

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра Физико-энергетических установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния магнитного поля и потенциала смещения на подавление титановых макрочастиц вакуумно-дугового испарителя

УДК 533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ4В	Желомский Сергей Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер лаборатории №22 НИ ТПУ	Шевелев А.Э.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

О. Ю. Долматов

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4B	Желомскому Сергею Геннадьевичу

Тема работы:

Исследование влияния магнитного поля и потенциала смещения на подавление титановых макрочастиц вакуумно-дугового испарителя	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	26.02.2016 № 1618/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	2 типа вакуумно-дуговых источников плазмы смонтированных на вакуумный пост установки ННВ 6.6 – И1, работающих в непрерывном режиме. Генератор высокочастотных коротко-импульсных потенциала смещения отрицательной полярности. Титановая плазмы. Стальные мишени
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Сбор данных о причинах формирования микрокапельной фракции; – Исследование влияния параметров импульсного потенциала смещения на толщину покрытия; – Изучение влияния импульсно–периодического отрицательного смещения на накопление макрочастиц на поверхности потенциальной мишени; – Определение оптимальной конфигурации магнитного поля и параметров импульсно-периодического потенциала смещения.

Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	М. В. Верховская
Социальная ответственность	Т. С. Гоголева
Иностранный язык	Я. В. Ермакова
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Описание процесса генерации макрочастиц	
Описание оборудования и изучение режимов работы экспериментальной установки	
Исследование закономерностей подавления микрокапельной фракции	
Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
Безопасность использования и анализа данных при помощи электронной вычислительной машины	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер лаборатории 22	А. Э. Шевелев			01.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Желомский Сергей Геннадьевич		01.02.2016

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4B	Желомскому Сергею Геннадьевичу

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерно-технический контроль и регулирование

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Иерархическая структура работ
4. Календарный план проекта
5. Бюджет проекта
6. Определение ресурсоэффективности проекта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Желомский Сергей Геннадьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4B	Желомскому Сергею Геннадьевичу

Институт	Физико-технический	Кафедра	Физико-энергетические установки
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	14.04.02 Ядерная физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

– описание рабочего места для работы с персональной электронно-вычислительной машиной (ПЭВМ) на предмет возникновения:	– опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы). – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующие излучения).
– знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – гигиенические требования к ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

– анализ выявленных вредных факторов производственной среды проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ).
– анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Т. С. Гоголева	к.ф.-м.н.		14.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Желомский Сергей Геннадьевич		14.03.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 108 стр., 38 рис., 17 табл., 32 источник, 1 приложение.

Ключевые слова: плазма, дуговой разряд, титан, осаждение, макрочастица.

Объектом исследования являются влияние магнитного поля и потенциала смещения на подавление титановых макрочастиц вакуумно-дугового испарителя.

Цель работы – исследования закономерностей формирования потока микрокапельной фракции вакуумно-дугового испарителя и увеличение эффективности подавления макрочастиц при приложении к потенциальной мишени высокочастотного коротко-импульсного потенциала смещения.

В процессе исследования был проведен ряд экспериментов для определения влияние магнитного поля вакуумно–дугового испарителя и высоковольтного отрицательного потенциала смещения на накопление титановых макрочастиц на потенциальном электроде.

В результате исследования определены оптимальная конфигурация магнитного поля и параметры импульсно–периодического потенциала смещения.

Область применения: Физика плазмы.

Было продемонстрировано, что использование тангенциального к поверхности катода магнитного поля, значительно увеличивает скорость перемещения катодного пятна по рабочей поверхности, снижет эмиссию микрокапель и совместно с короткоимпульсным высокочастотным потенциалом смещения позволяет реализовать режим плазменно–иммерсионной имплантации со значительным снижением плотности титановых макрочастиц на поверхности мишени.

Оглавление

Реферат	7
Введение.....	9
1.1.1 Процессы генерации макрочастиц	11
1.1.2 Основные закономерности формирования потока макрочастиц.....	15
1.2. Методы снижения микрокапельной фракции в потоке вакуумно–дуговой плазмы	16
1.2.1 Снижение интегральной температуры катода.....	16
1.2.2 Снижение плотности тока	17
1.2.3 Присутствие газа в разрядном промежутке.....	17
1.2.4 Управляемое движение катодного пятна.....	18
1.2.5 «Бескапельные» режимы дуги	19
1.3. Вакуумно-дуговые источники эрозионной плазмы с магнитными фильтрами	20
2 Оборудование и методики исследований	28
2.1. Описание экспериментальной установки	28
2.2 Вакуумно-дуговой испаритель с перемещающейся магнитной системой	29
2.3. Высокочастотный короткоимпульсный генератор напряжения.....	33
2.4 Генератор плазмы «ПИНК» с комбинированным полым и накаливаемым катодами	34
2.5 Подготовка экспериментальных образцов.....	37
2.6 Оборудование для исследования свойств материалов и покрытий	39
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	42
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	44
4.1.2 SWOT-анализ.....	45
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	48
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	48
4.2.3 План проекта.....	50
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования.....	51
4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	51
4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	53
4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	54
4.2.4.4 Дополнительная заработная плата.....	56
4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	56
4.2.4.6 Накладные расходы.....	57
4.2.4.7 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта.....	58
4.3 Организационная структура проекта	59
4.4 Матрица ответственности	60
Список публикаций студента.....	62

Введение

На сегодняшний день проблема некачественных материалов является актуальной как в России, так и во многих странах мира. Разрушение металлов под воздействием различных механических и химических взаимодействий приводит к тому, что инструмент теряет свои первоначальные свойства. Это наносит существенный финансовый ущерб, как в быту, так и в государственных масштабах. Повышение качества поверхности металлов имеет важное практическое значение. Состояние поверхности напрямую влияет на эксплуатационные и технические свойства узлов, деталей и изделий в целом. Нанесения защитного покрытия на материал инструмента значительно продляют его срок службы.

В настоящее время существует большое количество приемов по нанесению защитного материала на поверхность. Одним из действенных методов существенно улучшающим физические свойства материала является метод плазменно-эмиссионной имплантации ионов (ПИИИ, или ПИ³).

Ионно-плазменное модифицирование позволяет за счет создания в поверхности тонких модифицированных слоев (до 200 нм) под воздействием ионной имплантации (ИИ) влиять на физико-химические свойства материалов: повышать коррозионную стойкость (КС) конструкционных и реакторных материалов; упрочнять и повышать твердость поверхности; снижать скорость ползучести под нагрузкой и повышать условный предел текучести циркониевых сплавов. Нет объёмных изменений.

Один из недостатков ПИ³ это осаждения макрокапель в результате плазменной обработки на поверхность потенциальной мишени, что ухудшает качество материала. Для борьбы с микрочастицами используют различные методы очищения плазмы: плазменные фильтры, изменение времени обработки, изменение потенциала, изменение составляющих магнитного поля.

К настоящему времени разработано огромное количество различных сепараторов и фильтров, которые эффективно удаляют капельную фазу из

плазменного потока. Однако при удалении основной составляющей массопереноса из плазменного потока вакуумной дуги существенным образом снижает плотность плазмы, тем самым снижая скорость осаждения конденсатов и или плазменно–иммерсионной ионной имплантации.

Целью данной работы является исследования закономерностей формирования потока микрокапельной фракции вакуумно-дугового испарителя и увеличение эффективности подавления макрочастиц при приложении к потенциальной мишени высокочастотного коротко-импульсного потенциала смещения. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Обзор литературы по закономерностям формирования потока микрокапельной фракции вакуумно-дугового разряда, способам фильтрации плазмы и снижения числа макрочастиц на поверхности образца;

2. Ознакомиться с устройством и режимами работы лабораторной установки, подготовить экспериментальные образцы для их последующей ионно-плазменной обработки;

3. Изучить влияние тангенциального к поверхности катода магнитного поля на формирования потока макрочастиц и плазмы в вакуумно-дуговом испарителе с перемещающейся магнитной системой;

4. Исследовать влияние высокочастотного коротко-импульсного потенциала смещения отрицательной полярности на накопление макрочастиц на поверхности образца, погруженного в титановую вакуумно-дуговую плазму.

1.1.1 Процессы генерации макрочастиц

Макрочастицы представляют собой жидкие или твердые куски материала катода, генерируемые в катодном пятне наряду с плазмой. Термин «макрочастица» используется часто и подчеркивает массивность частиц по отношению к электронам и ионам, однако некоторые авторы предпочитают использовать термины «капли», «микрочастицы» и «наночастицы», когда речь идет о субмикронных частицах [1].

На сегодняшний день предложено несколько механизмов объясняющих процесс формирования капель в катодном пятне. Выбор модели в частности зависит и от материала катода, ведь в случае легкоплавких материалов (например, алюминий, медь) большинство генерируемых частиц формируются в жидком виде, а для тугоплавких материалов (особенно графита) частицы в основном представляют собой отколовшиеся куски материала катода.

Рассмотрим, в частности, модель формирования капель в металлическом катоде, впервые представленную Б. Юттнером. Во время взрывных процессов на поверхности катода, вещество находится во всех четырех агрегатных состояниях. Очевидно, что должна существовать тонкая переходная граница между регионом плотной плазмы с характерными температурами несколько десятков тысяч К и значительно более холодным катодом. Жидкий металл, в такой транзитной зоне подвергается воздействию изменяющегося во времени давления ионной компоненты плазмы, расплавленный слой катодного материала вытесняется на периферию, образуя кольцевой гребень. Под действием сил поверхностного натяжения и флуктуаций гребень распадается на отдельные стержни, в процессе вытягивания которых появляются микроострия и формируются капли [2]. Изображения кратеров на поверхности катода, полученные при помощи сканирующего электронного микроскопа, рисунок 1.1, подтверждают взрывные процессы в катодном пятне и выбросы вещества в процессе его существования, и

что генерация плазмы и макрочастиц является неотъемлемой характеристикой вакуумной дуги.

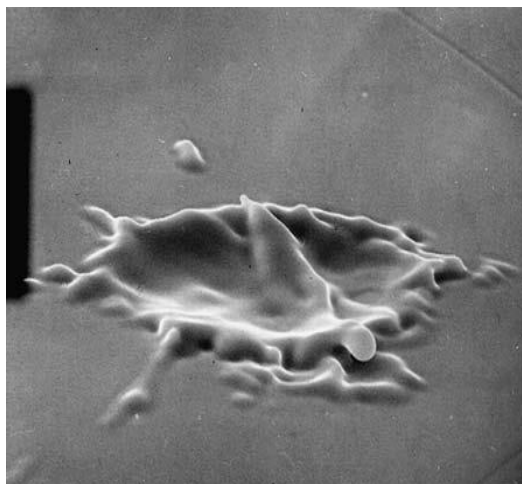


Рисунок 1.1 – Пример образования кратера катодным пятном. Изображение получено при помощи сканирующего электронного микроскопа после 10 нс горения катодной дуги на Молибдене.

Наиболее распространенный метод для подсчета частиц испущенных катодом – это анализ макрочастиц накопленных на подложке. Предположение что распределение частиц на подложке соответствует распределению испущенных частиц с катода, несколько не соответствует действительности, так как экспериментально наблюдалось отражение части частиц от подложки, стенок камеры и прочих объектов, особенно в случае тугоплавких металлов и графита представлено на рисунке 1.2 [3].

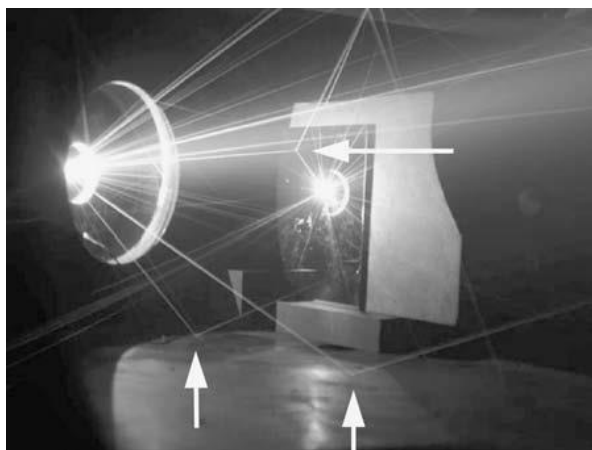


Рисунок 1.2 – Эмиссия микрочастиц из катодной дуги на графите с током дуги 100 А, время измерения 100 мс. Белыми стрелками отмечены места отражения микрочастиц от поверхности

Для процессов, связанных с модификацией структуры поверхности, наибольшее значение имеют частицы, испущенные по нормали к поверхности катода, то есть те что испущены совместно с плазмой. На рисунке 1.3 представлено распределение макрочастиц от импульсной вакуумной дуги с использованием Pb, W, Ag, Ni, Pt и Cu катодами [4]. Можно заметить, что чем ниже точка плавления материала, тем больше и крупнее частицы.

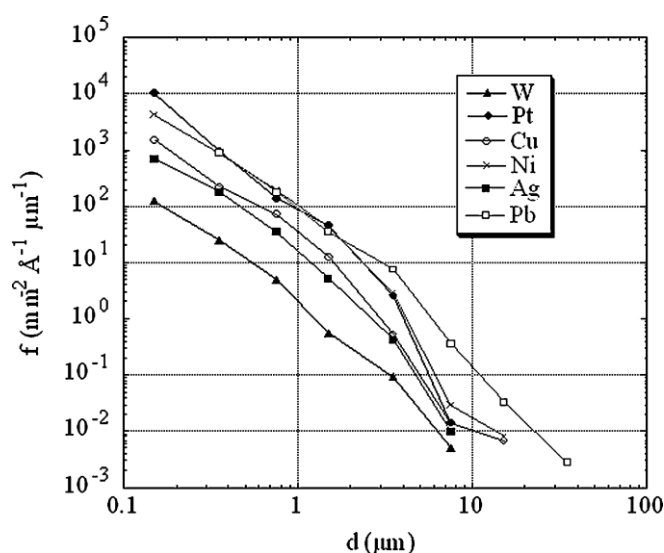


Рисунок 1.3 – Распределение частиц по размерам от импульсной вакуумной дуги с различными материалами катода. Подложка располагалась на расстоянии 6,5 см от катода, ток дуги 200 А

Важно отметить, что высокий ток дуги увеличит число активных катодных пятен или эмиссионных зон, а не изменит их поведение. Поэтому, можно считать, что распределение макрочастиц не изменится до тех пор, пока дуга функционирует в нормальном режиме, т.е. собственное магнитное поле и анодные пятна можно проигнорировать [5]. Рисунок 1.4 подтверждает эту мысль.

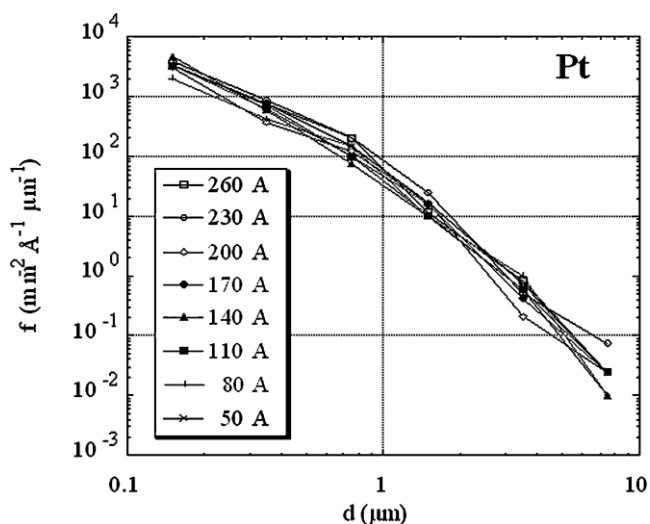


Рисунок 1.4 – Распределение частиц по размерам для платинового катода, как функция от тока вакуумной дуги

На долю микрокапель может приходиться до нескольких десятков процентов от общей массы, уносимого с катода материала. От материала катода зависит размер частиц. Например, для кадмия размер микрочастиц не превышает 20 мкм, а для кадмия достигает более 100 мкм. Минимальные размеры зафиксированных частиц составили менее 100 Å. Количество частиц экспоненциально увеличивается с уменьшением их диаметра. Однако наибольшие потери массы в капельной фазе, например, для меди и кадмия происходят за счет частиц размером 10-40 мкм [6].

Макрочастицы обнаруженные на подложке, как правило, деформированы от взаимодействия, часто имеют тороидальную форму. Очевидно, что частицы находились в жидкой фазе на момент взаимодействия с подложкой, а затем мгновенно остыли. Расплющенные частицы достаточно частое явление, не только для материалов с низкой температурой плавления, но и для тугоплавких материалов. Однако не все частицы расплавлены, как показывает опыт,

большинство частиц меньше чем 0,5 мкм сферичны, что свидетельствует о том, что на момент соударения они остыли и затвердели [1].

1.1.2 Основные закономерности формирования потока макрочастиц

Огромное количество работ и статей посвящены исследованию механизмов эмиссии макрочастиц, их движению, взаимодействию с плазмой разряда и с поверхностью конденсации [7]. Большинство исследований катодного пятна (КП) затрагивают проблему образования в потоке плазмы МЧ. На основе этих работ экспериментально установлено, что:

- Образование потоков вещества с поверхности катода вакуумной дуги обусловлена процессами в катодном пятне; В состав этих потоков входят два основных компонента – ионы и нейтралы виде МЧ;
- В основном макрочастицы представляют собой капли расплавленного материала катода с размером от единиц нанометров до десятков микрометров;
- МЧ распределяются по размерам представляет в виде экспоненциально падающей функции (количество МЧ уменьшается с увеличением их размеров);
- Основную массу материала составляют МЧ «среднего» размера (примерно от 1 до 20 мкм);
- Чем ниже температура плавления материала – тем больше эрозия капельных фракции;
- Основная часть МЧ разлетается из КП под острым углом по отношению к эродирующей поверхности катода. Максимум углового распределения плотности потока крупных частиц находится в области нескольких градусов, а с уменьшением размеров МЧ этот максимум смещается в сторону больших углов (примерно до 30 - 45°) [8];
- При повышении температуры катода эрозия капельной фракции увеличивается;

- При увеличении скорости перемещения КП по поверхности катода количество капель уменьшается;
- Убыль массы катода за счёт капельной фазы эрозии уменьшается при наличии в разрядном пространстве реактивного газа, способного образовывать на поверхности катода плёнки соединений с эродирующим металлом.

К настоящему времени разработан ряд способов и устройств, позволяющих заметно снизить интенсивность потоков МЧ в эрозионной плазме дугового разряда низкого давления в технологических без фильтровых систем осаждения покрытий. Ряд таких способов и устройств рассмотрен в следующих разделах. Под без фильтровыми система понимаются такие системы, в которых объект плазменного воздействия находится в зоне прямой видимости с рабочей поверхности катода, эмитирующей МЧ. Иначе говоря, между подложкой и катодом отсутствуют какие-либо элементы системы, которые могли бы служить механическим препятствием для МЧ, движущихся в сторону подложки.

1.2. Методы снижения микрокапельной фракции в потоке вакуумно–дуговой плазмы

1.2.1 Снижение интегральной температуры катода

Количество расплава в катодном пятне и, следовательно, интенсивность каплеобразования определяются теплоотводом из активной зоны пятна в окружающий массив катодного материала и температурой этого массива. Экспериментально установлено [9,10], что унос массы катодного материала в капельной фазе увеличивается в несколько раз при повышении температуры от ~ 370 К примерно до 770 – 920 К. В этой связи при необходимости иметь потоки эрозионной плазмы с пониженным содержанием МЧ в конструкции плазменного источника должно быть предусмотрено эффективное принудительное охлаждение катода (как правило, проточной водой). Прежде всего, это касается источников, работающих в режиме дуги постоянного тока. Оптимальные условия охлаждения

катода достигаются при прямом контакте хладагента (воды) с телом катода. Любые прокладки между охлаждающей водой и катодом ведут к заметному ухудшению теплоотвода, повышению интегральной температуры и, следовательно, к повышению интенсивности эмиссии МЧ.

1.2.2 Снижение плотности тока

Током дуги определяется мощность, рассеиваемая в зоне, примыкающей к КП, и, следовательно, температура в этой зоне и интенсивность эмиссии МЧ. Снижая ток, можно таким образом уменьшить поступление МЧ в плазменный поток, генерируемый КП. Но, с другой стороны, от тока зависит производительность процесса осаждения покрытия. Поэтому снижать температурный эффект разрядного тока с целью ослабления процесса генерации МЧ целесообразнее не в результате его (тока) уменьшения, а путём равномерного распределения его воздействия на всю рабочую поверхность катода. При этом фактором, влияющим на эмиссию МЧ, становится не величина разрядного тока, а его плотность, распределённая по всей рабочей поверхности катода и усреднённая по времени.

1.2.3 Присутствие газа в разрядном промежутке

Содержание МЧ в плазме и, соответственно, в конденсате уменьшается в присутствии активного газа в системе. Это явление исследовалось авторами работ [11, 12]. В частности, установлено, что при повышении давления азота от 10^{-3} до 1 Па в системе с титановым катодом концентрация капель в конденсате снижалась от 29,6 до 14,5%. Авторы объясняют это тем, что в присутствии азота на поверхности катода образуется плёнка нитрида титана. А поскольку температура плавления этого соединения (3223 К) существенно выше температуры плавления титана (1933 К), то эрозия катода в капельной фазе при наличии на нём слоя

нитрида существенно уменьшается. Аналогичное явление наблюдается и при напуске в систему ацетилена, а также смесей аргона с азотом или углеродосодержащим газом.

1.2.4 Управляемое движение катодного пятна

При достаточно быстром перемещении КП лишь кратковременно находится в данной точке своей траектории на поверхности катода. В результате локальная температура в пятне не успевает достичь уровня, характерного для стационарного режима. Поэтому количество расплава в активной зоне КП при его движении уменьшается и, следовательно, снижается количество материала, выбрасываемого пятном в виде капель (МЧ).

В отсутствие магнитного поля КП совершает хаотические перемещения, которые являются результатом чередующихся спонтанных погасаний и зажигания по соседству с зоной предшествующего горения. В присутствии магнитного поля, параллельного поверхности катода, КП перемещается. Такое перемещение области существования КП (в дальнейшем – «перемещение КП» или «движение КП») принято называть обратным или ретроградным, то есть его направление противоположно тому, которое предписывается правилом Ампера для проводника с током в магнитном поле.

Скорость ретроградного движения КП увеличивается с ростом индукции и при некотором значении этого произведения достигает предельной величины, различной для разных материалов: от нескольких мм/с для графита до нескольких десятков м/с для некоторых металлов [13].

Если магнитное поле направлено наклонно к поверхности катода, то траектория КП, совершающего ретроградное перемещение под действием тангенциальной компоненты поля, отклоняется в сторону острого угла, под которым вектор магнитного поля пересекает поверхность катода в соответствии с так называемым «правилом острого угла».

Следует, однако, отметить, что правило это не универсально: на поведении КП сказывается также кривизна магнитного поля и геометрия разрядного промежутка, действие которых может приводить к результату, противоположному тому, который предусматривается правилом. Так, в неоднородном магнитном поле КП смещается преимущественно в сторону увеличения тангенциальной составляющей поля даже в тех случаях, когда это не совпадает с направлением «острого угла».

1.2.5 «Бескапельные» режимы дуги

В обзоре [14] Боксман и Голдсмит ссылаются на ряд работ по исследованию возможности осуществления таких режимов дуги, при которых генерируются бескапельные атомарно-ионные потоки. Один из способов получения таких потоков основан на распылении мишени из рабочего металла высокоэнергичными ионами того же металла, генерируемых дугой с катодным пятном. Подложка при этом размещается в потоке распыляемых частиц материала мишени и «отгораживается» от катода, эмитирующего плазму с МЧ.

Другой способ состоит в том, что один из электродов дуги термически изолируют. В этом случае температура этого электрода может достигать уровня, при котором происходит интенсивное его испарение со сравнительно большой поверхности без образования капель. Если теплоизолированным является анод, то подложку размещают на пути прямых потоков с анода, но так, чтобы она, как и в первом случае, была отгорожена от катода. Следует отметить, что как первый, так и второй способы можно отнести к бесфильтровым лишь с определённой долей условности, так как в обоих случаях подложка находится вне зоны видимости со стороны катода, хотя между источником конденсируемых потоков частиц и подложкой никаких преград нет.

Если теплоизолированным электродом является катод, то для некоторых катодных материалов (особенно сублимирующих) возможен переход дуги с

катодным пятном к дуге с распределённой зоной привязки разряда к катоду без образования микропятен, эмитирующих МЧ.

1.3. Вакуумно-дуговые источники эрозионной плазмы с магнитными фильтрами

Наиболее эффективный способ очистки плазмы вакуумной дуги от микроскопических включений является использование механических плазменных фильтров. На сегодняшний день разработано большое количество подобных систем обладающих различной степенью очистки плазмы, эффективностью её прохождения и сложностью конструкции, однако за исключением наиболее экзотических решений они основаны на общем принципе. Между катодом и подложкой размещается некая преграда, исключаящую прямую видимость, например экран или стенки изогнутой трубы – плазмоведа [15].

Макрочастицы, двигаясь прямолинейно, наталкиваются на эту преграду и не попадают на подложку, в то время как ионная компонента плазменного потока с помощью магнитного поля направляется на образец. Эффективность очистки плазмы тем выше, чем длиннее плазмовод, чем он уже и чем больше угол его суммарного изгиба. Однако возрастают потери ионной компоненты, снижается производительность, увеличивается сложность и стоимость его изготовления. Следует так же отметить, что криволинейные фильтры характеризуются крайне неоднородным поперечным распределением плотности выходного плазменного потока, а эффективная площадь поперечного сечения для таких систем составляет лишь несколько см^2 . Это обуславливает необходимость дополнительного усложнения системы введением узлов развертки плазменного потока.

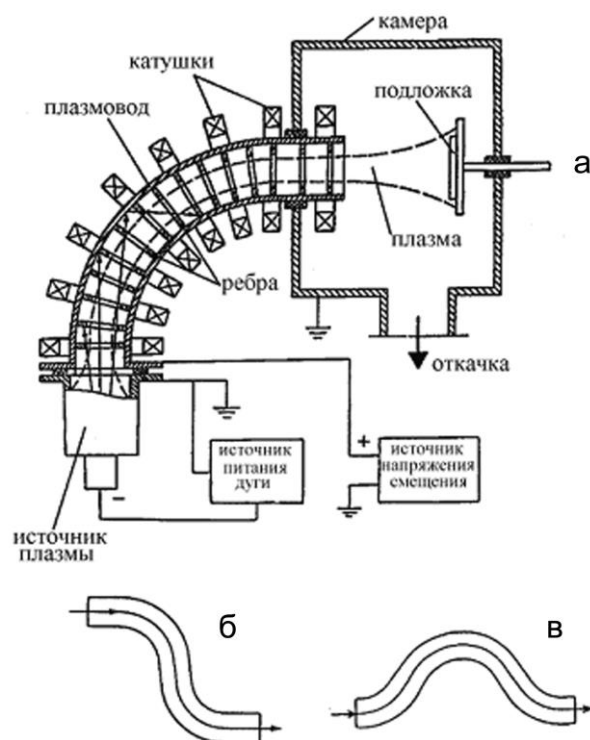


Рисунок 1.5 – Плазменный источник с криволинейным фильтром [26]: фильтр с плазмоводом в четверти тора (а); S-образный плазмовод (б); Ω -образный плазмовод (в); 1 – источник плазмы; 2 – плазмовод; 3 – рёбра; 4 – катушки; 5 – камера; 6 – подложка; 7 – плазма; 8 – источник питания дуги; 9 – источник напряжения смещения

Другой важной характеристикой системы формирования чистой эрозионной плазмы является пропускная способность фильтра, которая зависит от уровня потерь плазмы при её транспортировке вдоль фильтрующего канала. Показателем транспортирующих качеств фильтра является отношение количества ионов на его выходе к количеству ионов, вошедших в него. Однако в подавляющем большинстве случаев входной поток ионов определить затруднительно. Удобнее использовать так называемый системный коэффициент, определяемый отношением выходного ионного тока к току дуги.

В случае криволинейного плазмовода кроме диффузии частиц на стенки поперёк магнитного поля следует также учитывать их уход, обусловленный смещением (дрейфом) потока в криволинейном поле в направлении векторов R и

[HxR], а также потери, обусловленные отражением частиц от сужений потока силовых линий транспортирующего поля H [16].

Классический фильтр с плазмоводом в виде части тора схематически изображен на рисунке 1.5. С момента публикации первых даны по фильтрам этого типа [28,29] и до настоящего времени они остаются наиболее распространенными как в лабораторной, так и в производственной практике. Андерсом и Брауном установлены оптимальные соотношения магнитных полей на стыке между плазменным источником и плазмоведущим каналом, подтверждена важная роль положительного потенциала, подаваемого на плазмовод, в повышении системного коэффициента фильтра, доводя его до 2,5% [17].

В поиске путей улучшения качества очистки плазмы от МЧ некоторые исследователи увеличивали угол изгиба плазмовода до 120° , 180° и больше [18]. Одним из таких устройств является так называемый S-образный фильтр, плазмовод которого представляет два соединенных последовательно плазмовода в виде четверти тора, изогнутые в противоположные стороны (рисунок 1.6).

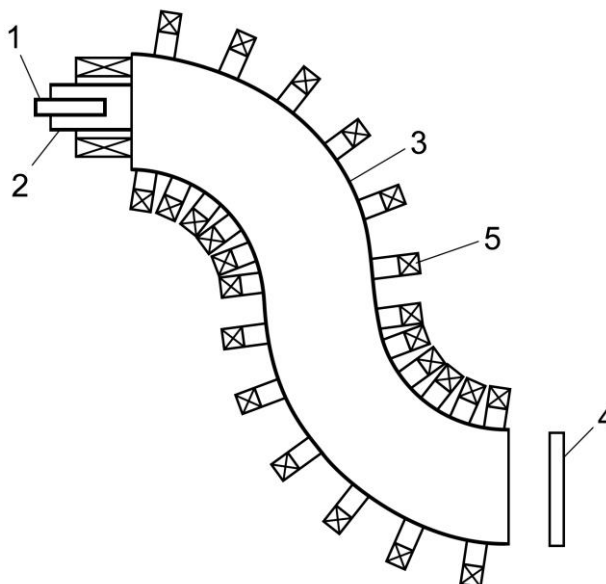


Рисунок 1.6 – S-образный фильтр с миниатюрным импульсным источником: 1 – катод; 2 – анод; 3 – плазмовод; 4 – подложка; 5 – магнитные катушки

Такое решение улучшает качество фильтрации, но уровень потерь в более длинном канале столь велик, что системный коэффициент не превышает 0,6%. В

этой связи источники с S-образным фильтром представляется целесообразным использовать только в физических исследованиях, а также в практике синтеза тонких и сверхтонких пленок, когда при повышенных требованиях к частоте плазме отсутствует необходимость обеспечивать высокие скорости осаждения конденсата.

Как альтернатива криволинейному плазменному фильтру был разработан так называемый прямолинейный фильтр с магнитным островом [19]. Его устройство и принцип действия иллюстрирует рисунок 1.7. Выполнение основного конструктивного требования – отсутствие прямой видимости между катодом и анодом достигается тем, что в прямолинейном цилиндрическом плазмоводе на его оси размещается плоский экран (пассивный «остров»), перекрывающий эту видимость. Транспортировка ионно-электронной компоненты плазмы осуществляется вдоль линий осесимметричного магнитного поля, пересекающих активную поверхность катода и огибающих экран.

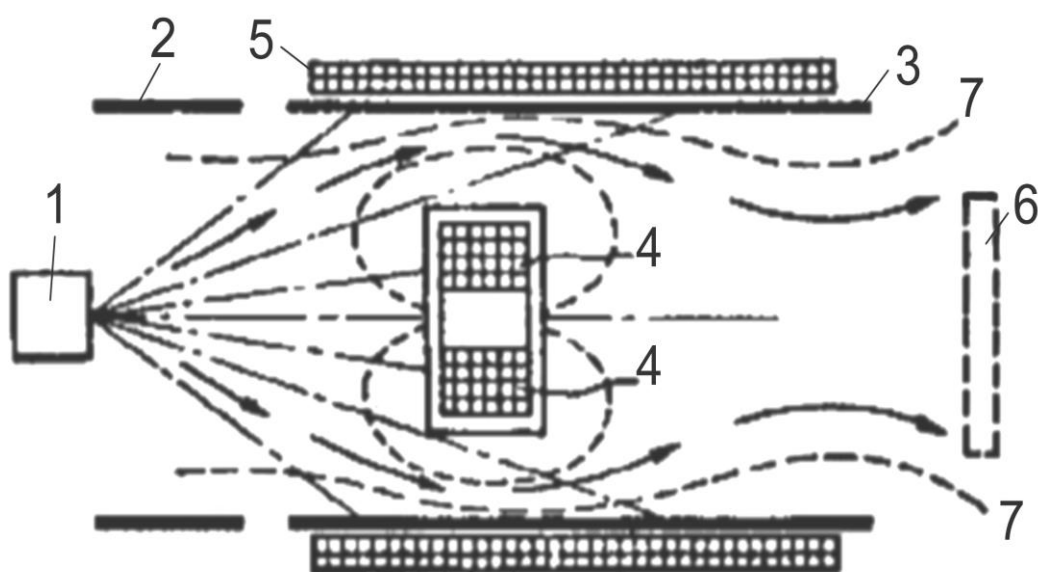


Рисунок 1.7 – Схема источника плазмы с фильтром типа «магнитный остров» [33]: 1 – катод; 2 – анод; 3 – плазмовод; 4,5 – магнитные катушки; 6 – подложка; 7 – линии магнитного поля

Установлено, что дрейфовые потери могут быть заметно снижены локальной корректировкой магнитного поля, а также подачей отрицательного

потенциала на часть стенки криволинейного плазмоведа вблизи его выходного проёма со стороны, противоположной направлению $[H \times R]$ или в направлении R , при положительном потенциале смещения на плазмоведе в целом. Уровень потерь независимо от их происхождения снижается, а ионный ток на выходе криволинейной части плазмоведа соответственно увеличивается с повышением положительного потенциала смещения на плазмоведе. В исследуемом варианте системы её максимальная пропускная способность отмечалась при смещении ~ 25 В. В режиме «частично отрицательного» плазмоведа достигнуты максимальные значения пропускной способности системы. При этом в отличие от традиционных условий ионный ток на выходе увеличивался, не достигая максимума, с ростом положительного смещения до 50 В. Изложенные результаты использованы при разработке источника с Т-образным плазмоводом [20], схематический чертеж которого представлен на рисунок 1.8. Системный коэффициент эффективности источника достигает 5,5%.

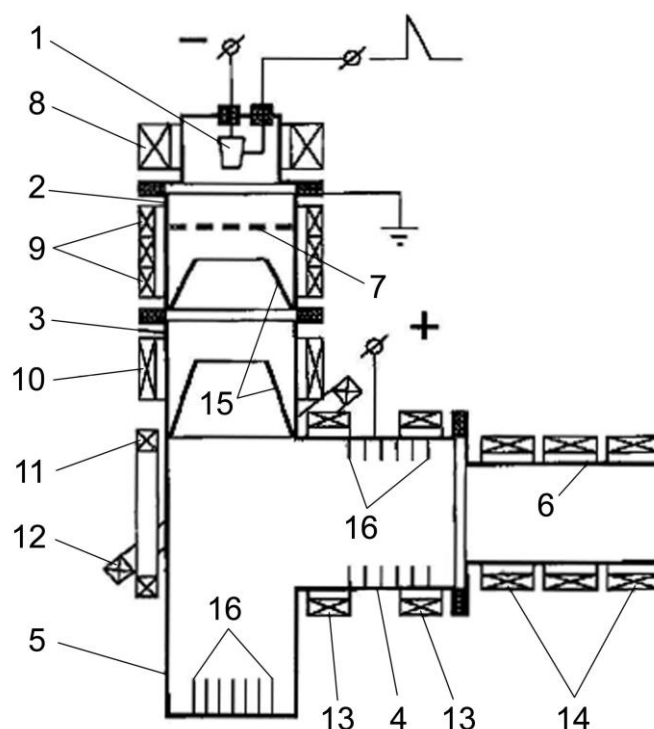


Рисунок 1.8 – Вакуумно-дуговой источник фильтрованной плазмы с Т-образным плазмоводом [34]: 1 – катод; 2 – анод; 3, 4 – входная и выходная секции плазмоведа; 5 – ловушка МЧ; 6 – дополнительная секция плазмоведа; 7 – анодная вставка; 8-14 – магнитные катушки; 15 – экраны; 16 – рёбра

Наиболее простая и в то же время эффективная система фильтрации плазмы дуги от микрочастиц, была предложена и исследована в работах [21-22]. Аксиально-симметричный плазменный фильтр, представляет собой систему вложенных друг в друга конусов. Конструкция фильтра представлена на рисунке 1.9.

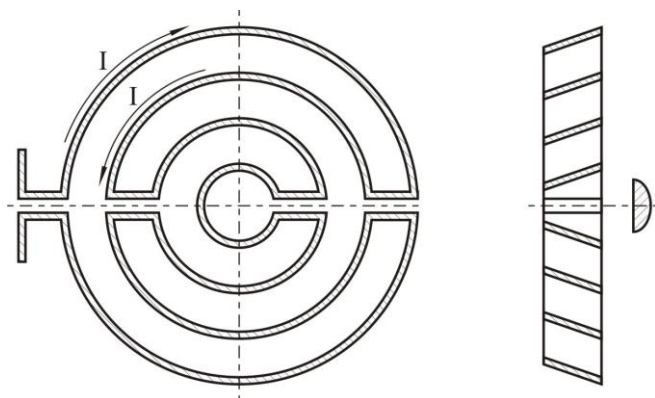


Рисунок 1.9 – Конструкция аксиально-симметричного плазменного фильтра.

Схема его использования совместно с аксиально-симметричным вакуумно-дуговым источником показана на рисунке 1.10.

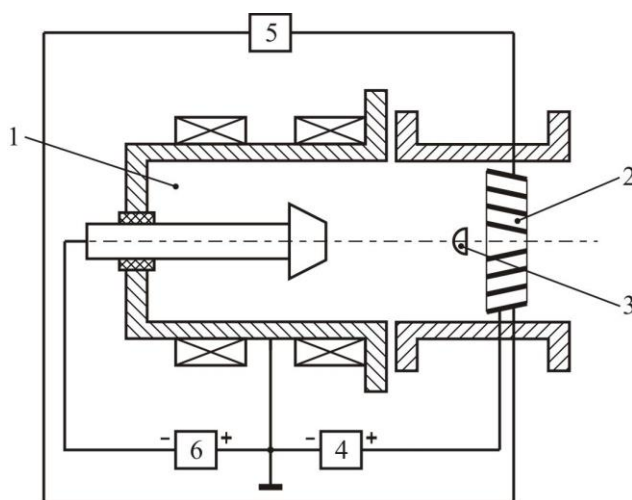


Рисунок 1.10 – Схема включения аксиально-симметричного плазменного фильтра совместно с электродуговым испарителем «Булат-3»: 1 – электродуговой испаритель; 2 – электроды (жалюзи) плазменного фильтра; 3 – защитный экран; 4 – источник питания для формирования дополнительного смещения на электродах плазменного фильтра; 5 – источник питания для формирования в межэлектродном пространстве плазменного фильтра магнитного поля; 6 – источник питания электродугового испарителя

По замкнуто жалюзной системе фильтра, пропускается ток на уровне одного килоампера, для создания магнитного поля в пространстве между электродами (жалюзьями). На плазменный фильтр подается положительный потенциал смещения с амплитудой порядка 12–15 В. Данный фильтр обеспечивает уменьшение микрокапельной фракции на выходе в 10^2 – 10^3 раз. Характерно, что благодаря фокусирующей геометрии электродов плазменного фильтра, распространение микрокапельной фракции возможно, преимущественно, только в направлении некоторого телесного угла, определяемого углом наклона электродов фильтра (рисунок 1.11).

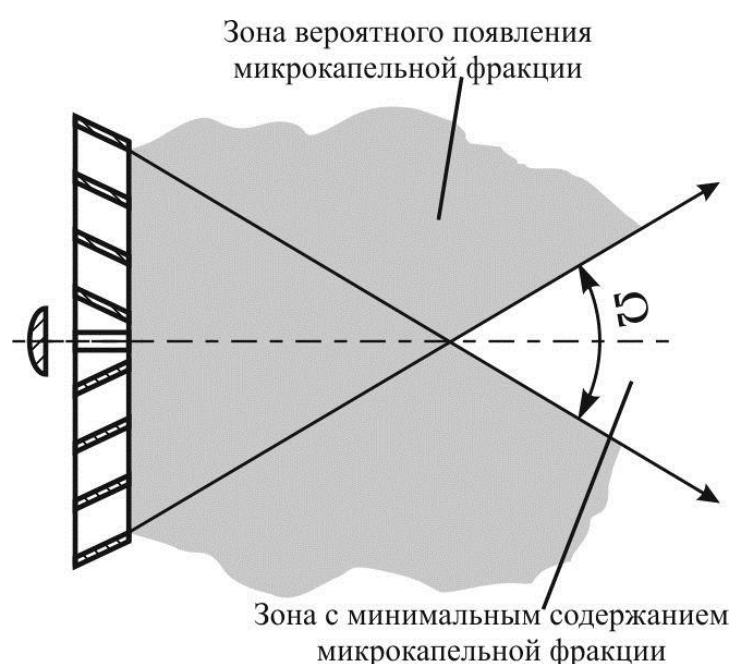


Рисунок 1.11 – Схема распределения микрокапельной фракции на выходе плазменного фильтра

Таким образом, при размещении образцов на расстоянии, превышающем геометрический фокус плазменного фильтра, обусловленным конической формой электродов, можно добиться дополнительного снижения микрокапельной фракции в структуре формируемого покрытия. Еще одна особенность аксиально-симметричного плазменного фильтра связана с влиянием магнитного поля, сформированного за счет пропускания электрического тока по электродам фильтра, на эффективность транспортировки плазмы. В соседних

межэлектродных промежутках, токи по электродам, а соответственно и направление вектора напряженности магнитного поля, направлены в противоположную сторону, что с учетом магнитных полей от соседних электродов и поля электродугового испарителя, приводит к сложному неоднородному распределению магнитного поля по сечению жалюзной системы плазменного фильтра. В работе [23] показано, что для достижения оптимальных условий распространения плазменного потока в многоэлектродных жалюзных системах, необходимо обеспечить согласованное с магнитным полем вакуумно-дугового испарителя направление магнитного поля фильтра. Это достигается за счет сближения электродов фильтра до минимального расстояния, именно тех электродов, промежутков между которыми, имеет направление магнитного поля обратное по отношению к полю дугового испарителя. Использование фильтрации дуговой плазмы от микрокапельной фракции является необходимым условием для надежной и продолжительной работы источников ионных пучков, так как наличие довольно плотного потока микрокапель сильно снижает эффективность ускоряющей системы источника и уменьшает электрическую надежность элементов установки.

2 Оборудование и методики исследований

2.1. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка, на которой производились исследования представлена на рисунке 2.1.

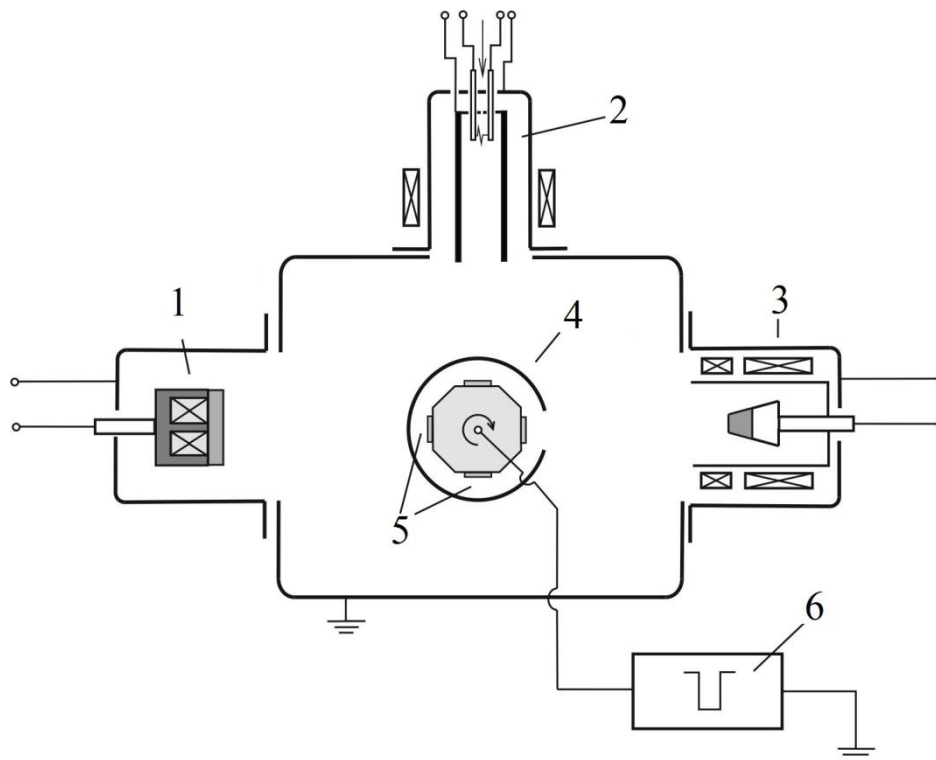


Рисунок 2.1 – Блок-схема установки: 1 - управляемый дуговой испаритель; 2 - генератор плазмы «ПИНК»; 3 - осесимметричный испаритель; 4 - защитный экран; 5 - образцы; 6 - источник высоковольтного смещения;

Основой установке является вакуумная камера стандартной промышленной установки ННВ – 6,6-И1 объемом $\sim 0,2 \text{ м}^3$. В качестве источника плазмы использовалась установка «ПИНК», схема, основные параметры и принцип действия которой будут детально описаны в параграфе 2.4.

С помощью диффузионного промасленного насоса создается рабочее давление в камере до 10^{-3} . Для измерения давления в камере применяется вакуумметр ВИТ-3, в который входит датчик термопары датчик для измерения

давления в диапазоне от 1 до 10^{-1} Па и датчик ионизации, используемый для измерения давления в диапазоне $10^{-1} \div 10^{-7}$ Па.

Блок электронного управления натекателем типа «Буэн» использовался для подачи в камеру реактивного газа и контроля его давления.

Высокочастотный короткоимпульсный отрицательный потенциал смещения подавался по коаксиальным кабелям на металлический держатель от генератора, позволяющего получить импульсы длительностью 7 мкс и паузой между импульсами 3 мкс. Таким образом, частота следования импульсов в обычном режиме работы генератора составляла 10^5 имп/с, а коэффициент заполнения импульсов 0,7. Амплитуда импульса смещения может варьироваться от 0 до -2000 В, длительность переднего фронта импульса – $0,2 \div 0,5$ мкс, в зависимости от характера нагрузки и амплитуды импульса, длительность заднего фронта импульса целиком определялась характером и величиной нагрузки. Изменение активной нагрузки генератора позволяло существенно удлинить задний фронт импульсов потенциала смещения и таким образом обеспечить экспериментальное моделирование условий ионной обработки изделий при коэффициенте заполнения импульсов, приближающемся к 100%.

Внешний вид генератора, характеристики и осциллограммы импульсов потенциала смещения представлены в параграфе 2.3.

2.2 Вакуумно-дуговой испаритель с перемещающейся магнитной системой

Вакуумно–дуговой испаритель состоит из корпуса 1, охлаждаемого водой, катода 2, двух магнитных систем 3, изолированного экрана 4, привода вращения 5, системы подвода охлаждения 6 и системы поджига дуги 7. Конструкция вакуумно–дугового испарителя представлена на рисунке 2.2. На рисунке 2.3 приведено фотография планарного дуговика.

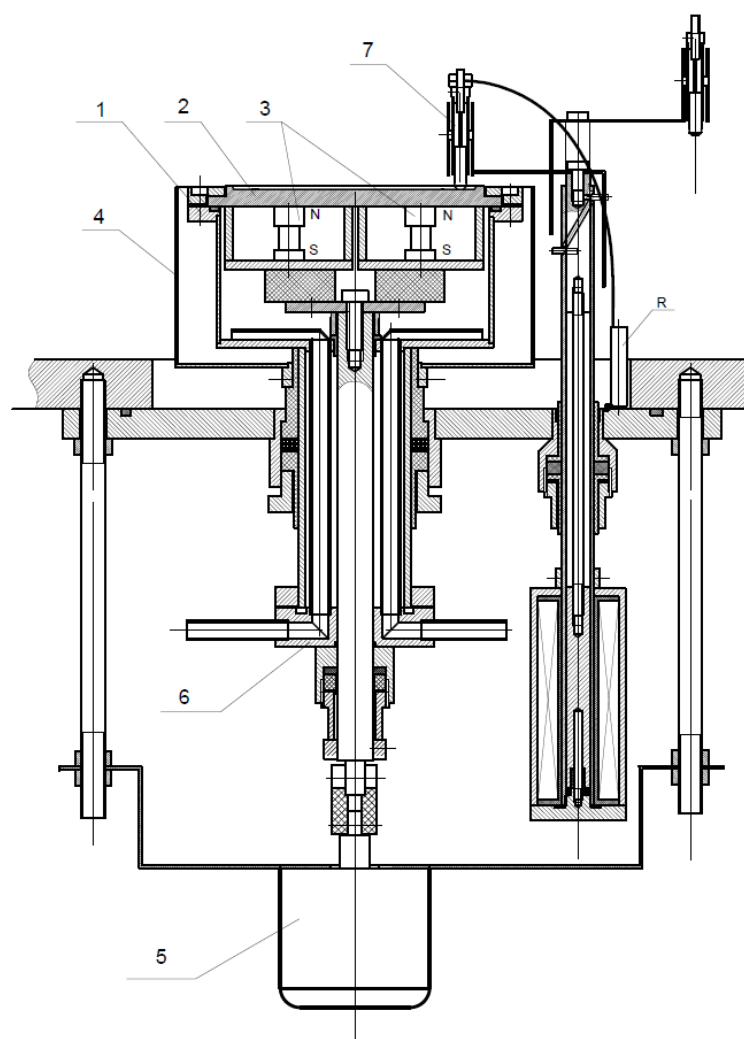


Рисунок 2.2 Блок-схема установки: 1- управляемый дуговой испаритель; 2 – катод; 3 – магнитные системы; 4 – изолирующий экран; 5 – привод вращения; 6 – подвод охлаждения; 7 – поджигающий электрод



Рисунок 2.3 – Планарный дуговик

На рисунке 2.4 а,б,в приведены фотографии работы планарного дуговика с двумя магнитными системами. Дуга может двигаться как на двух магнитных системах равномерно, с преобладающим движением по одной магнитной системе или вообще по одной магнитной системе.

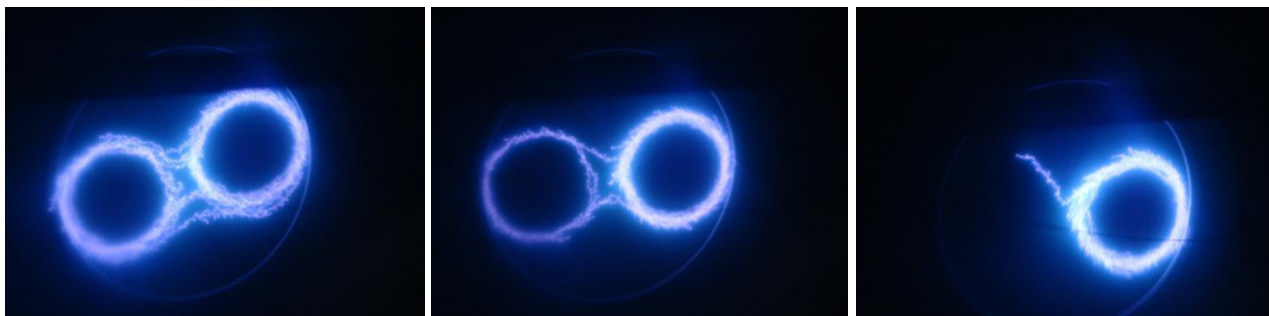


Рисунок 2.4 – Фотографии работы планарного дуговика: а) Работа на двух системах; б) Работа с преобладающим движением одной магнитной системы; в) Работа по одной магнитной системе

Ток разряда 140 А, катод Ti. Величина магнитного поля на поверхности катода 120 Гс (0,012 Тл).

На рисунке 2.5 приведен график распределения плотности ионного тока вакуумно–дугового испарителя по горизонтали при вращении 2х магнитных систем на расстоянии 17 см от катода. За счет вращения магнитных систем имеются два значения плотности ионного тока для каждой измеряемой точки (минимум и максимум). Катод Ti $I_{\text{дуги}}=140$ А.

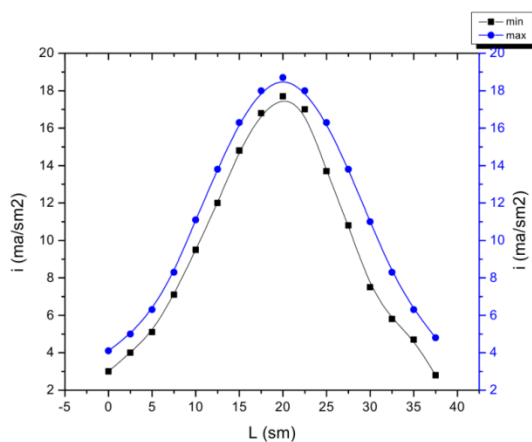


Рисунок 2.5 – График распределения плотности ионного тока планарного дуговика при вращении 2х магнитных систем

На рисунке 2.6 приведен график распределения плотности ионного тока планарного дуговика по горизонтали по вращении одной магнитной системы. Видно, что минимум и максимум значения имеют значительно большую разницу величин. Скорость вращения магнитных систем – 8.7 об/мин, двигатель РД -0.9.

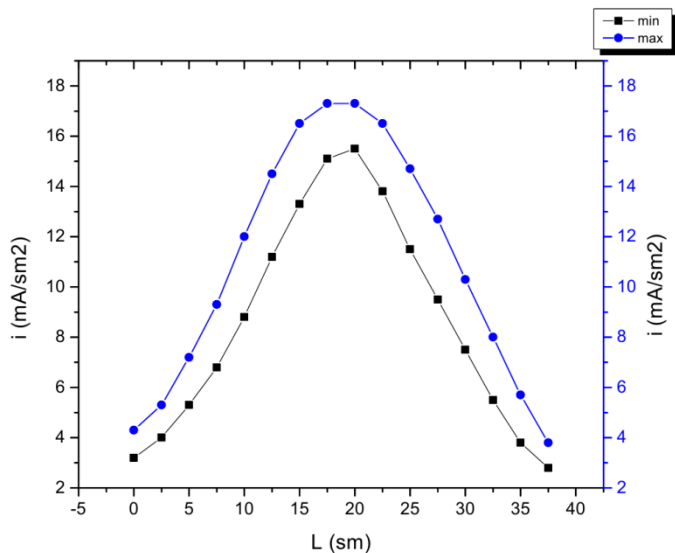


Рисунок 2.6 – График распределения плотности ионного тока дуговика по горизонтали по вращении одной магнитной системы

Поджигающая система состоит из электромагнита 1 с вытягивающим ярмом 2, верхнего подвижного штока 3, связанного с вытягивающим ярмом стержнем 4. В шток вставлен штифт 5. Все это расположено в трубе 6. Поджигающий электрод 7 выполнен щеточного графита. Электрод расположен в изолированной трубке 8 (керамика, кварцевое стекло) и закреплен в металлическом экране 9. Экран приварен к пластине 10, которая закреплена на подвижном штоке 3. Вывод поджигающего электрода 11 соединён проводником 12 через сопротивление 13 на корпус камеры 14. В верхней части трубы паза ~ 60°, поворот паза на 180° по трубке. Ярмо электромагнита 2 выталкивается пружиной 16. 1- 7 катод дуговика.

Принцип работы поджигающего электрода - в исходном состоянии ярмо 2 электромагнита 1 поднято вверх за счет пружин 16. Поджигающий электрод 7 повернут на 180 от катода 17 вокруг оси трубки 6. При подаче напряжения на электромагнит 1 ярмо 2 втягивается, верхний подвижный шток 3 за счет

расположенного на нем штифт 5 и наклонного паза 15 в трубке 6 перемещается вниз и поворачивается на 180 относительно оси трубки 6. При этом поджигающий электрод 7 касается катода 17. На катод подано рабочее напряжение $U_{\text{раб}}$. Через поджигающий электрод течет ток. На корпус камеры через проводник 12 и сопротивление 13.

При снятии напряжения с электромагнита 1, поджигающий электрод 7 возвращается в исходное состояние. Ток в районе катода начинается рваться при этом возникает искра поджига дуговика. Вакуумно–дуговой испаритель начинает работать.

2.3. Высокочастотный короткоимпульсный генератор напряжения

При проведении исследований использовался генератор короткоимпульсных высокочастотных потенциалов смещения отрицательной полярности [24]. Внешний вид генератора представлен на рисунке 2.7. Параметры генератора: длительность импульса 1–9 мкс, частота следования импульсов 10^5 имп/с, амплитуда потенциала смещения 250–5000 В, с шагом 300–500 В, амплитуда импульса тока в нагрузке до $I_n \leq 5$ А. Характерные осциллограммы напряжения и тока генератора представлены на рисунке 2.8.



Рисунок 2.7 – Внешний вид генератора отрицательных смещений

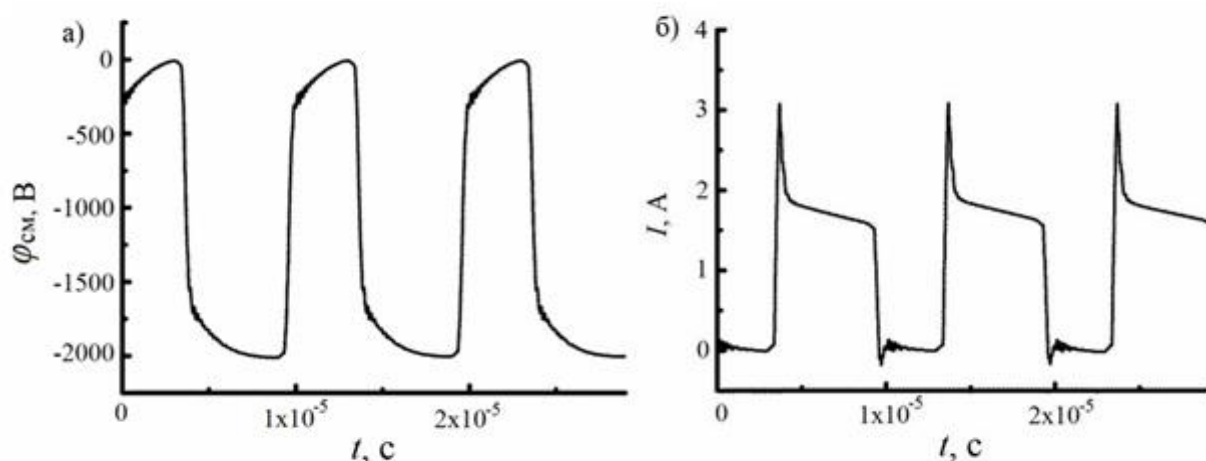


Рисунок 2.8– Осциллограммы импульсов потенциала смещения (а) и тока (б) генератора

2.4 Генератор плазмы «ПИНК» с комбинированным полым и накаливаемым катодами

Электродная система плазменного источника с накаливаемым катодом (ПИНК) на основе несамостоятельного дугового разряда низкого давления схематично представлена на рисунке 2.9 и состоит из цилиндрического полого катода 2 диаметром 90 мм и длиной 260 мм, внутри которого расположен электрически соединенный с ним вольфрамовый накаливаемый катод 1. Роль полого анода 4 выполняют внутренние стенки рабочей вакуумной камеры.

Разрядная система помещена в аксиальное магнитное поле $B \approx 0,02$ Тл, создаваемое соленоидом 3. Рабочие газы (аргон, азот) подаются внутрь полого катода с расходом $3\text{--}30 \text{ мПа} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. При этом давление в рабочей камере варьируется в пределах $0,1\text{--}1$ Па.

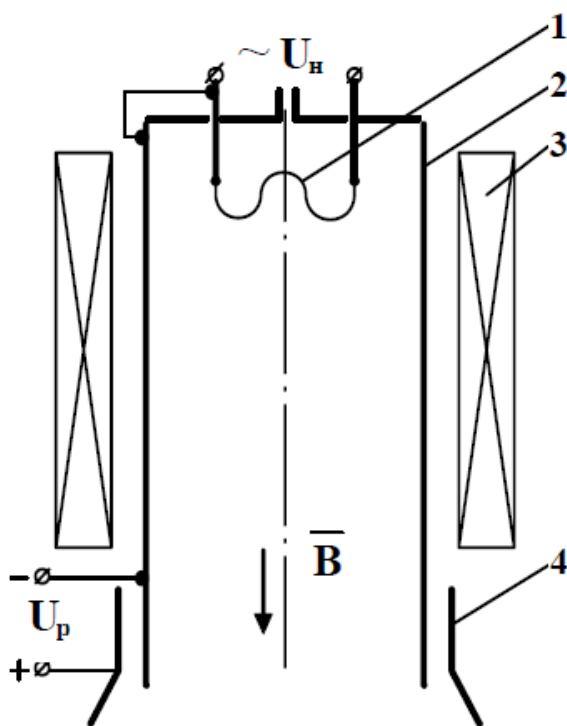


Рисунок 2.9 – Блок-схема установки «ПИНК»: 1– нагретый катод, 2 – полый катод, 3 – соленоид, 4 – анод

Электроны, эмитируемые нагретым катодом, вследствие увеличения траектории движения в магнитном поле, эффективно ионизируют рабочий газ и создают газоразрядную плазму в пустом катоде.

Немагнитные ионы, ускоренные в прикатодном падении потенциала, выбивают вторичные электроны со стенок пустого катода, усиливая ионизационные процессы в катодной полости. Это создает условия для зажигания и функционирования между пустым катодом и пустым анодом (камерой) сильноточного газового разряда при низких давлениях и низких напряжениях горения разряда. Изменяя ток накала и, таким образом, эмиссию электронов с термокатада, можно регулировать ток разряда и реализовать несамостоятельный дуговой разряд без катодного пятна. Основные характеристики разряда были получены в следующих экспериментальных условиях: нагретый катод электрически соединялся с катодной полостью, рабочим газом являлся аргон.

Вольтамперная характеристика разряда при токе накала $I_H = 135$ А и двух значениях давления представлена на рисунке 2.10, а зависимости напряжения

горения U_p и тока разряда I_p от тока накала I_n при давлении $p = 3 \cdot 10^{-1}$ Па на рис. 2.11 а.

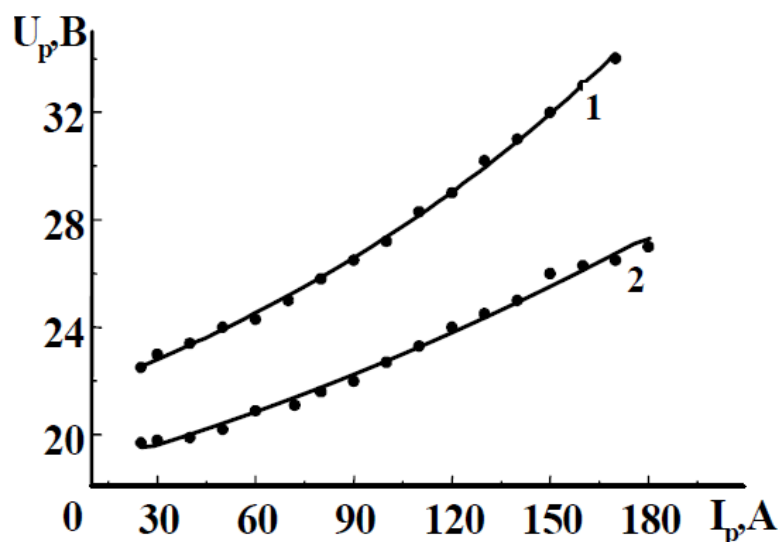


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика дугового разряда с комбинированным катодом. 1 – $p=5 \cdot 10^{-1}$ Па; 2 – $p=3 \cdot 10^{-1}$ Па

Приведенные на рисунке 2.11 зависимости напряжения горения и тока разряда от давления показывают, что с увеличением давления в диапазоне от $7 \cdot 10^{-2}$ Па до $9 \cdot 10^{-1}$ Па наблюдается рост тока и падение напряжения горения разряда, аналогично, как и при увеличении тока накала.

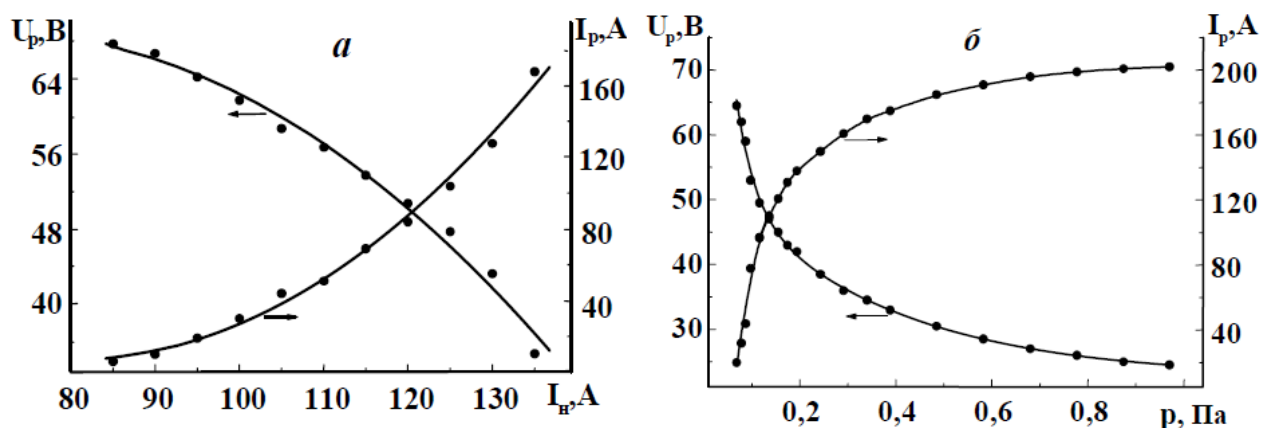


Рисунок 2.11 – Зависимости напряжения горения и тока разряда от тока накала (а) и от давления (б)

2.5 Подготовка экспериментальных образцов

Качество верхних слоев материалов и покрытий, подвергнутых воздействию пучков заряженных частиц и плазмы, определяются физико-механическими характеристиками. Специфическая особенность пучковых и плазменных технологий связана с совокупностью физических процессов, происходящих на поверхности и в приповерхностных слоях материалов включая, например, распыление атомов, вторичную ионную и электронную эмиссии, рассеяние и торможение ионов, диффузию атомов, формирование радиационных дефектов, конденсацию вещества и т.д. Последствиями этих процессов является изменение целого ряда характеристик материалов. Только комплексное исследование свойств материалов и установлении поможет установить взаимосвязь их изменения от условий и режимов ионной и плазменной обработки.

Для наибольшей эффективности проведения исследований свойств материалов необходима качественная подготовка экспериментальных образцов. Как показали оценки, время подготовки образцов может достигать до 80 % от общего времени отработки технологических режимов ионно-лучевой и ионно-плазменной обработки материалов. С целью повышения производительности процесса подготовки экспериментальных образцов «Центр исследования свойств материалов» - ЦИСМ укомплектован прецизионным отрезным станком «АТА BRILLANT 201» (рисунок 2.12 а). Станок оснащен функцией отрезания длинных образцов, а используемые отрезные круги обеспечивают резку твердых сплавов, керамики, полимеров, цветных металлов и др. В процессе резки применяется водяное охлаждение.



Рисунок 2.16 – Оборудование ЦИСМ для подготовки экспериментальных образцов: а) Отрезной станок ATA BRILLANT 201, б) Шлифовально-полировальная машина ATA SAPHIR 320

В экспериментах использовались образцы нержавеющей стали и титана квадратной формы (рисунок 2.13). Поверхность образцов предварительно полировалась. Образцы устанавливались на массивном держателе в вакуумной камере.



Рисунок 2.13 – Образец из нержавеющей стали

Полировка образца производилась на шлифовально-полировальной машине «Saphir 320», представленной на рисунке 2.12 б. С помощью данного прибора образцы полируются до $R_a=0,035$ мкм. Полировка производится путём

постепенного уменьшения размера абразивных частиц на полировальных кругах. Технические характеристики «SAPHIR 320» приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики SAPHIR 320

Характеристика	Значение
Шероховатость по Ra, мкм	До 0,05
Индивидуальная нагрузка	До 5 образцов
Диаметр рабочего круга, мм	200, 250
Мощность, кВт	0,4
Скорость, оборот/минута	50 – 600

2.6 Оборудование для исследования свойств материалов и покрытий

После того как были произведены ионная и плазменная обработки различных образцов свойства полученных поверхностных слоёв и покрытий исследовались комплексом стандартного оборудования [25].

Для анализа толщины покрытий применялась методика исследования сферического шлифа, реализованного на приборе «Calotest», CSEM Instruments (рисунок 2.14). Прибор предназначен для измерения толщины покрытий в диапазоне 0,1-50 мкм, в том числе многослойных. Может быть исследован образец любой геометрической формы. Время измерения, как, правило, не превышает несколько минут, что делает прибор высокоэффективным инструментом при обработке технологий формирования современных многослойных покрытий.



Рисунок 2.14 – Установка «Calotest»

Прибор отличается простым и оригинальным принципом работы, схема которого приведена на рисунке 2.14. Вращающийся шар с известным диаметром прижимается к поверхности образца при помощи выбранной нагрузки. Положение шара относительно образца и контактная нагрузка являются постоянными. После добавления абразивной пасты к контактному участку на поверхности образца формируется сферический шлиф. Изображение шлифа анализируется программным обеспечением прибора «Calotest». Из представленной на рисунке 2.15 схемы видно, что толщина покрытия может быть рассчитана, как $s = 0.5 * (\sqrt{4R^2 - d^2} - \sqrt{4R^2 - D^2})$.

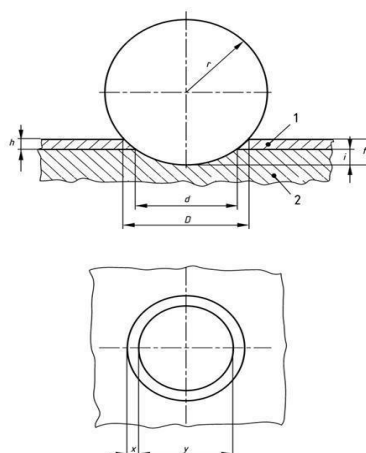


Рисунок 2.15 – Схема измерения толщины покрытия

Микрофотографии поверхности экспериментальных образцов получены при помощи электронного сканирующего микроскопа «Hitachi TM 1000» (рисунок 2.16), предназначенного для исследования морфологии и химического состава поверхности твердых образцов. Изображение получают благодаря регистрации электронов, рассеянных поверхностью образца в обратном направлении. Просмотр образца может проводиться при столь высокой степени увеличения, которая не доступна при работе с обычными оптическими микроскопами. Благодаря большей глубине резкости, удастся получать стереоскопическое изображение. Не требуется трудоемкой подготовки образца и осложненной настройки условий наблюдения. Можно исследовать образцы с диаметром до 70 мм и с толщиной до 20 мм. Микроскоп укомплектован детектором «TM1000 EDS», предназначенным для определения химического состава образца. Химический состав определяется путем измерения энергии рентгеновского излучения, возникающего при взаимодействии электронного пучка с поверхностью образца. Программное обеспечение спектрометра позволяет идентифицировать пики и предоставить качественную информацию о составе образца, а учет процессов поглощения дает возможность получения количественной информации. Характеристики электронного сканирующего микроскопа представлены в таблице 2.2.



Рисунок 26 – Электронный сканирующий микроскоп «Hitachi TM 1000»

Таблица 2.2 – Характеристики «Hitachi TM-1000»

Характеристика	Значение
Ускоряющее напряжение, В	15000
Детектор	Полупроводниковый детектор обратн рассеянных электронов
Увеличение, крат	20 – 10000 (Цифровое увеличение: 4)
Диапазон перемещения столика, мм	X = 15, Y = 18
Максимальный размер образца, мм	D = 70
Максимальная высота образцы, мм	H = 20
Вакуумная система	Турбомолекулярный, диафрагменны насосы
Операционная система	Microsoft Windows XP Professional
Габариты, мм	478 (Ш) x 564 (Д) x 513 (В)

Определение плотности макрочастиц на поверхности потенциального электрода, погруженного в плазму вакуумно-дугового испарителя, проводилось на основе анализа полученных микрофотографий.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Повышение требований к качеству деталей машин стимулирует создание новых методов целенаправленного изменения фазового состава и структуры их поверхностных слоев. В частности, широкое распространение получили методы воздействия на поверхность деталей концентрированными потоками энергии.

Наиболее перспективной, энергосберегающей и экологически чистой технологией среди них является метод электролитно-плазменной обработки (ЭПО). При этом происходит изменение структуры и свойств материала в тонких поверхностных слоях вследствие физического воздействия ионов высокотемпературной плазмы и электрического разряда.

Дополнительное повышение поверхностной прочности, твердости и износостойкости деталей при ЭПО можно также достичь за счет целенаправленного изменения химического состава поверхностного слоя путем легирования и модифицирования. В данной главе была рассмотрена экономическая выгода использования метода плазменно-иммерсионной имплантации ионов.

Для эффективного использования научного потенциала научно-исследовательской работы (НИР) необходимо прилагать усилия не только к непосредственно ее разработке, но и к проведению ее анализа с точки зрения экономических требований, то есть определить затраты на разработку, продолжительность работ, рассмотреть вопрос об экономической эффективности НИР.

В организационно-экономической части выпускной квалификационной работы рассмотрены следующие вопросы:

1. Оценку коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

2. Планирование научно-исследовательских работ

3. Расчет бюджета: материальных затрат, дополнительных выплат и заработной платы.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Повышение производственных требований к эффективности используемых материалов предопределяет непрерывное развитие современных технологий. В этом контексте плазменная технология имеет огромный потенциал, поскольку позволяет направленно изменять физические свойства материалов и гибко подстраивается под нужды конкретного заказчика. Спектр применения плазменной обработки чрезвычайно широк и не ограничивается только полупроводниковым кристалльным производством, изготовлением гибридных интегральных микросхем (ГИС) или печатных плат. Системы плазменной обработки также находят применение в автомобиле- и самолетостроении, медицинской технологии, биотехнологии.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию результатов исследований

		Применение технологии плазменно-иммерсионной имплантации ионов		
		Приборостроение	Машиностроение	Предприятия медицинской отрасли
Потребность	Сильная			
	Слабая			

4.1.2 SWOT-анализ

Проведем SWOT-анализ плазменной обработки лигнина. Результаты первого этапа, а именно описание сильных и слабых сторон проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

Сильные стороны	Слабые стороны
C1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Относительно небольшая производительность по данной технологии, по сравнению с традиционными методами.
C2. Более высокая плотность плазмы по сравнению с методами барьерной фильтрации.	Сл2. Отсутствие массового производства установок и, следовательно, малое внедрение на мировой и российский рынок.
C3. Простота внедрения в производственный процесс промышленного масштаба.	Сл3. Степень очистки ниже, чем у систем с барьерной фильтрации.
C4. Высокая степень очистки плазмы от микрокапель в широком диапазоне размеров по сравнению с другими методами очистки.	
C5. Простота монтажа установки и эксплуатация.	
C6. Широкая область применения данной технологии.	
C7. Относительная дешевизна установки.	
Возможности	Угрозы
B1. Организация массового производства установок.	У1. Отсутствие спроса на новую технологию.
B2. Целенаправленное сотрудничество с предприятиями занимающимися осаждением материала покрытия плазменным методом.	У2. Развитая структура традиционных методов нанесения покрытий.
B3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	У3. Неудовлетворительная чистота поверхности.

Проведем второй этап SWOT-анализа. Результаты приведены в таблице 4.3. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу научной разработки.

Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT-матрицы. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта								
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	B1	+	+	+	+	+	+	+
	B2	+	-	+	-	+	+	+
	B3	+	-	+	-	+	+	+
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Y1	-	-	-	-	-	-	-
	Y2	-	-	-	+	-	+	-
	Y3	-	-	-	-	-	-	-
Слабые стороны проекта								
Возможности проекта		Сл1		Сл2		Сл3		
	B1	0		+		-		
	B2	0		0		-		
	B3	-		0		-		
Угрозы проекта		Сл1		Сл2		Сл3		
	Y1	0		+		-		
	Y2	+		+		0		
	Y3	+		-		+		

Третий этап заключается в составлении итоговой матрицы SWOT-анализа, заполняемой на основании анализа таблицы 4.3.

Результаты анализа запишем в итоговую таблицу 4.4.

По результатам SWOT-анализа делаем вывод о том, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Сильные стороны проекта могут понизить процент угроз исследования.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Более высокая плотность плазмы по сравнению с методами барьерной фильтрации. С3. Простота внедрения в производственный процесс промышленного масштаба. С4. Высокая степень отчистки плазмы от микрокапель в широком диапазоне размеров по сравнению с другими методами очистки. С5. Простота монтажа установки и эксплуатация. С6. Широкая область применения данной технологии. С7. Относительная дешевизна установки.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Относительно небольшая производительность по данной технологии, по сравнению с традиционными методами. Сл2. Отсутствие массового производства установок и, следовательно, малое внедрение на мировой и российский рынок. Сл3. Степень очистки ниже, чем у систем с барьерной фильтрации.
Возможности: В1. Организация массового производства установок. В2. Целенаправленное сотрудничество с предприятиями занимающимися осаждением материала покрытия плазменным методом. В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: В целом технология плазменной обработки материалов обладает большими плюсами. Желаемое направление развития – это внедрение массового производства и сотрудничество с предприятиями, что приведет к укреплению данного метода обработки, как на российском рынке, так и за рубежом.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: Слабые стороны плазменного метода обработки могут стать большой проблемой для закрепления данного метода на рынке. Модернизация, согласно возможностям данного метода, значительно улучшит технические показатели установок и позволит гибко подстраиваться под нужные требования производительности и любого заказчика.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новую технологию. У2. Развитая структура традиционных методов нанесения покрытий. У3. Неудовлетворительная чистота поверхности.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: Угрозы научно-технического проекта значительно подрывают авторитет плазменно-иммерсионного метода обработки материалов. В этой связи учет факторов угроз, необходим и поможет в будущем исключить все возможные факторы риска.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: Опасные факторы для производства и закрепления технологии на рынке – это сочетание слабых сторон и угроз научно-технического проекта. В данном случае, направление работы – это максимально возможное уменьшение количества уязвимых мест (слабых сторон).

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ		Должность исполнителя
Разработка технического задания на ВКР	1	Составление и утверждение технического задания		Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Изучение проблемы и подбор литературы		Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме подавления микрокапельной фракции катодов вакуумно-дуговых испарителей		Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме		Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проектирование чертежа экспериментальной установки		Руководитель, инженер
	6	Планирование и проведение экспериментальных исследований	Подготовка экспериментальных образцов на базе лаборатории ЦИСМ.	Руководитель, инженер
	7		Исследование режимов работы экспериментальной установки. Определение оптимальных режимов.	
	8		Планирование экспериментов. Определение оптимальных времен обработки образцов.	
	9		Анализ и обработка полученных результатов	

4.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Составление и утверждение технического задания	4.02.2016	Приказ № 791/с об утверждении руководителей и тем выпускных квалификационных работ студентов ФТИ
2	Изучение проблемы и подбор литературы	14.03.2016- 19.03.2016	Список литературы
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	21.03.2016- 9.04.2016	Отчет
4	Календарное планирование работ	11.04.2016	План работ
5	Моделирование технологического процесса на компьютере	11.04.2016- 30.04.2016	Отчет
6	Планирование и проведение экспериментальных исследований	2.05.2016- 21.05.2016	Отчет
7	Анализ и обработка полученных результатов	23.05.2016- 1.06.2016	Отчет
8	Оценка эффективности полученных результатов	3.06.2016- 5.06.2016	Отчет
9	Составление пояснительной записки	6.06.2016- 16.06.2016	Пояснительная записка
10	Проверка правильности оформления пояснительной записки согласно ГОСТу	17.06.2016- 18.06.2016	
11	Подготовка к защите	20.06.2016	

4.2.3 План проекта

Таблица 4.7 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2												
2	Изучение проблемы и подбор литературы	Руководитель, студент	5												
3	Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	Студент	18												
4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1												
5	Моделирование технологического процесса на компьютере	Студент	18												
6	Планирование и проведение экспериментальных исследований	Руководитель, студент	18												
7	Анализ и обработка полученных результатов	Студент	12												
8	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	2												
9	Составление пояснительной записки	Студент	18												
10	Проверка правильности оформления согласно ГОСТу	Руководитель, студент	1												
11	Подготовка к защите	Студент	3												

 – Руководитель  – Студент

4.2.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований.

Некоторые материалы: ВЧ-генератор, масла и реагенты являются

собственностью лаборатории № 22, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Эксперименты проводились 3 дня по 3 часа (9 часов), мощность установки 10 кВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = \Pi_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (4.1)$$

где $\Pi_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,7 руб за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{эл} = 2,7 \cdot 10 \cdot 9 = 243 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{вд} = \Pi_{вд} \cdot Q \cdot F_{об} , \quad (4.2)$$

где $\Pi_{вд}$ – тариф на промышленное водоснабжение (8 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{вд} = 8 \cdot 1,8 \cdot 18 = 259,2 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_{м} = C_{эл} + C_{вд} + C_{материал} , \quad (4.3)$$

Расчет затрат представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Материальные затраты НИР

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Электроэнергия	кВт/ч	90	2,7	243
Водоснабжение	м ³	32,4	8	259,2
Лист нержавеющей стали	кг	2	220	440
Итого:			230,7	9422,2

4.2.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

При проведении научно-технических исследований в рамках данного проекта использовался электронный сканирующий микроскоп «Hitachi TM 1000», проведем расчет затрат на амортизацию используя метод уменьшаемого остатка.

При использовании способа уменьшаемого остатка годовая сумма амортизационных отчислений определяется исходя из остаточной стоимости объекта основных средств на начало отчетного года и нормы амортизации, исчисленной на основании срока полезного использования этого объекта:

$$A = C_{\text{ост.}} \cdot \frac{k \cdot H_a}{100} \quad (4.5)$$

где $C_{\text{ост}}$ – остаточная стоимость объекта;

k – коэффициент ускорения;

H_a – норма амортизации для данного объекта.

Стоимость электронного сканирующего микроскопа «Hitachi TM 1000» составляет 4 млн. рублей. Заявленный срок службы составляет 5 лет. Коэффициент ускорения примем равным 2. Годовая доля амортизации составляет: $H_a = 100 : 5 \cdot 2 = 10 \%$.

Таким образом, годовая амортизации будет равна:

$$A_{\text{год}} = 4000000 \cdot \frac{2 \cdot 10}{100} = 800000 \text{ руб}$$

Рассчитаем амортизационные отчисления на период написания диплома (137 дней).

$$A_{\text{дипл}} = \frac{800000}{365} \cdot 137 = 300273,97 \text{ руб}$$

На период написания диплома общая сумма амортизации составила 300273,97 рублей.

Данный метод расчета позволяет списать максимальную амортизационную стоимость в первые годы работы оборудования.

4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья включает в себя затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в выполнении НИР, включая (премии, доплаты, и дополнительную заработную плату).

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основную заработную плату руководителя НИР можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.7)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / F_d, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. .

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер-исследователь
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.9)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб. (для младшего научного сотрудника составляет 14874 руб., для инженера исследователя 10223 руб.);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 4.10.

Таблица 0.10 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} руб.	к _р	З _м руб	З _{дн} руб.	Т _{раб} раб. дн.	З _{осн} руб.
Руководитель	14874	1,3	19336,2	862	10	8620
Инженер	10223		13290,316	619	96	59424
Итого З _{осн} :						68004

4.2.4.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot \kappa_{\text{доп}}, \quad (4.10)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$\kappa_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($\kappa_{\text{доп}}=0,1$);

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.11 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.11 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата, руб	8620	59424
Дополнительная зарплата, руб	862	5942
Зарплата исполнителя, руб	9482	65366
Итого по статье $C_{\text{зн}}$, руб	74848	

4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.11)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 № 212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. На основании пункта 1 ст.58 закона № 212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представим в табличной форме, таблица Таблица 0..

Таблица 0.12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата,руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	Сумма отчислений
Руководитель проекта	8620	862	0,271	2569,62
Студент- инженер	59424	5942		17714,186
Итого:				20283,836

4.2.4.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.12)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы.

Примем $k_{\text{накл}} = 30 \%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot 74848 = 22\,454,4 \text{ руб.}$$

4.2.4.7 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице Таблица 0.1.

Таблица 0.1 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	502,2
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	300273,97
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68004
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	74848
5. Отчисления во внебюджетные фонды	20283,83
6. Накладные расходы	22454,4
Бюджет затрат НТИ:	668821,4

4.3 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 4.1.

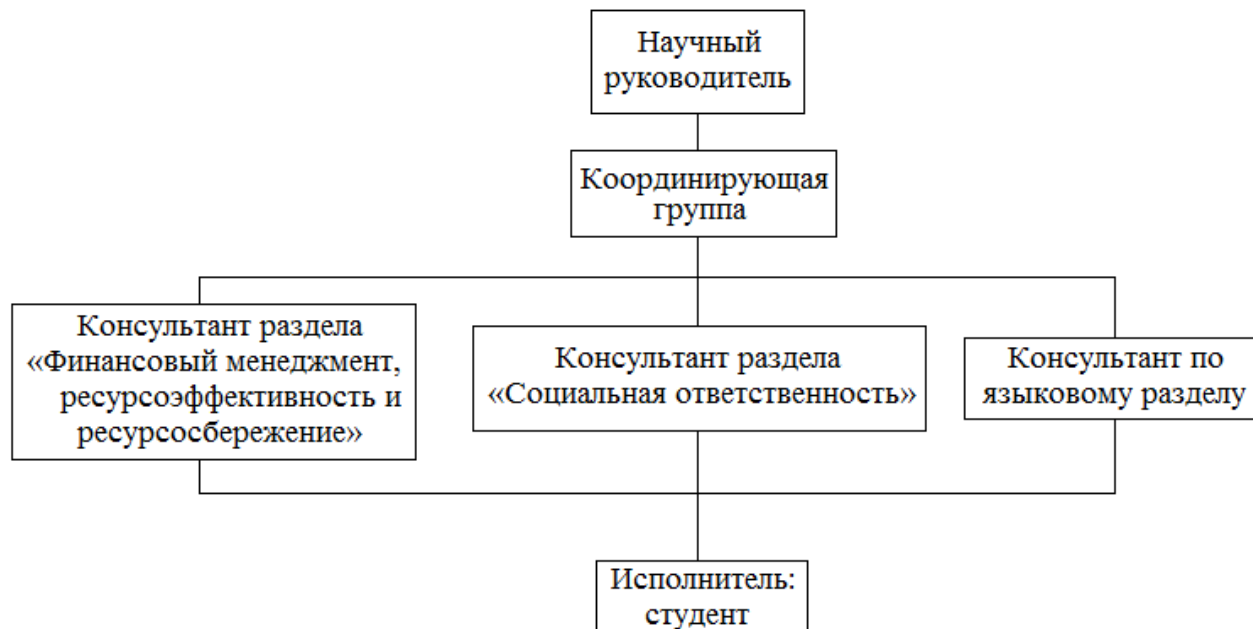


Рисунок 4.1 – Организационная структура научного проекта

4.4 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Составление и утверждение технического задания	О				
Изучение проблемы и подбор литературы					И
Изучение литературы и выбор методов решения проблемы	С				И
Календарное планирование работ по теме	О				И
Моделирование технологического процесса на компьютере					И
Планирование и проведение экспериментальных исследований	С				И
Выполнение оценки		С			И

ресурсоэффективности и ресурсосбережения					
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Анализ и обработка полученных результатов					И
Оценка эффективности полученных результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности оформления пояснительной записки согласно ГОСТу	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Список публикаций студента

1. Ryabchikov A. I. , Ananjin P. S. , Sivin D. O. , Shevelev A. E. , Zhelomsky S. G. A vacuum arc cathode magnetic field and a substrate bias influence on a macroparticle content decreasing [Electronic resources] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3-6 Июня 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 215-216. - Mode of access: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C49/C49.pdf>
2. Ryabchikov A. I. , Shevelev A. E. , Stepanov I. B. , Ananjin P. S. , Sivin D. O. , Zhelomsky S. G. Tangential Cathode Magnetic Field and Substrate Bias Influence on Copper Vacuum Arc Macroparticle Content Decreasing // 19th International Conference on Surface Modification of Materials: Abstracts, Chiang Mai, November 22-27, 2015. - Chiang Mai: CMU, 2015 - p. 193
3. Ryabchikov A. I. , Ananjin P. S. , Shevelev A. E. , Sivin D. O. , Zhelomsky S. G. Joint Influence of Steered Vacuum Arc and Negative Repetitively Pulsed Bias on Macroparticles Suppression // 19th International Conference on Surface Modification of Materials: Abstracts, Chiang Mai, November 22-27, 2015. - Chiang Mai: CMU, 2015 - p. 192