text{ лм}$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

По табл. 1 выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД-65 Вт с потоком 3750 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{2850 - 3422}{2850} \leq +20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq 20\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 12 * 65 = 780 \text{ Вт.}$$

## **5.2 Анализ опасных факторов на рабочем месте**

### **5.2.1 Статическое электричество**

Статическое электричество – совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности или в объеме диэлектриков или на изолированных проводниках [13].

Исследования биологических эффектов показали, что наиболее чувствительны к электростатическим полям нервная, сердечнососудистая, нейрогуморальная и другие системы организма [4].

Для предотвращения образования и защиты от статического электричества необходимо использовать нейтрализаторы и увлажнители, а полы должны иметь антистатическое покрытие. Допустимые уровни

напряженности электростатических полей не должны превышать 20 кВ в течение 1 часа [14].

### **5.2.2 Поражение электрическим током**

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

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 поражения электрическим током:

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

2. 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).

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

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.

### **5.3 Охрана окружающей среды**

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

Высокая температура в зоне горения может привести к ожогам или сгоранию кожного покрова тела и внутренних органов человека, вызвать

потерю несущей способности строительных конструкций зданий и сооружений, их обрушение.

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

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

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



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

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

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

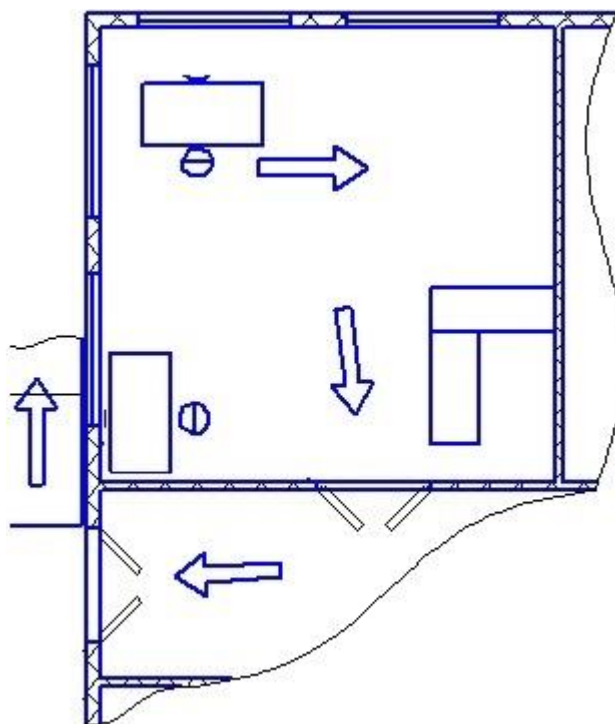
Предусмотренные в лаборатории средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02.-85) огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

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

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

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

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



**Рисунок 5.2** План эвакуации

#### **5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности (проф.дисциплины):**

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

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

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

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

Виды деятельности подразделяются на следующие группы:

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

Для видов деятельности устанавливаются три категории (I, II, III) тяжести и напряженности работы с ПЭВМ и ВДТ. Время непрерывной работы для I кат. - 2 часа; для II и III категории 1,52 часа. Сумма времени регламентированных перерывов при 8 - часовом рабочем дне составляет для I

кат. - 30 мин.; для II кат. - 50 мин.; для III кат. - 70 мин. Режим труда и отдыха операторов, работающих с ЭВМ, должен быть следующим: через каждый час интенсивной работы необходимо устраивать 15 - минутный перерыв, при менее интенсивной через каждые 2 - часа. Эффективность регламентируемых перерывов повышается при их сочетании с производственной гимнастикой. Производственная гимнастика должна включать комплекс упражнений, направленных на восполнение дефицита двигательной активности, снятие напряжения мышц шеи, спины, снижение утомления зрения. Она проводится в течение 5 - 7 мин. 1 - 2 раза в смену

### **Вывод к пятому разделу**

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

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ВСЕЙ РАБОТЕ.**

В данной работе содержится анализ, необходимый для понимания механизмов ионного травления. По мере достижения цели, при бомбардировки экспериментальных образцов получены данные, по которым можно сделать выводы:

Оптимальный результат травления был определен практическим путем, который составляет при токе ионов 30 Ампер и расстоянии между катодом и анодом 1,5 мм.

Используя дуговой разряд, при смещении потенциала наблюдалось нагревание образцов, что влечет за собой фазовый переход материала, вплоть до его плавления, это значит что дуговой разряд ограничивается травлением тугоплавких материалов.

В результате проведенных опытов, исходя от режимов определили, что травление ионным пучком менее производительнее дугового разряда, но процесс происходит без угрозы изменения структуры материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасов Б.Н. и др. Ионная химико – термическая обработка сплавов. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 400с.
2. Бабад-Захряпин А.А., Кузнецов Г.Д., Радиационно-стимулируемая химико-термическая обработка, М.: Энергоиздат, 1982. - 182 с.
3. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико – термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985, 256с.
4. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.: Металлургия, изд. 6е перераб. 1989, 360с.
5. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976, 102с.
6. «Распыление твердых тел ионной бомбардировкой» под редакцией Р. Бериша. Гл-4. Издательство «Мир» Москва 1984
7. «Распыление твердых тел ионной бомбардировкой» под редакцией Р. Бериша. Гл-2. Стр 23-24 Издательство «Мир» Москва 1984
8. «Физика воздействия ионных пучков на материалы» Н.В.Плешивцев, А.И.Бажин стр.249 М.: Вузовская книга, 1998 г.
9. Кизиков Э.Д., Кебко В.П. / Заводская лаборатория. 1985. Т. 51. № 3. С. 61-63.
10. Пранявичюс Л., Дудонис Ю. Модификация твердых тел ионными пучками. - Вильнюс: Мокслас, 1980. - 244 с.
11. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. - М.: Радио и связь, 1986. - 232 с.
12. Аброян И.А., Андронов А.Н., Титов А.И. Физические основы электронной и ионной технологии. - М.: Высш. школа, 1984. - 313 с.
13. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Вып. II.// Под ред. Бериша Р. - М.: Мир, 1986. - 488 с.
14. А.с. СССР N 1662284, МКИ С ЗОВ 31/22. Способ прецизионного травления пленок на подложках / Малышев В.С., Стогний А.И., Токарев В.В.
15. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 262 с.
16. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. - М.: Высшая школа, 1990. - 320 с.

17. Стогний А.И., Токарев В.В. Широкоапертурный источник ионов реактивных газов // ПТЭ. - 1990. - № 3, - с. 142-144.
18. Иванов А.А., Соболева Т.К. Электронные пучки в плазме. Вып. 3. - М. Атомиздат, 1975. - 240 с.
19. А.с. СССР N 1561744, МКИ НОI 727/00. Источник ионов / Стогний А.И., Никитинский В.А., Журавлев Б.И.
20. А.с. СССР № 1568793, МНИ НОI 727/00. Источник заряженных частиц / Никитинский В.А., Объедков С.И., Стогний А.И., Богатырев О.А.
21. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. - М.: Мир. - 1980. - 488 с.
22. Пранявичюс Л.И., Восилюс И.И. Процессы на поверхности твердых тел, активируемые ионными пучками.- Вильнюс: Мокслас. - 1987. - 212 с.
23. Шаталов Р.Р., Достанко А.П., Максимов Б.Г. и др. Исследование влияния потока заряженных частиц на температуру подложки при ионной обработке // Электрон. обраб. материалов. - 1983. - N 2. - с. 69-74.
24. Таблица физических величин: Справочник / Под ред. И.К.Кикоина. - М.: Атомиздат.- 1976.- 1008 с.
25. И.А.Аброян, А.Н.Андронов, А.И.Титов. Физические основы электронной и ионной технологии. - М.: Высшая школа, 1984.-320с.
26. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006. – 490 с.
27. В.Ф.Попов, Ю.Н.Горюнов. Процессы и установки электронно-ионной технологии. - М.: Высшая школа, 1986. - 255 с.
28. Акишин А. И. Ионная бомбардировка в вакууме. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 144 с.
- 29.Толок В.Т., Падалка в.Г. Методы плазменной технологии высоких энергий. - Атомная энергия, 1978, т. 44, с. 476-479.
- 30.Блинов И.Г., Дородное А.М., Минайчев В.Е. и др. Вакуумные сильноточные плазменные устройства и их применение в технологическом оборудовании микроэлектроники. - Обзоры по электронной технике. Серия: Микроэлектроника. М.: ЦНИИ "Электроника", 1974, вып. 7,8.
31. Попов В.Ф., Горин Ю.Н. Процессы и установки электронной технологии. - М.: Высшая школа, 1988.- 200с.

**Приложение А**  
(обязательное)

**Раздел на иностранном языке**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ61	Куминов П.О.		

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.			



## INTRODUCTION

At present, in engineering at the stage of a technical design, it is necessary to make experiments on the sample and to reveal its structure by the method of metallography. Before making metallography, you need to create a surface on the surface, which, usually, is performed by etching. Etching is performed in several ways: chemical, electrochemical and ion-plasma.

Ion-plasma etching in vacuum is a progressive method for revealing the structure of metals in metallography. Removal of atoms on the surface, when bombarding accelerated particles of a solid body, subsequently collides bombarding particles and atoms in the boundary layers.

When chemical etching, it is necessary to select reagents for a certain material, which can be expensive or inaccessible for many laboratories due to the lack of a certificate for working with this reagent. Ion-plasma etching does not require hazardous reagents; This process takes place in installations that do not occupy much space, which is relevant in this area.

Processes of ion-plasma processing in vacuum allow to provide solutions to many technological problems in the production of electronics: etching and depositing materials, creating materials with different electrophysical characteristics.

Also, the advantage of processing materials is a low-temperature low-pressure gas plasma. The source plasma should have a high density and a significant ion temperature, but the ion temperature must be low to obtain a plasma with a low numerical characteristic of the charged beam. This plasma has the form of a weak ionized gas, consisting of a mixture of stationary and inert atoms and molecules, dissociation products of radical molecules, electrons and charged ions.

The low pressure in the working chamber ensures a reduction in losses in the ion flow and the elimination of the possibility of defocusing of the beams. The pressure in the working and discharge chambers depends on the gas flow entering

the discharge chamber. Reducing the flow causes a decrease in the ion current and, correspondingly, the etching rate. It is possible to change the etching rate of the sample by changing the inert gas in the feed system, and it is also possible to change the speed by varying the distance "sample-ion source".

In the direction of ionization, the urgency assumes several trends: modernization of the structure, in-depth study of the processes and results of etching, and automation of ion-plasma etching. These research pathways have increased attention, when they are achieved, one can get a breakthrough in materials science, as well as in import substitution.

## CHAPTER 1. BASIC TYPES OF OBTAINING MORPHOLOGY OF SURFACE OF ALLOYS.

This chapter will describe methods for identifying the microstructure, and the processes of formation of relief elements on the surface during the spraying with heavy ions are considered. At the beginning of the chapter, after a brief description, on the microrelief and etching type, further the definition of the main processes of formation of characteristic structures is given.

### 1.1 Methods of obtaining morphology.

The internal structure and composition of metals are not uniform, since they usually consist of numerous grains in the form of adjacent crystallites. Most often, these heterogeneities have microscopic dimensions, so the corresponding varieties of the internal structure are called microstructures.

From the point of view of geometric parameters, microstructures can differ in size, shape and orientation of the grains. Differences in composition are characterized by the relative number of grains of the phases present and local segregation within individual grains.

The most characteristic feature of the microstructure is the presence of internal boundaries separating the grains in the metal. Regardless of whether these are the boundaries between disoriented grains of one phase or between grains of different phases, they represent abrupt changes in the internal structure of the metal.

The microstructure and, accordingly, the properties of the metal are not constant, they can be modified under the influence of various external factors, such as:

- mechanical forces,
- thermal effects,
- chemical interactions.

To reveal the microstructure, the surfaces are etched with reagents that depend on the composition of the alloy. Different phases are etched differently and colored differently. You can identify the shape, size and orientation of grains, individual phases and structure of components.

To identify the microstructure of the material, the surface layer of the sample is etched. Initially, the material is treated with alcohol, in order to degrease the surface under investigation. Etching is most often used by selective phase dissolution. It is based on the difference in the physico-chemical properties of the separated phases and the boundary parts of the grains. As a result of a different intensity of dissolution, the relief of the surface of the section is created.

### 1.2. Preparation of a microstructure by chemical etching.

To identify the microstructure, it is first necessary to select reagents that are capable of dissolving the surface layer of the material, then combine them and determine the optimum concentration for etching. As a result, dissolution of some phases, oxidation and staining of others occurs on the surface of the section. Chemical etching is realized by lowering the material into an etching reagent or wiping a surface layer of material using a tampon. The duration of the etching process is usually determined experimentally. The final etching step is thorough washing with water and drying with filtered paper.

The sign of the under-grinding of the material section is, as a rule, a very light and insufficiently revealed structure of the sample. This means that the etching process must be repeated. But, if the surface layer of the sample was too dark, it means that the section is etched, and it must be repeatedly polished and etched.

Examples of recommended reagents for revealing the structure of various metals and alloys are given in Table. 1.1.

Table 1.1. Etching agents and regimes for detecting the microstructure of certain metals and alloys

Etching composition	Method of consumption	Application area
Nital: nitric acid - 1-5 ml; ethyl (or methyl) alcohol - 100 ml	Chemical etching from a few seconds to 1-2 minutes	For etching of iron-carbon alloys (steels and cast irons)
Chlorine iron - 5 g; hydrochloric acid - 10 ml; water 85 ml	Chemical etching for 3-10 s	To identify the microstructure of copper alloys
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 74 ml H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> - 74 ml CrO <sub>3</sub> - 16 g H <sub>2</sub> O - 56 ml	Chemical pickling from 5 to 8 minutes	Electrolyte for etching D16
5-20% solution of NaOH in water or in methyl alcohol	Chemical etching	To detect the microstructure of aluminum and its alloys

### 1.3 Preparation of microstructure by ion bombardment.

Ion etching is the process of removing surface layers of a material under the influence of bombardment with ions of inert gases (usually argon) with high energy. Ions, upon collision with the surface of the sample to be etched, transfer their energy to the surface atoms. In order for atoms from the surface of matter to be torn from it (atomized), the energy transferred to atoms must be greater than the energy of the chemical bond of the atom in the lattice, and the momentum imparted to the atom must be directed outward from the surface.

### **1.3.1 Ion providing beam**

An ion beam is a directed flow of (singly or multiply charged) ions, which usually has small transverse dimensions in comparison with the length and moves with a velocity much higher than the chaotic thermal velocities of its constituent particles. It is used in accelerators, thermonuclear fusion plants, mass spectrometers, various microelectronics process units.

The behavior of the ion beam depends on the initial directed velocity of the ions, their thermal velocities, external electric and magnetic fields, pair collisions of ions with the particles of the medium, and also on the intrinsic volumetric charge of the beam and the magnetic field of its current. An important parameter of the ion beam, which characterizes the effect of the space charge on its properties, is perveance.

$$P = \frac{I}{U^{3/2}} \quad (1.1)$$

where  $I$  - is the beam current, and  $U$  - is the ion-accelerating potential difference. Beams with constant perveance for identical dimensions are similar to each other. Although the spread of thermal (chaotic) ion velocities may be small compared to their directed velocity, it is often the thermal velocities that limit the possible focusing of the ion beam, distorting its shape. This beam quality is characterized by so-called. emittance associated with the projection of the phase volume of the beam onto the plane, which is approximately equal to

$$V_{\phi} = 2|R_0\sqrt{\frac{2T_i}{Mc^2}}, \quad (1.2)$$

where  $R_0$  is the radius of the plasma serving as a source of ions with temperature;

$T_i$  - expressed in terms of energy;

$M$  - is the ion mass.

In the absence of particles of the opposite sign, the axisymmetric ion beam expands along the  $z$  axis under the action of an intrinsic charge, and the profile of the ion beam is described by the formula:

$$f\left(\frac{R}{R_0}\right) = 2^{-\frac{3}{4}}I_0^{\frac{1}{2}}\left(\frac{M}{e}\right)^{\frac{1}{4}}U^{-\frac{3}{4}}R_0^{-1}z \quad (1.3)$$

$$f(x) = \frac{1}{2}\int_1^x \frac{dy}{\sqrt{\ln y}} \quad (1.4)$$

To preserve the shape of the ion beam, their space charge must be compensated by the charge of particles of the opposite sign. The most common "gas" compensation of space charge in an ion beam. When some positive ions of the beam collide with the atoms of the residual gas, electrons are formed, and relatively slow positive ions. The latter are pushed out of the beam by an electric field, and the electrons accumulate in it, in spite of the fact that Coulomb collisions with the primary ions prevent it. In this way, a complete but significant compensation of the space charge in a beam of positive ions is achieved (Fig. 1.1a). Otherwise, gas compensation of the space charge occurs in the negative ion beam (Fig. 1.1, b). In this case, at a low gas pressure, the accumulated slow positive ions also only partially compensate for the bulk charge of the ion beam. However, if the gas pressure is high enough, the volume charge recompensates: due to the accumulation of a large number of slow positive ions, the potential in the beam changes its sign and a "gas focusing" of the beam of negative ions occurs.

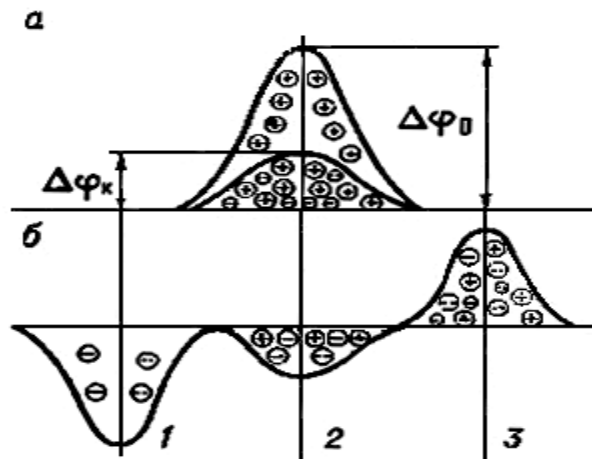


Figure 1.1. Radial distribution of the potential: a - in the beam of positive ions before compensation ( $\Delta\phi_0$ ) and after it ( $\Delta\phi_k$ ); b - in a beam of negative ions at different gas pressures: 1 - in a high vacuum; 2 - at a higher pressure, when the beam is largely compensated; 3 at high pressure, when the sign of the potential reversed.

Another way to compensate for the space charge of an ion beam is to "force" the introduction of ion beams of charge beams of the opposite sign, that is, in the alignment of beams. Thus, synthesized ion-electron or ion-ion beams with compensated volumetric charge are obtained; while simultaneously with the compensation of the space charge, the necessary current compensation is often carried out. As a result, there is a transition to plasma flows, called ion-beam plasma in dense ion beams. Because of the non-Maxwellian velocity distribution, there are collective phenomena - electronic and ionic oscillations. Collective effects, leading to a change in the phase volume, also affect the transportation of the ion beam.

To obtain an ion beam, ion sources with gas-discharge ionization chambers are often used, and then ions are taken not from the fixed surface of the solid body, but from the boundary of the plasma moving when the external conditions or the operating mode of the source change (Fig.1.2)



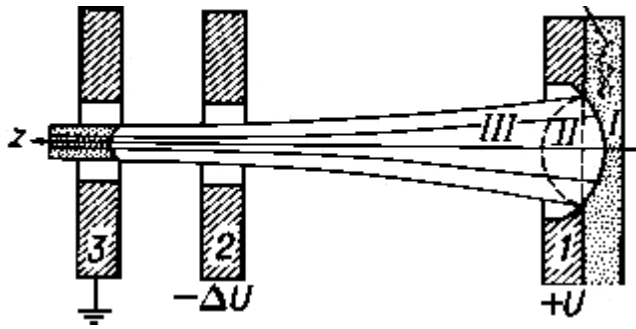


Figure 1.2. - The system of primary formation of the accelerated ion beam extracted from the plasma source: 1, 2, 3 - Electrodes. I - is the concave boundary of the plasma, II - is flat, III - is convex.

In this case, the primary formation of the ionosphere is associated with so-called plasma focusing. As the accelerating potential difference  $U$  increases, the plasma boundary from the convex (III) becomes concave (I), conditions are created for focusing the beam. The electrode 2 with a beam opening having a potential below the potential of the ground electrode 3 keeps electrons compensating for the ion beam and accelerates the ion beam itself. In the future, ion beams can be focused by means of electrostatic and magnetic lenses. Compression of the ion beam is associated with its "cooling" -the decrease in the phase volume. One of the methods for cooling a "hot" ion beam is to combine it with a "cold" electron beam.

### 1.3.2 Classification of different spray groups

When the surface of a solid is bombarded with atomic particles, the surface is destroyed. This phenomenon, now called sputtering, was first discovered in the middle of the last century in a gas discharge, but now it is known that it has a very universal character. Bombing with any heavy particles can lead to the destruction of the surface of any material, albeit with very different efficiencies; and even surface irradiation with light particles, for example, electrons or photons, can cause considerable erosion of certain classes of materials. The fracture rates are characterized by the sputtering coefficient  $Y$ , which is defined as the average number of atoms removed from the surface per bombarding particle. Generally

speaking, the sputtering coefficient depends on the type of material being sprayed and its state, and in particular on the detailed structure and composition of the surface, as well as on the characteristics of the incident particle and on the geometry of the experiment. Reliable experimental values of  $Y$  usually lie in the interval  $10^{-5} \leq Y \leq 10^3$  atoms per one fallen particle (Chapter 4). Smaller values are difficult to measure, and large values of the sputtering coefficient are possible only under certain special bombardment conditions.

Physical sputtering occurs at incident particle energies, measured in tens and hundreds of electron volts, and propagates to the megaelectronvolt region, but it weakens in the region of several electron volts, as opposed to chemical sputtering, which can occur up to very low energies. True, there is no sharp boundary between physical and chemical spraying. At energies measured by many gigaelectronvolts, the efficiency of both types of sputtering must rapidly decrease, since the interaction of the incident particles with the target atoms weakens.

There are two types of ionic etching: reactive ion-plasma and reactive ion-beam etching. In reactive ion-plasma etching, the samples to be processed are placed on the electrode of a gas-discharge device and bombarded with ions of chemically active plasma. In reactive ion beam etching, the samples are placed in a high vacuum chamber, and their bombardment is carried out from an autonomous source by ions of reactive gases.

A variety of ion etching is ion-chemical (reactive) etching, in which a reactive gas, usually oxygen, is introduced into the plasma. The chemical interaction between the atoms of the substrate and the added gas affects the etch rate.

Bombardment of solids by fast ion fluxes, atoms, atomic nuclei, neutrons, electrons, clusters and microparticles with energy of 10-20 eV and higher leads to sputtering (erosion) of them in the form of atoms, ions, molecules and clusters (neutrons and charged complexes from many atoms)

Ion etching is used to clean the surface of the samples, to produce profiles (for example, to measure the variation in the composition of the sample in depth), and it also makes it possible to reveal the structure of the surface.

Changes in the morphology of the surface are inevitable in the interaction of ions with a solid, but how much they are noticeable depends on the specific parameters of the solid and its surrounding medium, as well as on the flux density of the primary ions. The macroscopic effect of sputtering is the erosion of the target. If the target were homogeneous and amorphous, and the ion flux density was homogeneous, one would expect a uniform erosion of the material, in which the initially flat surface remains macroscopically flat during ion bombardment.

But, since real targets are very rarely amorphous or homogeneous, and most often are crystalline, initially the planar surface does not remain flat during the bombardment - it displays a multitude of depressions and irregularly shaped protrusions, arising in part because of the difference in the sputtering coefficients of grains of different orientations, and partly because of the grain boundaries and other defects originally present in the solid, as well as the resulting ion bombardment.

Such changes in morphology can be considered "intrinsic", since they are caused by interactions only in the ion-solid system itself. But "improper" or impurity effects are also possible, arising from the disturbance of the process of ion-solid interaction with impurities, contaminants and foreign inclusions both on the surface and in the volume of a solid.

#### **1.4. Method of cathode sputtering**

The method is based on the fact that the target from the material to be sprayed is bombarded with fast ions, as a result of which atoms deposited on the substrate near the substrate are knocked out from the target surface (Figure 1.3). The source of ions is a plasma that arises in an inert gas medium at a pressure  $P = 0.013\text{-}13 \text{ Pa}$  ( $10\text{-}10\text{-}1 \text{ mm Hg}$ ). By the method of formation, discharges differ in

diode, triode, magnetron systems. The use of this or that method of discharge formation allows achieving a high rate of coating application.

The method of cathode sputtering makes it possible to overcome a number of difficulties encountered in the thermal method: reduce the temperature of the source of the substance, use a relatively low vacuum, avoid changing the composition of the condensate during evaporation of the alloys, obtain coatings from any refractory materials, and ensure a uniform distribution of condensate over the substrate with a large area. In the case of cathode sputtering, a plasma can be produced by a glow or high-frequency discharge. The latter method allows not only to carry out cathode sputtering under reduced pressure, but also to significantly increase the deposition rate of the material, as well as to apply dielectric materials. The energy of the particles emitted from the substrate can reach several electron volts, and the degree of ionization reaches 1%, which makes it possible to obtain coatings with slightly better adhesion and denser than thermal coatings.

The properties of films produced by the cathode sputtering method depend on a number of factors: the quality of the target material, target temperature and substrate, plasma energy, gas pressure in the working chamber, plant design, and the like. The rate of coating is several times lower than in thermal methods. This is due to the fact that the sputtering rate depends on the pressure in the interelectrode space. The increase in pressure leads to an increase in the concentration of ions, hence, the rate of atomization. However, the sputtering coefficient at pressures above 10 Pa strongly decreases due to the back diffusion of the sputtered molecules to the target, which reduces the rate of sanctification of the substance on the substrate and leads to an increase in the content of gas inclusions in the film.

Advantages of the method:

- realization of the process at low temperatures;

- high coefficient of material use;
- fairly simple settings.

Disadvantages of the method:

- low etching rate (10 - 10 -  $\mu\text{m} / \text{min}$ ).

### **1.5. The method of ion deposition**

With this method of treatment, a glow discharge is created in the space between the surface to be treated (the substrate) and the source of the deposited material (evaporator) under an inert gas atmosphere (Ar, Xe) at a pressure of the order of 1 Pa, or in the vapor of the deposited material. In the case of ion deposition, the substrate plays the role of a cathode. The precipitated substance, partially ionized in the discharge, is accelerated by the electric field and embedded in the surface of the substrate (Figure 1.4). Under these conditions, the particles of the deposited substance acquire a large kinetic energy at the time of impact with the substrate surface, which facilitates penetration of them into the substrate material to a noticeable depth. The degree of ionization can reach 80-90%, the energy of the condensed particles comprehends  $E_i = 10\text{-}20 \text{ eV}$ , which makes it possible for some types of reactions that are unrealizable in the absence of ionization.

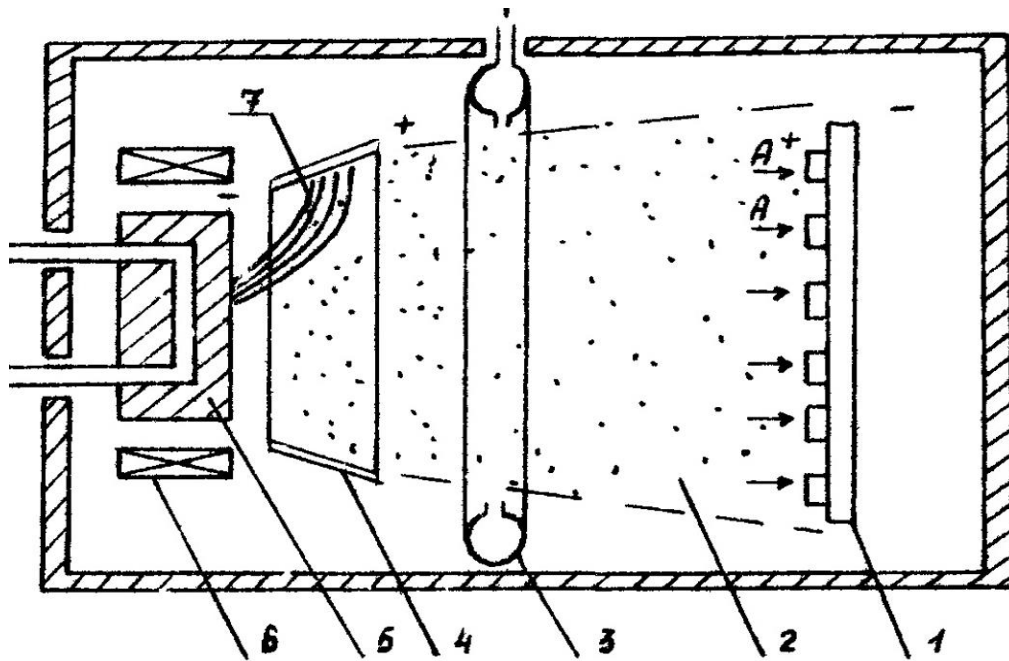


Figure 1.3. Scheme of installation for ion deposition of coatings with an electric arc evaporator. 1-support; 2 - plasma; 3-collector of gas supply; 4-anode; 5 - cooled cathode; 6 - magnetic coil

The presence of a layer of the near-cathode drop of the potential, which exactly repeats the shape of the part, allows us to efficiently process the surfaces of the most arbitrary shape. The dimensions of the workpiece are limited in fact only by the dimensions of the vacuum chamber. In industrial plants, processes of erosion of electrodes in the cathode spot of the vacuum arc (plasma accelerators) are used to create plasma flows of various working substances.

The use of accelerators differs directly from ionic deposition in a glow discharge in that accelerators create a directed flow.

The process of ion deposition proceeds in two stages: purification and deposition of the coating. In the purification stage, the substrate serves as a sputtered glow discharge cathode and is bombarded by positive ions of residual gases (or metal ions), as well as the action of ultraviolet rays from the glow discharge region.

## 1.6. Statement of the task and purpose of the work

The purpose of this work is an experimental study of the mechanisms of formation of periodic microrelief on the surface of solids during bombardment with chemically neutral gas ions;

Investigation of the influence of physical parameters on the bombardment process, formed by an accelerated ion beam under low pressure in a gas-discharge medium.

To achieve this goal, the following problems were solved:

Study of the features of the sputtering of materials by two types of ions: high-energy (4-6 keV) and low-energy (up to 1 keV), and the conditions for the formation of the microrelief should be taken into account, since they will be different, flows.

Carrying out comparative analysis of such modes as ion current, voltage and temperature on the basis of microrelief formation of material samples by two ion sources: ion beam and arc discharge.