

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИЗ УЛТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА

УДК 621.762.2:537.52/.527

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ51	Дьякин Фёдор Иванович		

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	Черепанова Н.В.	К.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Штейнле А.В.	Д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

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

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

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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ51	Дьякин Фёдор Иванович

Тема работы:

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА
Утверждена приказом директора (дата, номер)

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе .	Образцы из нержавеющей стали 12ХН10Т, катоды Ti.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Характеристики микрокапельной фракции и закономерности её формирования плазме вакуумной дуги.2. Методика исследований и экспериментальное оборудование.3. Исследование механизмов и закономерностей образования капельной фракции титана в дуговом разряде на подложках 12ХН10Т.4. Закономерности осаждения покрытия и ультрадисперсных продуктов эрозии катода при различных режимах оборудования.
Перечень графического материала	Презентация в формате Microsoft Power Point, 14 слайдов

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Н.В.
Социальная ответственность	Штейнле А.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<ul style="list-style-type: none"> Исследование механизмов и закономерностей образования капельной фракции титана в дуговом разряде на подложках 12ХН10Т. 	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ51	Дьякин Фёдор Иванович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа представлена на 127 страницах, включает 54 иллюстраций, 41 таблиц, 44 источников литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: покрытие титана, вакуумно-дуговой разряд, катодное пятно, микрокапельная фракция, ионная фаза.

Объектом исследования являлись осаждаемые на поверхности подложек из нержавеющей стали 12ХН10Т ультрадисперсные (1-5 мкм) продукты эрозии титанового катода.

Целью работы является экспериментальное изучение режимов технологического процесса и параметров порошкового материала, получаемого при распылении титанового катода дугой в вакууме.

На полученных покрытиях титана (Ti) определяли толщину, распределение микрокапельной фракции по размеру, степень осаждения на подложке микрокапель и рассматривали механизмы осаждения ионной и капельной фаз.

Установлено влияние режимов оборудования и экранирования подложки на механизмы поведения ультрадисперсных продуктов эрозии титанового катода в газоразрядной низкотемпературной плазме.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

дуговой разряд: физическое явление, представляющее собой один из видов разряда в газовой атмосфере.

капельная фракция дугового разряда: ультрадисперсные капли и твердые осколки материала катода, образуемые в результате распыления этого катода дуговым разрядом в вакууме.

вакуумно-дуговой метод нанесения покрытий: это физический метод нанесения покрытий в вакууме, с помощью конденсации на подложку материала из плазменных потоков, возникающих на катоде-мишени в катодном пятне вакуумной дуги.

катодное пятно: хаотично перемещающаяся по поверхности катода зона плавления, образующаяся в процессе воздействия на катод дугового разряда.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

PVD – метод физического осаждения покрытий;

ПИНК – плазменный источник с накаливаемым катодом;

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОКАПЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕЁ ФОРМИРОВАНИЯ В ПЛАЗМЕ ВАКУУМНОЙ ДУГИ	9
1.1. Закономерности формирования потока микрочастиц при дуговом разряде.....	9
1.2. Поведение микрочастиц вакуумной дуги в плазме	17
1.3. Сравнительный анализ современных порошков титана.....	24
1.4. Постановка задачи и цели работы	27
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	27
2.1. Материалы исследования.....	28
2.2. Установка и оборудование для ионно-плазменного осаждения покрытий.....	28
2.3. Подготовка экспериментальных образцов.....	33
2.4. Методы исследования поверхностного слоя покрытия.....	35
2.4.1. Метод оптической металлографии	35
2.4.2. Метод определения толщины покрытия при помощи Calotest.....	36
ВЫВОДЫ КО ВТОРОМУ РАЗДЕЛУ	37
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ КАПЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ ТИТАНА В ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ НА ПОДЛОЖКАХ 12ХН10Т	37
3.1. Влияние ориентации и положения напыляемых поверхностей на процесс осаждения продуктов эрозии катода	38
3.1.1. Этапы и параметры нанесения покрытия титана в низкотемпературной плазме....	38
3.1.2. Толщина покрытий и зависимости осаждения продуктов эрозии титанового катода после напыления	39
3.2. Влияние анодного потенциала образцов на процессы роста покрытия и осаждения продуктов эрозии титанового катода.....	44
3.3. Осаждения покрытия в низкотемпературной плазме дугового разряда при различных режимах экранирования подложки.....	47
3.4. Характерные особенности эрозии титанового катода в дуговом разряде.....	48
ВЫВОДЫ К РАЗДЕЛУ 3	50
ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЯ И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ЭРОЗИИ КАТОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОБОРУДОВАНИЯ	51
4.1. Влияние расположения детали и тока накала дугового испарителя на характеристики полученного покрытия.	51
4.2. Анализ зависимости количества микрокапельной фракции титана от плавающего потенциала подложки.....	53

4.3 Исследование влияния экранирования подложки сеточным электродом на процесс осаждения покрытия и капельной фракции титана.....	54
4.3.1 Осаждения покрытия в низкотемпературной плазме дугового разряда при анодном потенциале экрана и плавающем потенциале образца.....	54
4.3.2 Осаждения покрытия в низкотемпературной плазме дугового разряда при экранировании подложки плавающим потенциалом.....	56
4.3.3 Осаждения покрытия в низкотемпературной плазме дугового разряда при экранировании без потенциала смещения анода.....	58
ВЫВОДЫ К ЧЕТВЕРТОМУ РАЗДЕЛУ	59
ГЛАВА 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	61
5.1. SWOT-анализ	61
5.2. Инициация проекта.....	62
5.3. Организационная структура проекта	63
5.4. Ограничения и допущения проекта	64
5.3. Отчисления на социальные нужды	66
5.4. Затраты на электроэнергию.....	66
5.5. Затраты на водоснабжение	66
5.6. Затраты на водоотведение.....	66
5.7. Полная смета затрат на выполнение НИР	67
ВЫВОДЫ К ПЯТОМУ РАЗДЕЛУ	67
ГЛАВА 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	72
Введение.....	74
6.1. Техногенная безопасность.....	75
6.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды.....	75
6.1.2 Вредные вещества.....	77
6.1.3 Производственный шум	79
6.1.4 Расчет уровня шума	80
6.1.5 Освещенность	82
6.2 Анализ опасных факторов производственной среды	86
6.2.1 Факторы электрической природы	86
6.2.2 Электробезопасность.....	87
6.2.3 Давление	90
6.2. Региональная безопасность.....	95
6.2.1 Защита атмосферы.....	95
6.3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	96
6.4. Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	98

6.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	99
6.5.1 Факторы пожарной и взрывной природы.....	100
Вывод к шестому разделу	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	123

ВВЕДЕНИЕ

Вакуумно-дуговой разряд является эффективным источником плазмы, имеющим широкий спектр научного и технологического применения (например, [1-3]). Одно из важнейших технологических применений вакуумно-дуговой плазмы связано с ее использованием для ионно-

плазменного осаждения покрытий, улучшающих эксплуатационные свойства изделий. При горении вакуумной дуги основным источником плазмы являются катодные пятна, однако при функционировании катодного пятна эрозия поверхности катода приводит к генерации не только ионных потоков, но и микрочастиц – капель материала катода. Доля капельной фракции в общей эрозии катода составляет значительную часть, являясь, с точки зрения характеристик источника плазмы, негативным фактором. Это связано с тем, что оседающие на поверхности изделий капли ухудшают ряд важных характеристик поверхностного слоя, таких как шероховатость и пористость поверхности, адгезия покрытия к поверхности, коррозионные и другие свойства поверхности.

Но если обратить внимание на форму и состав продуктов эрозии катода, то можно увидеть, что они представляют собой гранулы, материала катода без примесей, довольно правильной сферической формы и обладают относительно не высокой дисперсностью (разброс по размерам). С такой точки зрения микрокапли вакуумно-дугового разряда имеют отличный потенциал в качестве материала для порошковой металлургии.

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОКАПЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЕЁ ФОРМИРОВАНИЯ В ПЛАЗМЕ ВАКУУМНОЙ ДУГИ

1.1. Закономерности формирования потока микрочастиц при вакуумно-дуговом разряде

Вакуумный разряд представляет собой один из видов электрического разряда в газах, характеризуемый большой плотностью тока и малым падением потенциала вблизи катода [36–39]. Характерной особенностью электрической дуги в вакууме является присутствие на поверхности катода быстро перемещающихся яркосветящихся областей малых размеров – катодных пятен, которые образуются за счет взрывного испарения микроострий на поверхности электрода [23]. Катодные пятна являются неотъемлемой и характерной частью вакуумно-дугового разряда. Их наличие обусловлено лавиной электронов из металла – эктонами [23]. Эктоны

обеспечивают перенос тока в разрядном промежутке, испарение и ионизацию материала катода [1, 23, 40]. Катодные пятна имеют малые размеры (10^{-4} - 10^{-2}) см, что по данным работы [41] обусловлено влиянием собственного магнитного поля токового канала. Плотность тока в катодном пятне зависит от материала катода и по данным, представленным в работе [42] составляет ($6 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$) А/см² при длительности токового импульса (10^{-1}) нс, соответственно.

Различают катодные пятна первого и второго рода [38]. При относительно небольшом токе дуги (единицы ампер), а также при загрязненной поверхности на катоде формируется быстро перемещающиеся катодное пятно первого рода. Таким пятнам присущи высокая скорость перемещения (100–500 м/с) и низкая эрозия материала катода (3,5–13 мг/К) [43, 44]. Катодные пятна первого рода, существующие на грязной поверхности, перемещаются по диэлектрическим включениям на ней. С ростом тока дуги до нескольких десятков ампер и по мере 15 очистки поверхности катода от диэлектрических загрязнений формируются катодные пятна второго рода, для которых свойственен брызговой вынос материала электродов [38, 40]. Эти пятна образуются при высоком вакууме и, главным образом, на катодах с высоким упругим давлением паров [43, 44]. Скорость перемещения катодного пятна данного рода примерно на два порядка меньше, чем скорость перемещения катодного пятна первого рода [2, 44]. Функционирование катодного пятна второго рода приводит к локальному, более глубокому расплавлению поверхности катода, что, в конечном итоге, приводит к увеличению массопереноса материала катода в виде микрокапель.

Эрозия поверхности электрода является результатом микроскопических взрывов микроострий на рабочей поверхности катода, вследствие возникновения взрывной эмиссии электронов в виде отдельных порций или лавин электронов, названных эктонами [23]. Шероховатость, неровности и микровыступы являются неотъемлемой частью любой поверхности.

Причиной возникновения микровзрывов является быстрый нагрев микровыступов катода, имеющий место благодаря значительному усилению электрического поля вблизи микроострия и появлению эмиссионного электронного тока большой плотности. Массоперенос с катода интегрально обусловлен формированием потоков ионов и нейтрального пара, а также микрочастиц, которые представляют собой капли и даже твердые осколки катодного материала [36, 37].

Вклад капельной фракции в общий массоперенос катодного материала может достигать 90% [19]. Число микрочастиц зависит от тока дугового разряда, материала катода, теплового режима катода и его геометрии. Микрочастицы имеют размеры от долей микрометров до 100 мкм [42]. Иногда встречаются и более крупные частицы. Их диаметр существенно зависит от материала катода и давления рабочего газа. Распределения капель по размерам для случаев алюминиевого и молибденового катодов представлены на рисунке 1.1.1 [38, 37].

В работе [48] показано, что распределение капель по размерам может быть описано функцией типа:

$$\Delta n = cDk^{-\gamma}, \quad (1.1.1)$$

где Δn , Dk – количество и диаметр капель, соответственно, c , γ – постоянные, зависящие от материала катода.

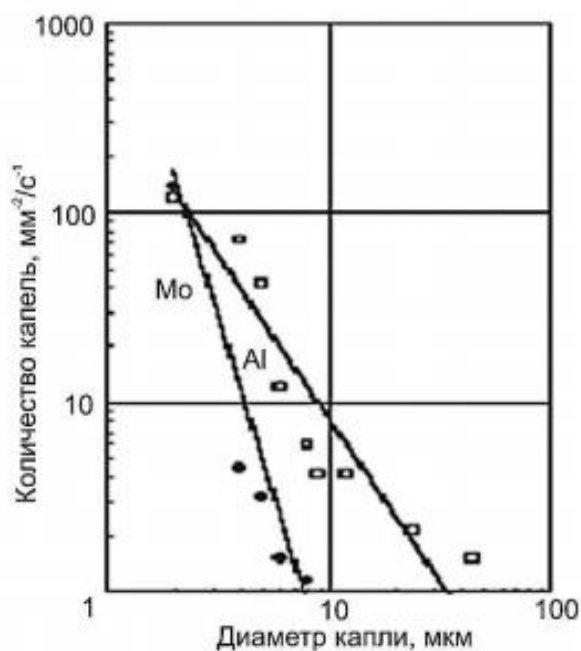


Рисунок 1.1.1. Распределение капель по размерам для дуги с алюминиевым и молибденовым катодами

Из распределения, представленного на рисунке 1.1.1, видно, что количество микрочастиц материала катода в плазме уменьшается примерно линейно с увеличением их диаметра в логарифмическом масштабе.

Процентное содержание капельной фракции увеличивается с уменьшением температуры плавления того или иного материала. По данным работы [10], для таких металлов как молибден и вольфрам (тугоплавкие металлы) процентное содержание капельной фазы составляет единицы процентов, в то время как для меди данная величина составляет около 50%.

Если катод выполнен из тугоплавкого металла или графита [21], то значительная часть микрочастиц покидает катод не в виде капель, а в виде твердых осколков. Эрозия катода с эмиссией твердых микрочастиц может происходить вследствие термоупругих напряжений, которые возникают в области катодного пятна. Эти напряжения в десятки раз превышают предел прочности материала электрода [23].

В отличие от работы [12], в работах [21, 17, 33] использовался микроскоп с более высоким разрешением, что позволило получить данные о

наличии 17 значительного потока микрочастиц в вакуумно-дуговом разряде с диаметром 0,1 – 1 мкм.

В работе [14] проведено исследование влияния материала катода на распределение плотности микрочастиц в зависимости от их диаметра в импульсном режиме дугового разряда с током дуги 200 А. Соответствующее распределение для катодов из вольфрама, платины, меди, никеля, серебра и свинца представлены на рисунке 1.1.2 а, б, в.

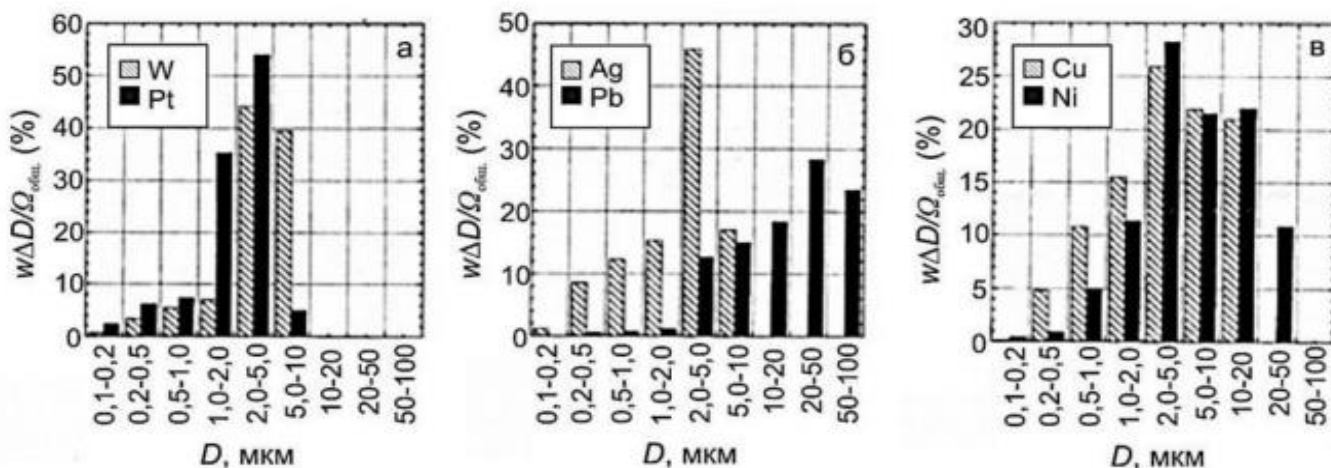


Рисунок 1.1.2. Отношение массы материала катода, осажденного макрочастицами, в области диаметров ΔD к общей осажденной массе Ω (массы нормированной на перенесенный заряд и площадь мишени): а – катоды из вольфрама и платины; б – катоды из меди и никеля; в – катоды из серебра и свинца

Эти гистограммы демонстрируют, что наибольший массоперенос в дуговом разряде обеспечивается макрочастицами с диаметром больше микрона. Для легкоплавкого свинца наибольший массоперенос (порядка 28%) обеспечивается микрокаплями диаметром 20–50 мкм. В тоже время, для тугоплавкого вольфрама более 40% массопереноса обеспечивается микрокаплями диаметром от 2 мкм до 5 мкм.

На количество микрокапель, их распределение по размерам существенное влияние оказывают не только процессы «расплёскивания» жидкого материала катода в катодном пятне, но и их последующее испарение вблизи катода в области высоких плотностей плазмы. Расчеты, представленные в работе [34] (рисунок 1.1.3), демонстрируют, что при

пролете участка от катода до поверхности 18 конденсации радиусы капель уменьшаются. Образцы, к которым был приложен отрицательный потенциал -150 В, располагались на расстоянии $0,085$ м от катода.

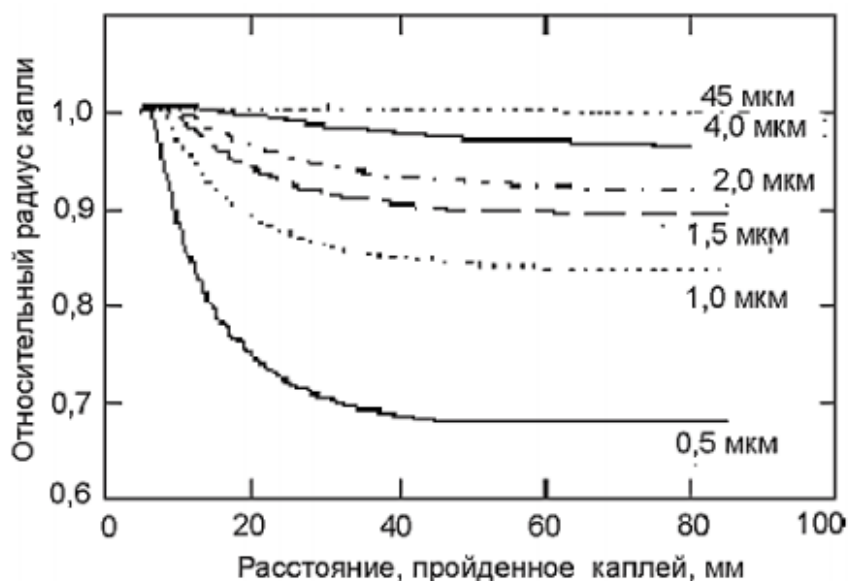


Рисунок 1.1.3. Изменение относительного размера капель в зависимости от пройденного расстояния для капель с различными начальными радиусами [34]

При этом в работе [34] также отмечалось, что объем малых капель уменьшается на 40%. Однако крупные капли радиусом более 10 мкм теряют всего несколько процентов своего объема (рисунок 1.1.4).

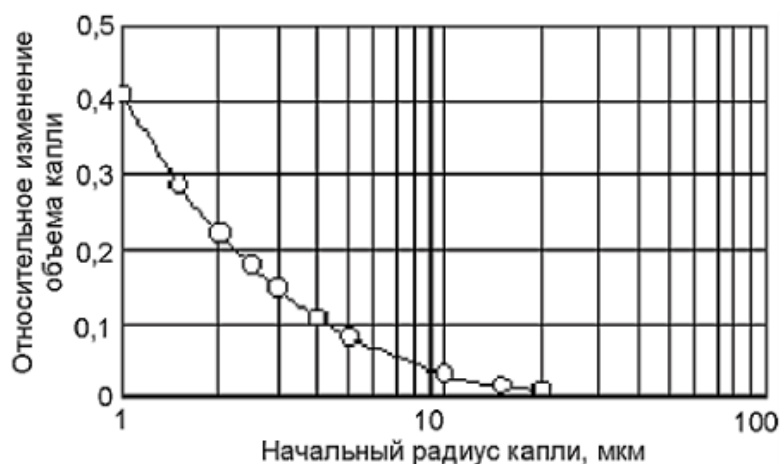


Рисунок 1.4. Относительное изменение объема капель в зависимости от начального радиуса [34]

Массоперенос материала катода микрокаплями существенно зависит от размеров частиц. И, хотя в катодном пятне вакуумно-дугового разряда 19 генерируется существенно больший поток мелких макрочастиц с диаметром

меньше 1 мкм, массоперенос с катода определяется крупными частицами. В работе [34] представлена доля титановых капель различного диаметра в общем массопереносе (рисунок 1.1.5).



Рисунок 1.1.5. Доля капель данного диаметра в общем массопереносе для дуги с титановым катодом [34]

Данное распределение показывает, что частицы диаметром менее 2 мкм вносят не существенный вклад в общую эрозию катода в капельной фазе.

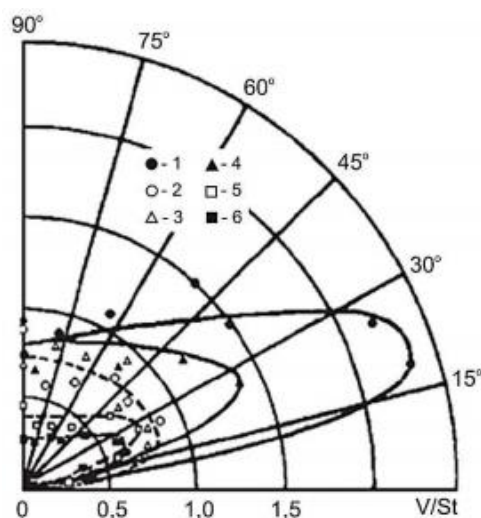


Рисунок 1.1.6. Угловое распределение капель различных размеров: 1, 3, 5 – 5÷15 мкм; 2, 4, 6 – 2 ÷ 5 мкм; 1, 2 – $p = 10^{-3}$ Па; 3, 4 – $p = 0,1$ Па; 5, 6 – $p = 1$ Па [34]

Характерно, что поток микрокапель, генерируемый катодным пятном вакуумной дуги, имеет ярко выраженную угловую зависимость. Большинство частиц движется под малым углом к поверхности катода. Угловые распределения титановых капель различных размеров, полученные в работе [34], представлены на рисунке 1.1.6. Авторы делают вывод, что

большинство титановых капельных образований покидает поверхность отрицательного электрода (катода) под углом $20...30^\circ$ к его поверхности. Подобные результаты получены также в работах [25, 28].

Известно, что микрокапли, покидая поверхность катода, движутся с различными скоростями. Так, в работе [13] показано, что наибольшую скорость в среднем имеют более мелкие частицы. Кроме того, было обнаружено, что начальная скорость для большинства капель составляет около 3 м/с [17], а максимальная скорость может иметь значение около 800 м/с [42, 27–29].

Капли, генерируемые стационарной вакуумной дугой, движутся с существенно меньшими скоростями, чем капли в импульсных или квазистационарных разрядах. Скорости капель в импульсных разрядах достигают, в ряде случаев, сотен метров в секунду [18–20].

В работе [43] показано, что капли, испускаемые стационарной дугой с титановым катодом, имеют скорости в диапазоне от 1 до 30 м/с (рисунок 1.1.7), причем наиболее вероятная скорость капель с ростом давления азота в разрядном промежутке увеличивается. Доля частиц, движущихся со скоростями более 30 м/с, в общем потоке капель, генерируемых вакуумной дугой, в рассматриваемых экспериментальных условиях работы [17] не превышает единиц процентов. Авторы связывают увеличение скорости капель при повышении давления азота с образованием на поверхности катода нитрида титана, обладающего более высокой температурой плавления (2930°C) по сравнению с чистым титаном (1660°C) [18, 21].

Известно также, что поток микрочастиц с поверхности катода существенно увеличивается с увеличением тока дугового разряда. Интенсивность генерации 21 капельных образований в этом случае растет из-за того, что движение катодных пятен по рабочей поверхности катода приводит к повышению его температуры.

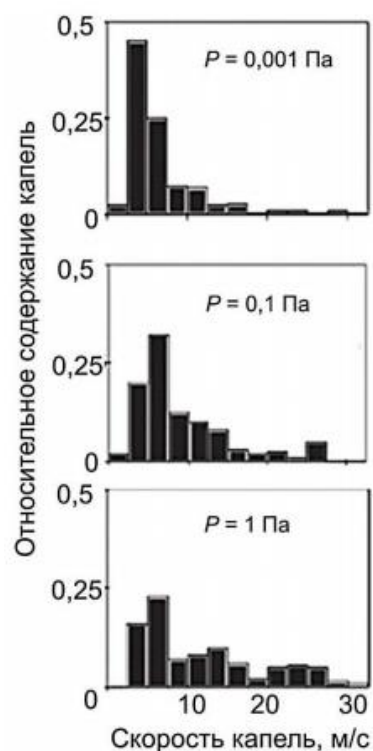


Рисунок 1.1.7 Распределения титановых капель по скоростям, полученные при различных давлениях азота [43]

Соответственно, увеличивается скорость распыления материала катода за счет увеличения в плазменном потоке материала катода в капельной и осколочной фракциях [20]. Значительный поток микрочастиц при килоамперных токах вакуумной дуги используется в технологиях высокоскоростного осаждения толстых защитных покрытий различного функционального назначения [42, 19–21].

1.2. Поведение микрочастиц вакуумной дуги в плазме

Микрочастицы покидают поверхность катода в расплавленном состоянии и по данным работы [14] имеют температуру более 1700 °С. Энергетическое состояние микрочастицы при её дальнейшем движении в плазме определяется общим балансом энергии. Энергетический баланс микрочастицы в плазме вакуумной дуги детально рассмотрен в работе [29]. Одним из основных источников охлаждения микрочастиц является их радиационное излучение $P_{\text{рад}}$, определяемое законом Стефана-Больцмана:

$$P_{\text{рад}} = \alpha 4\pi r_{\text{мч}}^2 \sigma T_{\text{мч}}^4, \quad (1.2.1)$$

где $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²К⁴ – постоянная Стефана-Больцмана, α – степень черноты материала микрочастицы, $r_{мч}$ – радиус микрочастицы, $T_{мч}$ – температура микрочастицы.

Излучение металла при высокой температуре зависит от материала и длины волны излучения. По данным работы [17] степень черноты металла α при высоких температурах (1000 – 5000) К может быть примерно равна 0,1. Однако в случае микрочастиц малого размера (около 1 мкм) это излучение может стать пренебрежимо мало из-за того, что длина волны ИК-излучения оказывается сравнима с диаметром микрочастиц [32].

В нагреве частицы, движущейся в плазме вакуумной дуги, существенную роль играет ток ионов $j_{и}$. В работе [24] для оценки ионного тока на микрокаплю используется выражение Бома:

$$j_{и} = 0.6en_{пл}\sqrt{T_e/m_{и}}, \quad (1.2.2)$$

где e – заряд электрона, $n_{пл}$ – плотность плазмы, T_e – температура электронов, $m_{и}$ – масса иона.

Однако в случае плазмы вакуумной дуги ионы имеют значительную направленную скорость, и использование формулы Бома может привести к существенному занижению величины ионного тока, а значит и энергии, передаваемой от ионов к микрочастице. В работе [29] ионный ток на микрочастицу определяется исходя из плотности ионного тока, обусловленного направленным движением ионов в плазме, и поперечным сечением микрочастицы:

$$j_{и,Q} = q_{и}en_{и}V_{и}\pi r_{мч}^2, \quad (1.2.3)$$

где $q_{и}$ – заряд иона, $V_{и}$ – скорость ионов.

Соответственно, мощность, передаваемая ионами микрочастице, может быть оценена, исходя из выражения:

$$P_{и,пл} = \bar{z}e_{и}V_{и}E_{и}\pi r_{мч}^2, \quad (1.2.4)$$

где $E_{и} = \bar{z}e\varphi + (m_{и}V_{0и})/2$ – средняя энергия ионов, \bar{z} – зарядовое состояние иона, φ – потенциал микрочастицы, $V_{0и}$ – начальная скорость ионов.

Важная роль в нагреве микрочастиц принадлежит и электронам плазмы. Поток электронов и ионов на микрочастицу в плазме в установившемся режиме будет одинаковым. То есть суммарный ток на микрочастицу будет нулевым. При этом следует принимать во внимание, что в суммарный электронный ток может вносить существенный вклад ионно-электронная эмиссия с микрокапли, термоэлектронная, а в некоторых особых случаях и автоэлектронная эмиссия. Электронный ток $I_{e,пл}$ на микрочастицу в плазме может быть оценен по формуле Ленгмюра:

$$I_{e,пл} = \int j_{e,пл} dA_{мч} \approx j_{e,пл} 4\pi r_{мч}^2 = \pi e n_e V_e T r_{мч}^2 \exp(\eta), \quad (1.2.5.)$$

где $A_{мч} = 4\pi r_{мч}^2$ – площадь поверхности макрочастицы, $V_e, T = \sqrt{8kT_e/\pi m_e}$ – средняя тепловая скорость электронов, $\eta = eU_s/kT_e < 0$ – установившееся напряжение слоя разделения зарядов.

Как отмечено в работе [29], если температура макрочастицы превышает 1700 °С, то в балансе тока на макрочастицу необходимо учитывать ток термоэлектронной эмиссии, определяемый из уравнения Ричардсона-Дешмана:

$$I_{e,пл} = 4\pi r_{мч}^2 A_R T_{мч}^2 \exp(-e\Phi/kT_{мч}), \quad (1.2.6)$$

где A_R – постоянная Ричардсона (для чистых металлов и углерода $A_R = 6 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2 \text{ К}^2$ [80]), Φ – рабочая функция, k – постоянная Больцмана. Ток термоэлектронной эмиссии оказывает охлаждающий эффект на микрочастицу, поскольку каждый электрон, покидающий микрочастицу, уносит с собой энергию, определяемую работой выхода электронов. В случае, если имеет место испарение вещества микрочастицы, то следует учитывать унос энергии $P_{п}$ за счет парообразования:

$$P_{п} = Q dm_{мч}, \quad (1.2.7)$$

где Q – скрытая теплота парообразования, $dm_{\text{мч}}$ – масса испаренного вещества микрочастицы за время dt . Общий баланс энергии микрочастицы с учетом вышеназванных составляющих может быть записан в виде:

$$m_{\text{мч}} C \partial T_{\text{мч}} / \partial t = P_{\text{е,пл}} + P_{\text{и,пл}} + P_{\text{изл,пл}} + Pa(T_{\text{мч}}) + P_{\text{е,Т}}(T_{\text{мч}}) + P_{\text{изл}}(T_{\text{мч}}), \quad (1.2.8)$$

где C – удельная теплоемкость, $P_{\text{е,пл}}$, $P_{\text{и,пл}}$ и $P_{\text{изл,пл}}$ – тепловая мощность электронов, ионов, плазменного излучения, соответственно, $Pa(T_{\text{мч}})$, $P_{\text{е,Т}}(T_{\text{мч}})$ и $P_{\text{изл}}(T_{\text{мч}})$ – потери энергии во времени за счет испарения атомов, эмиссии электронов и излучения.

В обычных условиях технологического применения вакуумного дугового разряда для ионной и плазменной обработки материалов, когда плотность плазмы не превышает 10^{16} м^{-3} , для большинства микрочастиц превалирует радиационное излучение, определяемое законом Стефана-Больцмана. Микрочастицы по мере своего движения постепенно остывают и даже переходят в твердое агрегатное состояние. Так, например, проведенная в работе [25] оценка, показала, что макрочастица титана, вылетающая из катода, уже на расстоянии порядка 0,03 м остывает до температуры ниже температуры плавления титана, то есть переходит из жидкого состояния в твердое.

В литературе обсуждаются различные возможности уменьшения количества и размеров макрочастиц в плазме вакуумной дуги.

В работе [29] рассмотрена возможность дополнительного нагрева микрочастиц с использованием мощного микроволнового генератора в СВЧ диапазоне при частоте следования импульсов $f=2,45 \cdot 10^9$ имп/с. Показано, что микроволны с такой частотой не могут проникать в плазму вакуумной дуги вблизи катода ($l < 0,1 \text{ м}$), где микрочастицы ещё незначительно теряют свою энергию из-за радиационного излучения.

В этой же работе отмечено, что одним из вариантов дополнительного разогрева микрочастиц может быть использование мощного ИК источника излучения такого, как CO_2 лазер. Очевидно, что применение такого лазера

для испарения макрочастиц вряд ли получит реальное применение в технологиях ионно-плазменной обработки материалов по экономическим соображениям.

Другой вариант возможного нагрева и последующего испарения макрочастиц в плазме вакуумно-дугового разряда предусматривает введение в 28 систему электронного пучка, являющегося источником дополнительного облучения макрочастиц [38]. В данной работе, представляющей собой теоретические исследования, показано, что при инжекции электронного пучка в пылевую плазму происходит существенное увеличение равновесной температуры, до которой может разогреться макрочастица. Численные расчеты зависимости температуры макрочастиц от времени и их начального радиуса представлены на рисунке 1.8 [38]. Авторы данной работы делают вывод, что скорость нагрева зависит не только от параметров плазмы и электронного пучка, но и от теплофизических параметров материала микрочастиц и их радиуса. Кроме того, диапазон характерных времен нагрева микрочастиц с начальным радиусом 1 мкм– 10 мкм составляет ($10^{-4} - 10^{-3}$) с при энергии электронов $\epsilon_e=5$ кэВ, плотности электронного пучка $n_e=10^9$ см $^{-3}$ и плотности тока электронов порядка 10^4 А/м 2 .

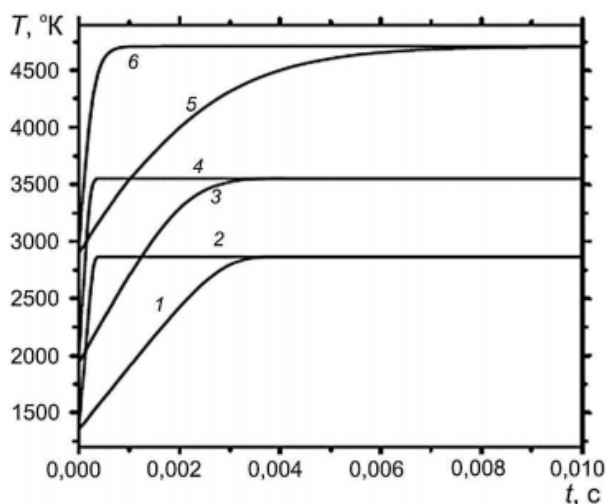


Рисунок 1.2.1. Зависимость температуры макрочастиц в пучково-плазменной системе от времени и их радиуса ($n_{пл} = 10^9$ см $^{-3}$, $n_e = 10^9$ см $^{-3}$, $\epsilon_e \approx 5$ кэВ): 1 – Cu, $r_{Мч}=10^{-3}$ см; 2 – Cu, $r_{Мч} = 10^{-4}$ см; 3 – Ti, $r_{Мч} = 10^{-3}$ см; 4 – Ti, $r_{Мч} = 10^{-4}$ см; 5 – Mo, $r_{Мч} = 10^{-3}$ см; 6 – Mo, $r_{Мч} = 10^{-4}$ см [38]

Расчеты времени нагрева до температуры кипения и времени испарения макрочастиц с наиболее характерными размерами для плазменного потока дуги низкого давления, проделанные в работе [38], показывают, что применение 29 электронных пучков в вакуумно-дуговых технологических системах нанесения покрытий принципиально может обеспечить испарение капельной фазы на длине пролета порядка нескольких десятков сантиметров и существенно улучшить свойства получаемых покрытий. Однако установка с высокомоощным дополнительным электронным источником может оказаться достаточно сложной в эксплуатации, хотя бы из-за возможного перепыления высоковольтных изоляторов электронной пушки.

Ещё один способ испарения микрочастиц в плазме дугового разряда, представленный в работе [24], основан на сильноточном импульсном дуговом разряде низкого давления. Теоретически показана возможность испарения или уменьшения размеров определенной части капель в потоке вакуумно-дуговой плазмы. Эффективность испарения микрокапельной фракции увеличивается с ростом плотности плазмы. Кроме того, авторами работы [24] получена зависимость температуры медных и титановых капель от времени пролета в плазме при различных значениях плотности плазмы у катода (рисунок 1.9, рисунок 1.10).

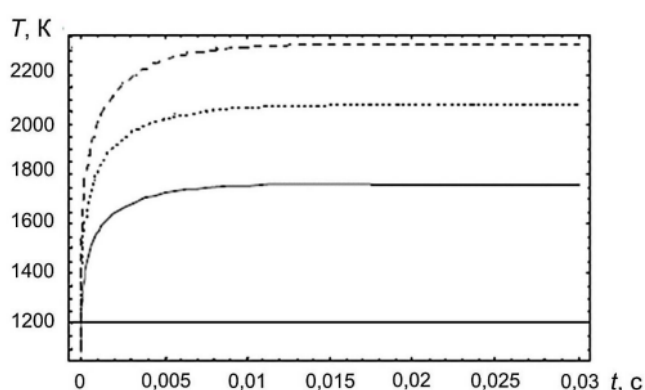


Рисунок 1.2.2. Зависимость температуры медных капель с начальным размером $r_{мч} = 1$ мкм от времени пролета в плазме при плотности плазмы у катода: _____ $n_{пл} = 0,3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; $n_{пл} = 1,7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; - - - - - $n_{пл} = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ [24]

Из полученных теоретических зависимостей авторы работы [24] приходят к выводу, что в начале, при пролете капли в плотной прикатодной плазме, происходит существенный нагрев капли. В области больших времен, при пролете каплями уже менее плотной плазмы, температура капель выходит на насыщение и может осуществляться некоторое остывание капель. Авторы пришли к заключению, что с увеличением плотности плазмы от 10^{20} м^{-3} до 10^{21} м^{-3} время испарения, например, титановых капель диаметром 100 мкм уменьшается от $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ до $0,25 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

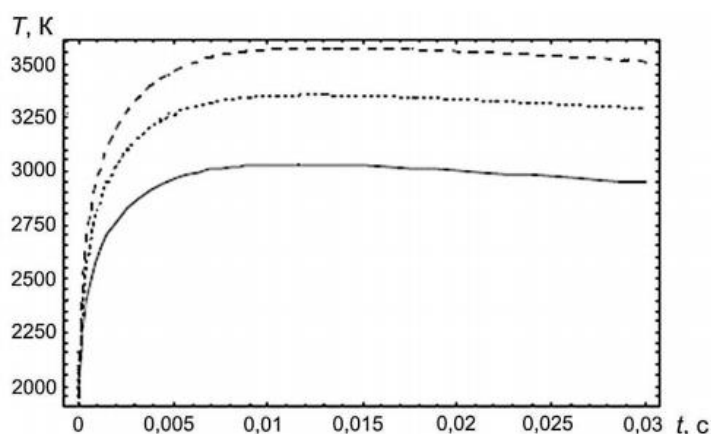


Рисунок 1.2.3. Зависимость температуры титановых капель с начальным размером $r_{Мч} = 10 \text{ мкм}$ от времени пролета в плазме при плотности плазмы у катода: _____ $n_{пл} = 0,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; $n_{пл} = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; - - - - $n_{пл} = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ [24]

Это означает, что даже такие объемные капли при больших плотностях плазмы могут быть испарены за десятитысячные доли секунды.

Реальные эксперименты, показавшие возможность существенного уменьшения потока макрочастиц в импульсной плазме вакуумной дуги при значительном увеличении её плотности, описаны в работах [29–31]. Авторы использовали отражательный дуговой разряд с двумя катодами и цилиндрическим анодом, расположенным между ними. Вся система находилась в аксиальном магнитном поле. Типичное распределение макрочастиц по размерам на подложке, в случае использования циркониевого катода при различных магнитных полях, 31 токах дуги и длительностях дугового разряда, представлено на рисунке 1.11. Данные рисунка демонстрируют, что в случае использования импульсной дуги с

током 150 А при длительности импульса 900 мкс и индукции магнитного поля $8,5 \cdot 10^{-2}$ Тл, достигается уменьшение количества макрочастиц на подложке более чем на порядок по сравнению с вариантом отсутствия магнитного поля при токе дуги 60 А и длительности импульса 300 мкс.

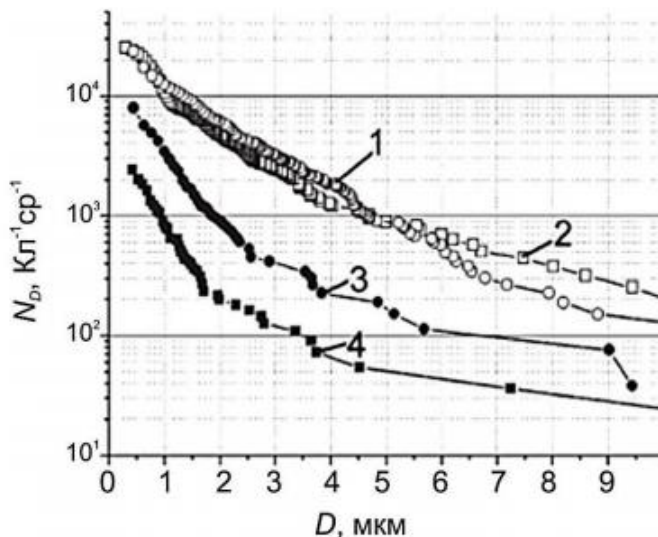


Рисунок 1.2.4. Типичные распределения капель по размерам на подложке в случае циркониевого катода: 1, 2 – $V=0$; 3 – $V=13 \cdot 10^{-2}$ Тл; 4 – $V=8,5 \cdot 10^{-2}$ Тл; 1, 3 – $I_d=60$ А; $\tau=300$ мкс; 2, 4 – $I_d=150$ А; $\tau=900$ мкс

Важно отметить, что в данной работе для объяснения эффективного испарения макрочастиц впервые использовано понятие капельных пятен, функционирующих подобно термоэмиссионному катодному пятну. Развитие этой работы привело к созданию сильноточного импульсного испарителя для формирования покрытий с уменьшенным содержанием микрочастиц [37].

1.3. Сравнительный анализ современных порошков титана

Технологии, связанные с вакуумной дугой, широко востребованы в различных отраслях науки и техники. Наибольший интерес в современном мире представляет применение вакуумной дуги в плазменных технологиях для нанесения тонкопленочных покрытий различного вида и в ионной имплантации с использованием источников ионов металлов и газов [1–10].

Существует множество плазменных методов нанесения тонкопленочных покрытий в вакууме, но ни один из них не является идеальным, у каждого присутствуют свои достоинства и недостатки. Преимущества вакуумной дуги

обусловлены высокой степенью ионизации материала катода и высоким зарядовым состоянием ионов в плазме [11, 12]. В тоже время вакуумная дуга имеет существенный недостаток. В результате взрывных процессов микроострий катода в плазме вакуумной дуги появляется значительное количество микрочастиц – капель, твердых осколков, которые снижают характеристики осажденных покрытий. Однако данный недостаток возможно превратить в достоинство. Вакуумно-дуговой метод получения покрытий имеет значительный потенциал в получении порошковых материалов из тех самых микрочастиц. Настоящая работа рассматривает возможность получения микрометрического порошка титана из продуктов эрозии катода дугового испарителя.

В современной промышленности порошки титана получают, преимущественно оксидным восстановлением гидридом кальция. Восстановленные порошки титана и сплавов имеет неправильную (иррегулярную) форму и развитую поверхность частиц, из-за чего требуют дополнительную технологическую операцию (сфероидизацию).[41]

Таблица №1 Размерность современных порошков титана и их применение[41]

Размерность промышленных микропорошков титана, мкм	Дисперсность, мкм	Применение в промышленности
+280	≈15	Фильтры систем очистки в пищевой промышленности; Импланты в медицине; Пиротехника(высокой надёжности); Адсорбенты(газопоглотители);
+100		
>45		
<45		

Порошки титана и его сплавов применяются(табл.1) в производстве коррозионностойких фильтров тонкой очистки технических жидкостей в виде пористого проката, в медицине для изготовления имплантов, в

пищевой промышленности для изготовления регенерируемых фильтров в системах очистки питьевой и минеральной воды, соков и напитков, в производстве пиротехнических средств высокой надежности, пористых нераспыляемых геттеров (газопоглотителей) с высокой сорбционной емкостью и скоростью сорбции, а также для изготовления композитов с алюминием и другими металлами, деталей часовых механизмов и кислотостойкого оборудования. Порошки применяются также для плазменного и микроплазменного напыления покрытий.

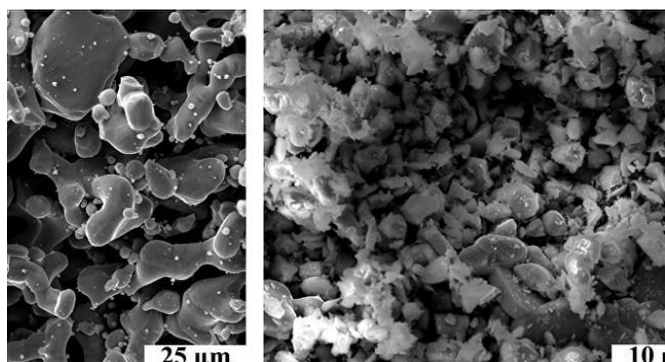


Рисунок 1. Фотография титанового порошка ПМТ(>45 мкм) [41]

Продукты эрозии катода в дуговом разряде имеют размеры от десятков нанометров до 10 мкм и обладают ярко выраженной сферической поверхностью. [25] Исходя из этого можно прийти к выводу, что вакуумно-дуговой метод возможно применять для получения микропорошков титана малого (в сравнении с используемыми в промышленности порошками) размера (порядка 5 мкм) и правильной формы (рис.2).

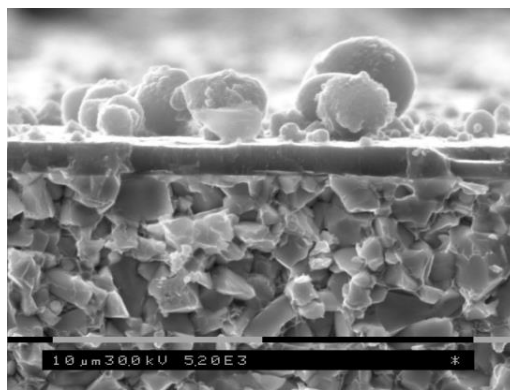


Рисунок 2. Фотография подложки после напыления покрытия титана вакуумно-дуговым методом.[25]

В связи с выше перечисленными вопросами тематика настоящей работы, направленная на изучение режимов технологического процесса и параметров порошкового материала, получаемого при распылении дугой титанового катода в вакууме, является, безусловно, актуальной.

1.4. Постановка задачи и цели работы

В настоящей работе были поставлены следующие цели и задачи:

Целью работы являлось экспериментальное изучение режимов технологического процесса получения порошкового материала, путем распыления титанового катода дугой в вакууме. Проведение анализа параметров микрокапель титана и механизмов их осаждения на поверхности подложки.

Для достижения поставленной цели было необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Исследовать влияние положения образцов в камере и их ориентации относительно поверхности катода на средние размеры и количественную характеристику микрокапель;
- 2) Исследовать зависимость количества продуктов эрозии катода образующихся в покрытии от различных режимов оборудования;
- 3) Оценить влияние плавающего потенциала подложки на толщину напыляемого покрытия и его морфологию;
- 4) Экспериментально изучить возможность осаждения капельной фракции (микрокапель) титана без образования покрытия при помощи различных режимов экранирования подложки;
- 5) Проанализировать полученные результаты.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

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

2.1. Материалы исследования

В качестве материала для образцов была взята нержавеющая сталь 12ХН10Т. Такой выбор обусловлен легкой доступностью такого металла и его ценой. Сталь 12ХН10Т применяется, как правило, в сварных конструкциях, работающих в агрессивных средах; для емкостей, теплообменного и другого оборудования. В таблице 2.1.1. указан химический состав данной стали.

Химический элемент	Содержание, %
Хром, Cr	До 0,12
Никель, Ni	0,9-1,2
Титан, Ti	0,4-1
Марганец, Mn	до 2
Железо, Fe	≈67
Медь, Cu	до 0,3
Кремний, Si	до 0,8
Фосфор, P	до 0,032
Сера, S	до 0,002

Данная сталь имеет следующие физико-механические характеристики:

- Удельный вес: 7920 кг/м³.
- Термообработка: Закалка 1050-1100°С, вода.
- Твердость материала: НВ 10⁻¹ = 179 Мпа.
- Жаростойкость: в воздухе при Т=650 °С; 2-3 группа стойкости, при Т=750 °С; 4-5 группа стойкости.
- Предел выносливости: $\sigma_{-1}=279$ МПа, $n=10^7$.

2.2. Установка и оборудование для ионно-плазменного осаждения покрытий.

2.2.1. Экспериментальная установка для нанесения покрытий в низкотемпературной газоразрядной плазме.

В ходе экспериментов производилось нанесение покрытия титана на установке ИЭТ-8 И2 (рисунок 2.2.1.). Данное оборудование предназначено для диффузионного осаждения тонких пленок, состоящих из материала катода, в дуговом разряде на поверхность различных деталей машиностроительных отраслей. Процесс заключается в том, что в едином вакуумном цикле производится ионная очистка, нагрев поверхности и

плазменно-ассистированное, нанесение покрытий. Эти процессы можно осуществлять благодаря эффективной генерации однородной низкотемпературной газоразрядной плазмы в больших объемах с помощью несамостоятельного дугового разряда низкого давления и распыления металлического катода определенного состава. Характеристики установки ИЭТ-8 И2 показаны в таблице 2.2.1.

Установка оснащена высоковакуумным насосом, обеспечивающим предельный вакуум (пониженное давление) в рабочей камере $p = 1,33 \times 10^{-3}$ Па (10^{-5} мм рт. ст.). В качестве высоковакуумного насоса, в нашем случае, использовался пароструйный насос ТМН-500 с производительностью 500 л/час. При пароструйной откачке молекулы откачиваемого газа, поступающие в насос, взаимодействуют со струёй пара, имеющего звуковую и сверхзвуковую скорость, и приобретают дополнительную скорость в направлении насоса предварительного разряжения.



Рис. 2.2.1.1. Общий вид экспериментальной установки ИЭТ-8 И2.

Высоковакуумные пароструйные насосы не могут работать в атмосферных условиях (это приводит к окислению рабочей жидкости). Поэтому были использованы ещё два форвакуумных насоса: для откачки воздуха из диффузионного насоса и из камеры до давлений 10^3 мм.рт.с. (режима работы пароструйного насоса).

Таблица 2.2.1. Основные характеристики экспериментальной установки ИЭТ-8 И2

Параметры установки ИЭТ-8 И2	Значение параметра
Объем вакуумной камеры	0,25 м ³
Ток плазмодгенератора «ПИНК»	до 10 А
Ток дугового испарителя	50-150 А
Напряжение отрицательного смещения	от 0 до -1000 В
Рабочее давление	0,1 – 1 Па
Рабочий газ	аргон
Температура нагрева образцов	150-400 °С
Время работы установки	10-300 мин.

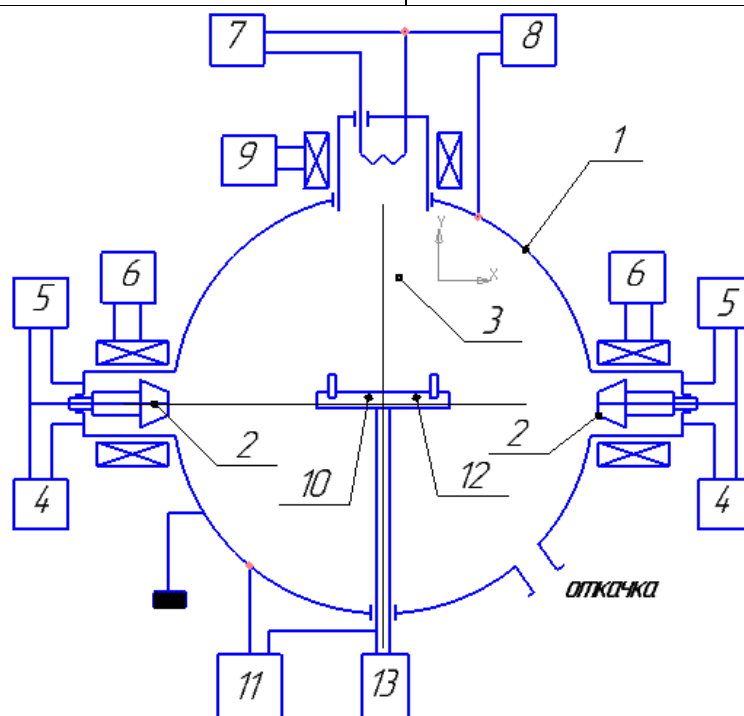


Рисунок 2.2.1.2. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – водоохлаждаемый корпус вакуумной камеры; 2 – дуговые испарители металлов; 3 – плазмодгенератор «ПИНК» – источник низкотемпературной газовой плазмы; 4 – источники питания поджига дуговых разрядов испарителей ($U = 6$ кВ; $I = 10$ А; $\tau = 20$ мкс); 5 – источники питания дуговых разрядов испарителей ВД-200 ($U = 70$ В; $I = 200$ А); 6 – источники питания катушек продольного магнитного поля ($U = 100$ В; $I = 1$ А); 7 – источник питания нити накала вольфрамового катода плазмодгенератора «ПИНК» ($U = 10$ В; $I = 150$ А); 8 – источник питания дугового разряда плазмодгенератора «ПИНК» ВД-200 ($U = 50$ В; $I = 100$ А); 9 – источник питания катушек продольного магнитного поля плазмодгенератора «ПИНК» ($U = 100$ В; $I = 1$ А); 10 – вращающийся рабочий стол; 11 – источник напряжения смещения рабочего стола ($U = -1500$ В; $I = 5$ А); 12 – образцы; 13 – изолированный от камеры электропривод вращения рабочего стола.

На рисунке 2.2.1.2. продемонстрирована блок-схема экспериментальной установки ИЭТ-8 И2.

Рабочее пространство камеры, внутренние стенки которой изготовлены из нержавеющей стали и служат анодом, имеет объем $\sim 0,25$ м³ и

откачивается турбомолекулярным насосом ТМН-500 производительностью 500 л/с до предельного давления 10^{-3} Па. Газовое питание установки осуществлялось посредством двухканальной автоматизированной прецизионной системы СНА-2. В качестве рабочего газа использовался аргон.

2.2.2. Параметры катодов испарителя для получения покрытий

Для экспериментов использовались катоды из чистого титана (Ti). Плотность титана 4.506-4.516 г/см³, точка плавления 1668 °С, температура кипения 3535°С. В соответствующей окислительной среде имеет превосходную устойчивость к коррозии. Титан имеет твердость по Бринеллю 175 МПа.

Внешний вид катода предоставлен на рисунке 2.2.1. Для однокомпонентных катодов экономически и технологически оправданным методом изготовления является точение из цилиндрического прутка. Все химические и термодинамические свойства чистого титана указаны в таблице 2.2.1.

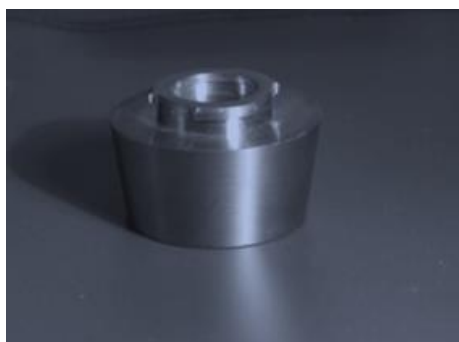


Рисунок 2.2.1. Внешний вид титанового катода дугового испарителя

Таблица 2.2.1. Химические и термодинамические свойства чистого титана

Плотность (при н. у.)	4,54 г/см ³
Температура плавления	1941 К
Температура кипения	3560 К
Уд. теплота плавления	18,8 кДж/моль
Уд. теплота испарения	422,6 кДж/моль
Молярная теплоёмкость	25,1 ^[2] Дж/(К·моль)
Молярный объём	10,6 см ³ /моль

2.2.3. Параметры и основные конструктивные особенности электродугового испарителя металлов

Метод конденсации соединений в вакууме с ионной бомбардировкой относится к вакуумным электродуговым способам осаждения вещества. Процесс осуществляется в стационарном эрозионном плазменном ускорителе. Основными преимуществами метода являются: возможность напыления многослойных покрытий; наличие высокой степени ионизации испаряемого материала; возможность легирования металлов, вводя в камеру легирующий газ.

Вакуумная установка в плазме дуговых разрядов низкого давления состоит из вакуумной камеры с электродуговым испарителем, высоковольтного блока, блока управления, блока питания и вакуумной системы. Основным узлом установки является электродуговой испаритель металла. Эрозия катода происходит за счёт выделения энергии на его поверхности. При этом анод, которым служит поверхность вакуумной камеры, почти не разогревается, так как на большой поверхности разряд имеет диффузионно-распределительный характер.

Вакуумно-дугового осаждение для износостойких нитридных пленок, происходит по принципу плазменного ускорителя [27]. Основные параметры для плазменного испарителя металлов при формировании плазменного потока ускоренных частиц, применяемого для получения покрытий в вакууме показаны в таблице 2.2.3.1.

Таблица 2.2.3.1. Основные параметры для плазменного испарителя металлов при формировании плазменного потока ускоренных частиц

Ток разряда	10 - 200 А
Напряжение разряда	40 - 60 В
Рабочее давление	0,0133 – 13,3 Па
Скорости потока частиц	до 10^5 м/с
Энергиями	10 – 100 эВ
Степень ионизации потока	от 60 до 95%
Коэффициент использования материала	Приблизительно 100%.

Работа испарителя (Рисунок 2.2.3.1) основана на эрозионном разрушении поверхностного слоя катода, выполненного из испаряемого

электропроводящего материала, под действием горения электрической дуги, возникающей в разрядном промежутке между катодом и положительным анодом. Использование в одной установке несколько ускорителей с катодами из разных чистых и композиционных металлов позволяет формировать многослойные пленки. Специально вводимые в рабочую камеру реактивные газы (азот, углеводород, кислород) дают возможность образовывать в процессе конденсации металлических частиц на подложке твердые износостойкие соединения, такие как нитриды, карбиды и оксиды.

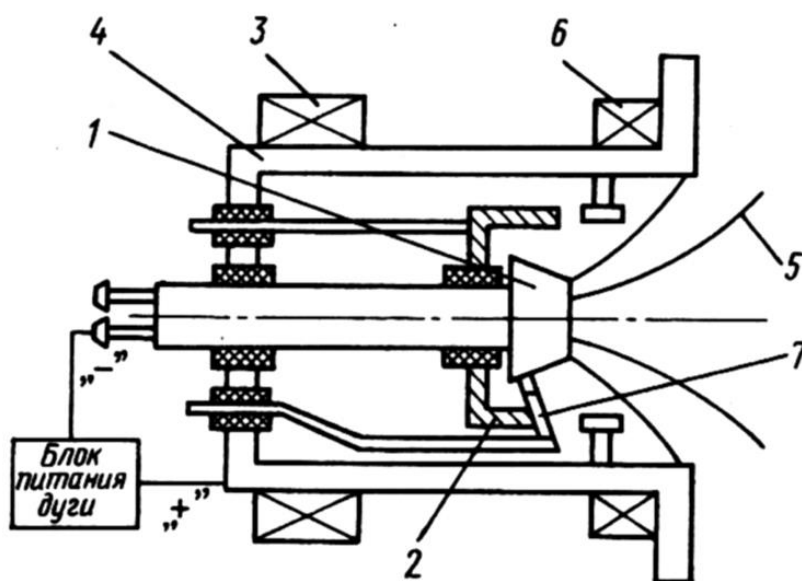


Рисунок 2.2.3.1 Схема испарителя металлов для формирования плазменного потока ускоренных частиц, применяемого для получения покрытий в вакууме: 1 - водоохлаждаемый катод; 2 - экран; 3 - соленоид стабилизации дуги; 4 - анод, 5 - силовые линии электрического поля; 6 - соленоид, фокусирующий плазменную струю; 7 - поджигающий электрод. [27].

2.3. Подготовка экспериментальных образцов

При испытании физико-механических свойств поверхности полученных путем нанесения нитридных покрытий в вакуумно-дуговом разряде необходимо провести мероприятия по подготовке места измерения. Предварительно необходимо провести полировку поверхности для максимально правильной интерпретации полученных результатов. Процесс подготовки образцов весьма трудоемок и занимает много времени.

Подготовка образцов велась следующим образом:

1. Нарезка образцов из листа нержавеющей стали 12ХН10Т, толщиной 3мм, на пластины размером 20х20мм.

2. Шлифование на кругло шлифовальном станке, с применением четырех видов шкурки: 1. ЭМ14А20Н-СФК размер зерна (200-250 мкм), 2. ЭМ14А6Н СФК размер зерна (63-80 мкм), 3. ЭМ14А Р600 СФК размер зерна (20-28 мкм), 4. ЭМ14А Р2000 размер зерна (5-7мкм). Шлифовку необходимо выполнять возвратно-поступательными движениями, после смены очередной шкурки необходимо сменить направление шлифа на 90° относительно предыдущего. Шлифовать до момента полного исчезновения рисок, оставшихся от предыдущей шкурки.

3. Промывка и обезжиривание образцов при помощи спирта.

4. Полировка образцов на алмазных пастах двух типов: 1) Алмазная паста АСМ28/20; параметр шероховатости обработанной поверхности Ra 0,32-0,05 мкм, 2) Алмазная паста АСМ1/0; параметр шероховатости обработанной поверхности Ra 0,25-0,02 мкм.

Для полировки образцов на алмазной пасте нужно было нанести немного пасты на ткань (бязь), которая располагались на ровной поверхности (стекло). После нанесения на ткань пасты добавить бензин и полировать согласно последовательности при шлифовке. После полировки образцы обработать спиртом.

После прохождения механической обработки шероховатость поверхности составила Ra~0,02 мкм.

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

2.4. Методы исследования поверхностного слоя покрытия

2.4.1. Метод оптической металлографии

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

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

$$d = \lambda(2n \cdot \sin \alpha/2)$$

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

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

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

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

2.4.2 Метод определения толщины покрытия при помощи Calotest

Оценка толщины покрытия проводилась при помощи метода калотеста на приборе CSEM Calotest.

Прибор предназначен для измерения толщины в диапазоне (0,1-50) микрон, в том числе и многослойных. Определение толщины осуществляется по результатам измерения геометрических параметров лунки износа, оставленной после вращения стального шара диаметром 25,4мм по поверхности на одном выбранном участке образца с использованием алмазной суспензии. После такого механического воздействия на образец остается характерный сферический отпечаток видимой границей между слоем покрытия и фрагментом подложки. По параметрам, таким как диаметры отпечатков на подложке и в покрытии, а также, зная диаметр шара, могут быть определены глубина внедрения в субстрат t , общая глубина внедрения T и толщина покрытия s .

Важно подобрать скорость и время вращения стального шара таким образом, чтобы в процессе истирания произошел износ части материала подложки. Устройство для шарового шлифования обеспечивает измерение толщины пленок в диапазоне от 100 нм до 50 мкм за короткое время (1-5 минут).

По параметрам отпечатка, таким как диаметры отпечатков на подложке и в покрытии, а также, зная диаметр шара, могут быть определены глубина внедрения в субстрат t [2.4.2.1], общая глубина внедрения T [2.4.2.2] и толщина покрытия s [2.4.2.3].

$$t = R - \frac{1}{2}\sqrt{4R^2 - d^2} \quad (2.3.1.3.1)$$

$$T = R - \frac{1}{2}\sqrt{4R^2 - D^2} \quad (2.3.1.3.2)$$

$$s = T - t \quad (2.3.1.3.3)$$

ВЫВОДЫ КО ВТОРОМУ РАЗДЕЛУ

В данном разделе диссертации рассматриваются вопросы, связанные с режимами получения покрытий титана (Ti) и продуктов эрозии катода на подложках из нержавеющей стали 12ХН10Т. Подробно изложены этапы и параметры процессов. В начале главы, представлена информация об особенностях процессов напыления покрытий вакуумно-дуговым методом. Далее приводятся и описываются методики получения экспериментальных данных и их основные особенности.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ КАПЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ ТИТАНА В ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ НА ПОДЛОЖКАХ 12ХН10Т

В настоящем разделе диссертации рассматриваются вопросы, связанные с процессами образования в дуговом разряде покрытия и ультрадисперсных частиц титана на подложках. Подробно описаны этапы всех проводимых экспериментов и их режимы. В начале главы приводятся все параметры технологических процессов, в результате которых происходило осаждение на подложках микрокапель титана. Кроме того, представлены физико-механические и статистические экспериментальные данные.

В заключительной части раздела описаны характерные особенности продуктов эрозии титанового катода, осаждаемых в низкотемпературной плазме дугового разряда.

3.1. Влияние ориентации и положения напыляемых поверхностей на процесс осаждение продуктов эрозии катода

3.1.1. Этапы и параметры нанесения покрытия титана в низкотемпературной плазме

На первом этапе исследований проводилось напыление покрытия титана (Ti) на образцы из нержавеющей стали 12ХН10Т вакуумно-дуговым методом на установке вакуумного конденсационного напыления ИЭТ-8 И2, об особенностях конструкции которой подробно рассказано во 2-м разделе настоящей диссертации.

В камеру, на различном расстоянии от испарителя «ПИНК» (плазменный источник с накаливаемым катодом), были помещены 3 пары образцов. Парные образцы скреплялись перпендикулярно друг другу при помощи точечной сварки и устанавливались напротив титанового катода так, что один находился вертикально поверхности испарителя, а второй горизонтально. Для сравнительного анализа влияния тока испарителя на процесс эрозии катода было проведено три эксперимента.

Схемы эксперимента и расположения образцов в вакуумной камере относительно катода представлены на рисунках 3.1.1.1. и 3.1.1.2. соответственно. В таблице 3.1.1.1. приведены режимы нанесения покрытия на подложки.

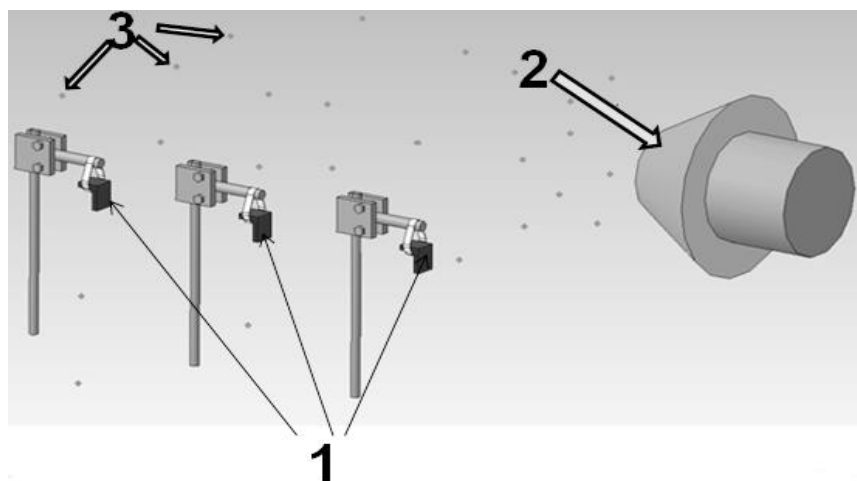


Рисунок 3.1.1.1. Схема эксперимента. 1- Исследуемые образцы, 2- Титановый катод, 3-ультрадисперсные продукты эрозии катода.

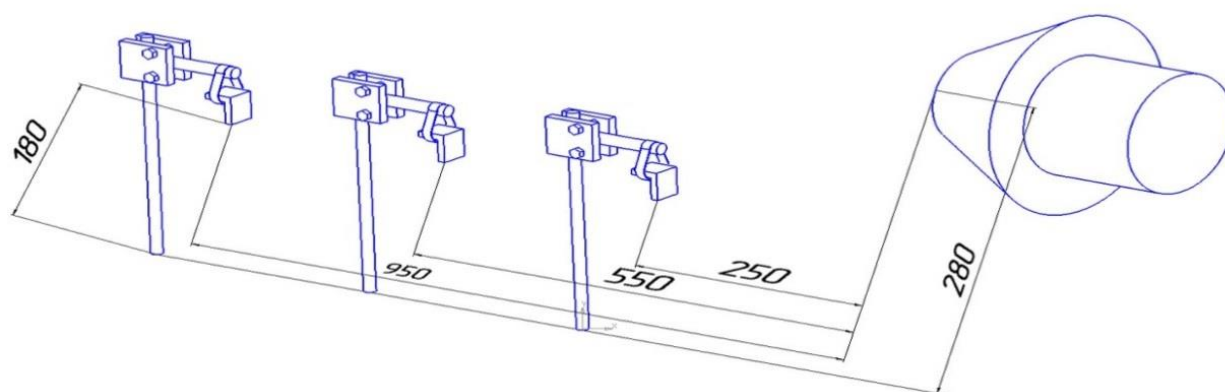


Рисунок 3.1.1.2. Схема расположения образцов в вакуумной камере относительно катода.

Таблица 3.1.1.1. Параметры и режимы нанесения покрытий

Ток плазмогенератора, А	10		
Ток испарителя, А	50	100	150
Ток накала, А	100		
Рабочее давление, мм.рт.с.	$1,5 \times 10^{-3}$		
Время напыления, мин	45		

3.1.2. Толщина покрытий и зависимости осаждения продуктов эрозии титанового катода после напыления

Нанесение покрытий на подложки из нержавеющей стали проводилось в низкотемпературной плазме дугового разряда. После напыления образцы

были исследованы при помощи оптического и электронно-растрового микроскопов. На рисунке 3.1.2.1. представлены морфологии поверхностей двух парных (горизонтального и вертикального) образцов, находящихся на расстоянии 52 см от поверхности титанового катода. Так же образцы были подвергнуты испытанию калотест (рисунк 3.1.2.2.).

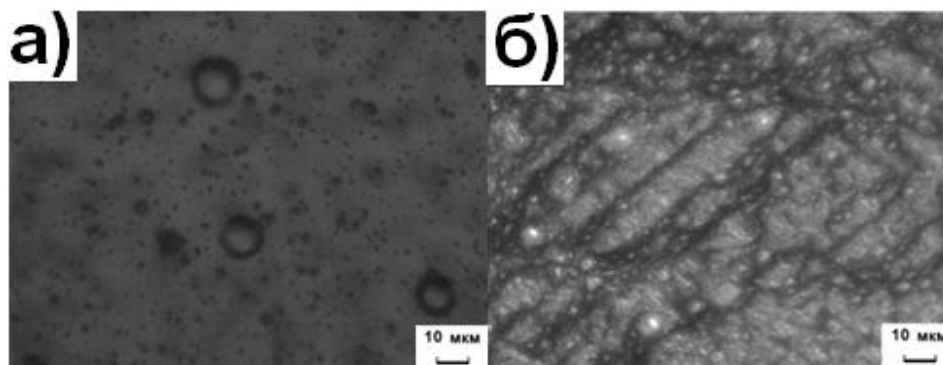


Рисунок 3.1.2.1. Морфологии поверхностей образцов после нанесения покрытия титана: а) горизонтальный, б) вертикальный, расстояние до катода 55 см, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А, увеличение х620.

Покрытие на ближней (25 см от поверхности катода) паре образцов получилось «рыхлым», из-за очень большого количества продуктов эрозии, т.е. оно состоит полностью из, сплавившихся между собой, микрокапель. Фотографии полученной «рыхлой» поверхности представлены на рисунке 3.1.2.3.

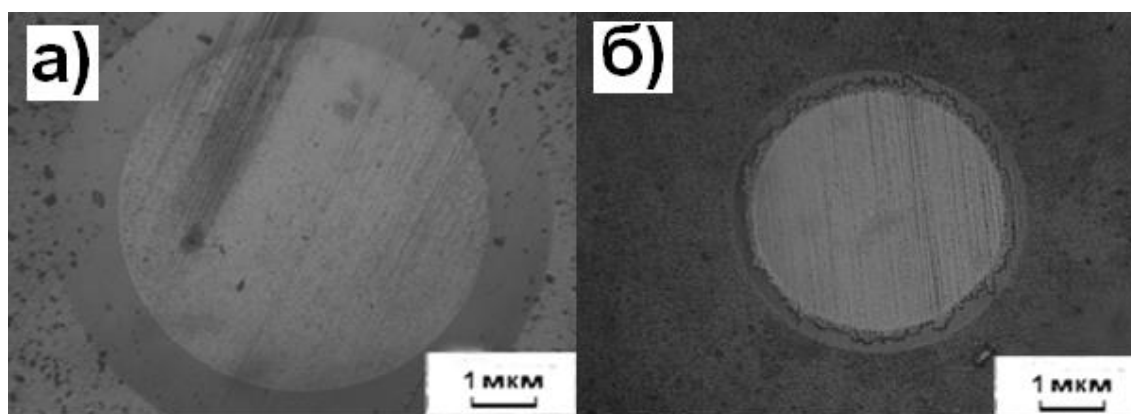


Рисунок 3.1.2.2. Внешний вид поверхности вертикальных образцов с кратером износа, полученным по методу КАЛОТЕСТ, расположенных на расстояниях: а) 55 см, б) 95 см, от поверхности катода. Пленка – покрытие Ti, подложка – нержавеющая сталь 12ХН10Т, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А.

Из этих фотографий видно, что данные образцы не позволяют получить отдельные капли. Более подробно вопрос рыхлых покрытий будет

рассмотрен в четвертой главе настоящей диссертации. Связи с чем дальнейшим испытаниям и анализу подвергались только образцы, находившиеся на 55 см и 95 см от поверхности испарителя.

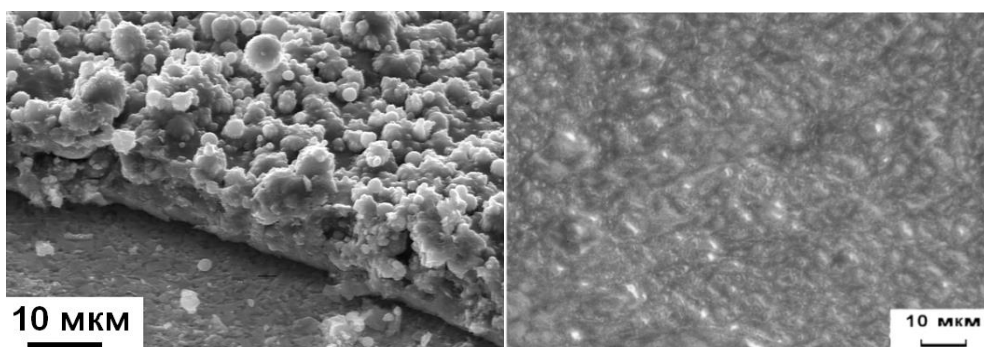


Рисунок 3.1.2.3. Морфология поверхности вертикального образца после нанесения покрытия титана, расстояние до поверхности катода 25 см, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А. а) Растровая электронная микроскопия, б) Оптическая микроскопия.

Поверхности всех остальных образцов были исследованы на количество капель, их дисперсность и толщину полученного покрытия титана.

На рисунке 3.1.2.4. представлены гистограммы распределения капель (от 1 до 5 мкм) по размеру на поверхностях средней пары образцов. Дисперсность микрокапель выражалась в среднем размере микрокапель для каждого образца. Средний размер капель подсчитывался по методу секущих на 10 произвольных участках поверхности.

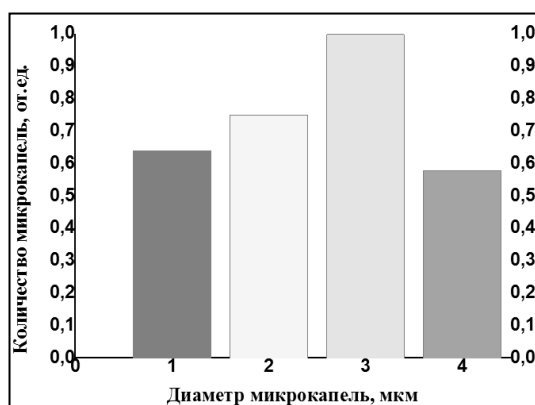


Рисунок 3.1.2.4. Гистограммы распределения микрокапель (от 1 до 5 мкм) по размеру на поверхностях двух образцов; а) вертикальный образец, б) горизонтальный образец; расстояние до поверхности испарителя 55 см; ток испарителя 50 А.

В таблицах 3.1.2.1. и 3.1.2.2. предоставлены, соответственно, данные о распределении размера микрокапель и толщине покрытий на всех образцах при различных токах разряда дугового испарителя.

Таблица 3.1.2.1. Распределение размеров микрокапель на образцах при разных токах разряда дугового испарителя

Ток разряда дугового испарителя 50А										
№ образца	Ориентация относительно поверхности испарителя	Расстояние до пов-ти испарителя, см	Приближенный размер микрокапель, мкм							Дисперсность, мкм
			<1	1	2	3	4	5	>5	
			Среднее количество микрокапель, от. ед.							
2	Вертикальный	55	0,12	0,64	0,76	1	0,57	0,21	0,07	2,58
3		95	–	0,45	0,53	0,62	1	0,48	0,34	3,75
5	Горизонтальный	55	0,09	0,69	0,68	1	0,49	0,37	0,10	2,48
6		95	–	0,42	0,57	0,74	1	0,38	0,03	3,85
Ток разряда дугового испарителя 100А										
№ образца	Ориентация	Расстояние до пов-ти испарителя, см	Приближенный размер микрокапель, мкм							Дисперсность, мкм
			<1	1	2	3	4	5	>5	
			Среднее количество микрокапель, от. ед.							
2	Вертикальный	55	0,12	0,64	0,76	1	0,57	0,21	0,07	2,58
3		95	–	0,45	0,53	0,62	1	0,48	0,34	3,75
5	Горизонтальный	55	0,09	0,69	0,68	1	0,49	0,37	0,10	2,48
6		95	–	0,42	0,57	0,74	1	0,38	0,03	3,85
Ток разряда дугового испарителя 150А										
№ образца	Ориентация	Расстояние до пов-ти испарителя, см	Приближенный размер микрокапель, мкм							Дисперсность, мкм
			<1	1	2	3	4	5	>5	
			Среднее количество микрокапель, от. ед.							
2	Вертикальный	55	0,12	0,64	0,76	1	0,57	0,21	0,07	2,58
3		95	–	0,45	0,53	0,62	1	0,48	0,34	3,75
5	Горизонтальный	55	0,09	0,69	0,68	1	0,49	0,37	0,10	2,48
6		95	–	0,42	0,57	0,74	1	0,38	0,03	3,85

Таблица 3.1.2.1. Толщина покрытия титана на образцах при разных токах разряда дугового испарителя

Ток разряда дугового испарителя 50А					
№ образца	Ориентация относительно поверхности испарителя	Расстояние до пов-ти испарителя, см	Размер большего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм	Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм	Толщина покрытия титана, мкм
2	Вертикальный	55	7,2	6,8	0,75
3		95	7,5	7,4	0,54
5	Горизонтальный	55	7,9	7,7	0,61
6		95	8,2	8,0	0,43
Ток разряда дугового испарителя 100А					
№ образца	Ориентация относительно поверхности испарителя	Расстояние до пов-ти испарителя, см	Размер большего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм	Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм	Толщина полученного покрытия титана, мкм
2	Вертикальный	55	6,3	5,2	1,12
3		95	6,8	6,3	0,74
5	Горизонтальный	55	7,4	6,9	0,95
6		95	7,7	7,4	0,51
Ток разряда дугового испарителя 150А					
№ образца	Ориентация относительно поверхности испарителя	Расстояние до пов-ти испарителя, см	Размер большего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм	Размер меньшего отпечатка после КАЛОТЕСТА, мкм	Толщина покрытия титана, мкм
2	Вертикальный	55	5,7	5,1	2,26
3		95	6,3	5,9	1,63
5	Горизонтальный	55	7,8	7,3	1,86
6		95	7,9	7,5	1,14

На основании полученных данных о распределении микрокапельной фракции титана на поверхностях образцов и росте покрытия были сделаны выводы о наиболее оптимальном расстоянии для дальнейших исследований. Исходя из малых скоростей образования покрытия и количества капельной фракции на горизонтальных образцах (в сравнении с вертикальными) было принято решение отказаться от такого положения образцов в дальнейших экспериментах.

3.2 Влияние анодного потенциала образцов на процессы роста покрытия и осаждения продуктов эрозии титанового катода

Исходя из первого эксперимента (пункт 3.1.2. настоящей диссертации) было решено проводить дальнейшие исследования на образце расположенном в 55 см от поверхности титанового катода и установленного параллельно его поверхности.

Целью дальнейших экспериментов было выбрано исследование способов минимализации покрытия, т.е. создания оптимальных условий осаждения микрокапель на подложке с наименьшим покрытием. Согласно физическим принципам работы вакуумно-дугового метода нанесения покрытий заряженные в низкотемпературной плазме разряда частицы(ионы) катода движутся на подложку под действием электрических сил. Ионы имеют положительны электрический заряд. В случае если потенциал подложки сменить с отрицательного на положительный она начнет отталкивать положительные ионы. Продукты эрозии катода не имеют заряда и движутся строго по баллистической траектории, в связи с чем знак потенциала подложки не отражается на их осаждении на поверхности образца. Исходя из этого, было принято подать на образец потенциал анода (стенок вакуумной камеры). Шток с образцом устанавливался на пластинку из диэлектрика (асбеста), для предотвращения двойного контакта образца со стенками камеры, и соединялся со стенкой камеры при помощи ленты из нержавеющей стали. Напыление производилось в течении 45 мин при следующих токах дугового испарителя: 30, 60, 90 А; ток плазмогенератора

10 А; рабочее давление 2×10^{-3} . На рисунке 3.1.3.1. представлено сопоставление морфологий поверхности образца до и после вакуумно-дугового напыления покрытия титана при токе дугового испарителя 60 А и анодном потенциале подложки.

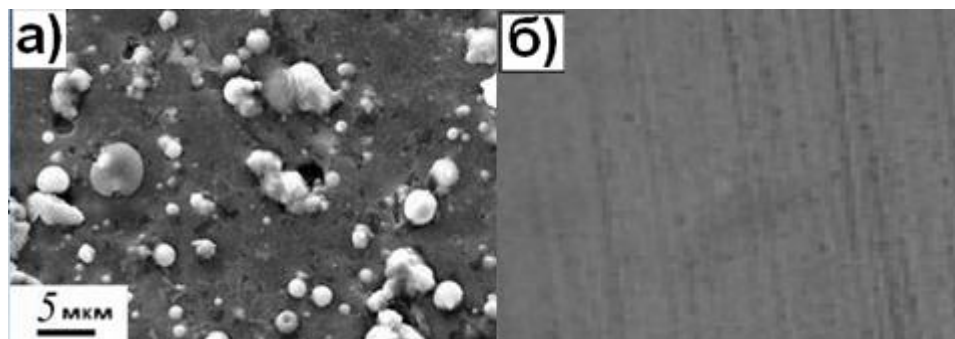


Рисунок 3.2.1. Морфологии поверхностей образца б) до напыления а) после нанесения покрытия титана; расстояние до поверхности катода 55 см; время напыления 45 мин; ток испарителя 60 А. Растровая электронная микроскопия

На рисунке 3.2.2. представлены гистограммы распределения капель по размеру на поверхностях средней пары образцов. Дисперсность микрокапель выражалась в среднем размере микрокапель для каждого образца. Средний размер капель подсчитывался по методу секущих на 10 произвольных участках поверхности.

Из рисунка 3.2.1. наглядно видно, что поверхность образца изменилась после напыления. Это свидетельствует об осаждении на подложке покрытия титана.

Образец был подвергнут испытанию «КАЛОТЕСТ» (рисунок 3.2.3), которое выявило на поверхности титановое покрытие.

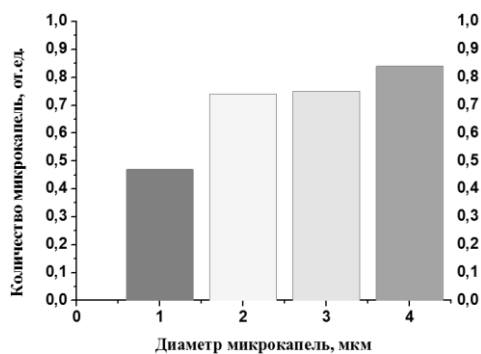


Рисунок 3.2.2. Гистограмма распределения микрокапель по размеру на поверхности образца; расстояние до поверхности испарителя 55 см; ток испарителя 60 А.

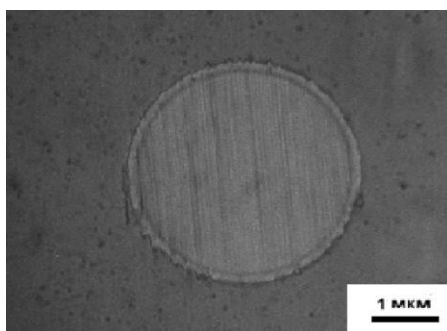


Рисунок 3.2.3. Внешний вид поверхности образца с кратером износа, полученным по методу КАЛОТЕСТ; расстояние до поверхности катода 55 см; пленка – покрытие Ti, подложка – нержавеющая сталь 12ХН10Т, время напыления 45 мин, ток испарителя 60 А, давление в камере 2×10^{-3} .

Данные о распределении размера микрокапель и толщине покрытий на всех образцах при различных токах разряда дугового испарителя приведены, соответственно, в таблицах 3.2.1. и 3.2.2.

Таблица 3.2.1. Распределение размеров микрокапель на образцах при различных токах разряда дугового испарителя

№	Ориентация относительно испарителя	Ток разряда, А	Приближенный размер микрокапель, мкм							Дисперсность, мкм
			<1	1	2	3	4	5	>5	
			Среднее количество микрокапель, от. ед.							
1	Вертикально	30	0,12	0,64	0,76	1	0,57	0,21	0,07	2,58
2		60	–	0,45	0,53	0,62	1	0,48	0,34	3,75
3		90	0,09	0,69	0,68	1	0,49	0,37	0,10	2,48

Таблица 3.2.2. Толщина покрытия титана на образцах при различных токах разряда дугового испарителя

№ образца	Расстояние до пов-ти испарителя, см	Ток разряда, А	Размер большего отпечатка индентора КАЛОТЕСТА, мкм	Размер меньшего отпечатка индентора КАЛОТЕСТА, мкм	Толщина покрытия титана, мкм
2	55	30	6,5	5,4	0,31
3		60	5,7	5,3	0,35
5		90	5,5	4,9	0,43

Осаждение на поверхности подложки, кроме продуктов эрозии катода, покрытия титана объясняется тем, что металл в низкотемпературной плазме, в результате ионизации, получает заряд. Это явление носит название плавающий потенциал.

Дальнейшие эксперименты по минимизации осаждаемого покрытия решено было проводить при помощи экранирования образца.

3.3. Осаждения покрытия в низкотемпературной плазме дугового разряда при различных режимах экранирования подложки

Уменьшать толщину наносимого покрытия титана, было решено при помощи экрана, отталкивающего ионы, но пропускающего поток капельной фракции испарителя. В качестве такого экрана была выбрана сетка из нержавеющей стали (рисунок 3.3.1.).

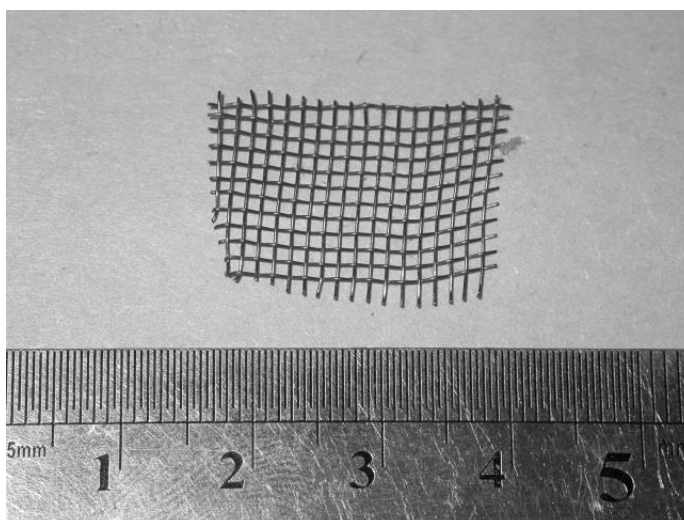


Рисунок 3.3.1. Фрагмент сетки используемой в качестве экрана; материал 12Х18Н; размер ячейки $\approx 1 \times 1$ мкм; толщина проволоки 250 мкм; прозрачность ≈ 70 %

В случае различных вариаций потенциалов экрана и подложки распространение ионов будет меняться, в то время как траектория движения продуктов эрозии катода не должна существенно поменяться.

На рисунке 3.3.2. представлены фотографии размещения образцов в вакуумной камере. Все режимы проводимых экспериментов указаны 3.3.1.

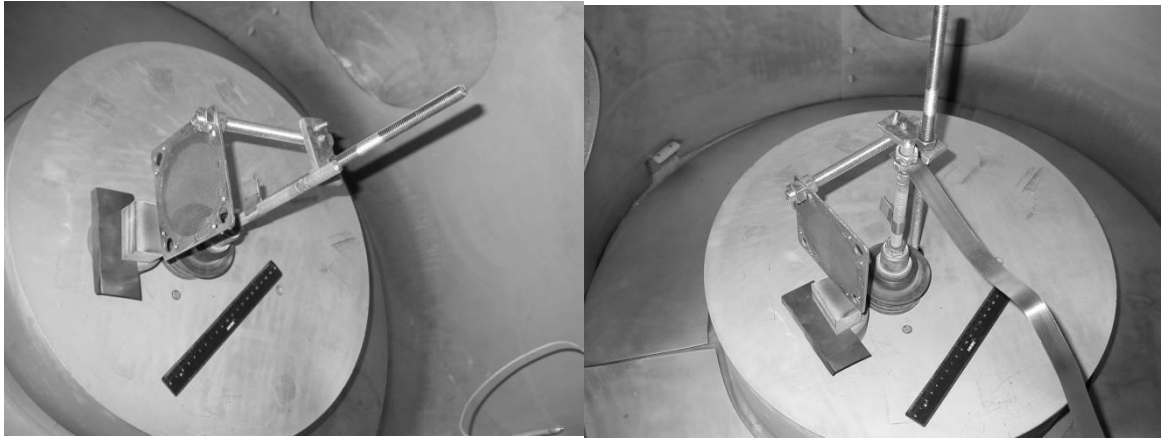


Рисунок 3.3.2. Фотографии размещения образца в вакуумной камере а) без анодного потенциала на экране, б) с анодным потенциалом на экране

Таблица 3.3.1. Описание и режимы проводимых экспериментов

№	Описание эксперимента	Потенциал смещения, В	Потенциал анода, В	Ток дугового испарителя, А	Рабочее давление, мм. рт. ст.
1	Экран под потенциалом анода, потенциал подложки плавающий	14	400В	50 А	5×10^{-4}
2	Экран под плавающим потенциалом, подложка под анодным потенциалом				
3	Экран и подложка под плавающим потенциалом				

В первом случае экранирующая сетка находилась под потенциалом смещения $U_{см} = -400$ В, а подложка была установлена на изолированный от стенок камеры шток и имела плавающий потенциал ≈ -14 В. Экран будет притягивать отрицательно заряженные ионы титана, т.е. покрытие должно осаждаться только на сетке.

В следующем эксперименте экран находился под плавающим потенциалом ≈ -14 В, а подложка была соединена лентой из нержавеющей стали со стенками камеры (анодом).

Последний эксперимент совмещал в себе потенциал смещения экрана и подложки.

3.4. Характерные особенности эрозии титанового катода в дуговом разряде

Автоэлектронная эмиссия из катода возникает под воздействием низкотемпературной плазмы. Источником плазмы в нашем случае является дуговой разряд, хаотично «бьющий» по поверхности титанового катода. Катодное пятно в месте соприкосновения дуги и металла создает зону плавления. Микрочастицы расплавленного металла имеют размеры до 10 мкм в диаметре. В потоке частиц имеются и капли nano размеров, однако осаждаясь на подложку, они сплавляются между собой и становятся частью покрытия. Крупные капли (>5 мкм), за счет своей инерции, разбиваются о поверхность и теряют сферическую форму.

Главной целью данного исследования были микрокапли размером от 1 до 5 мкм. Имея не такую большую инерцию, чтобы разбиться о поверхность подложки они, в тоже время, обладают достаточным размером, чтобы не слиться в покрытие. На рисунке 3.4.1. представлена фотография микрокапли, размером $\approx 3,5$ мкм, на поверхности одного из образцов.

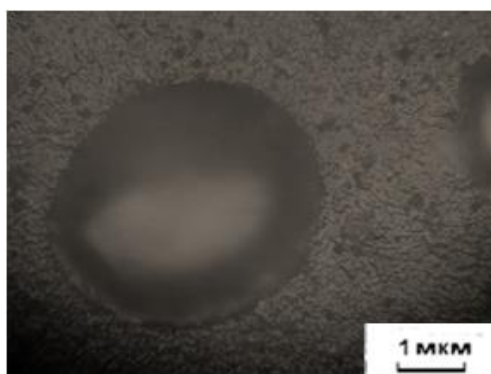


Рисунок 3.4.1. Капля чистого титана на покрытии; расстояние до поверхности катода 55 см; ток накала испарителя 90 А; потенциал смещения подложки 200 В; увеличение x1000

Капельная фракция катода состоит практически из чистого титана[4] и имеет следующий состав: $\approx 98,96\%$ Ti, $\approx 0,08\%$ N, $\approx 0,05\%$ C, $\approx 0,4\%$ H, $\approx 0,4\%$ Fe+Ni, $\approx 0,1\%$ Si, $\approx 0,004\%$ Cl. Из рисунка 3.4.1. видно что осаждаемые на поверхности образца капли имеют (в отличии от современных порошков титана) чёткую сферическую форму. Однако капли «замуровываются» в покрытие, что затрудняет их последующее снятие с подложки.

Важной особенностью осаждаемых капель является то, что они не образуют адгезионной связи с подложкой. На поверхности их удерживает покрытие. Рисунок 3.4.2. наглядно демонстрирует лунку, оставшуюся после выпадения капли.

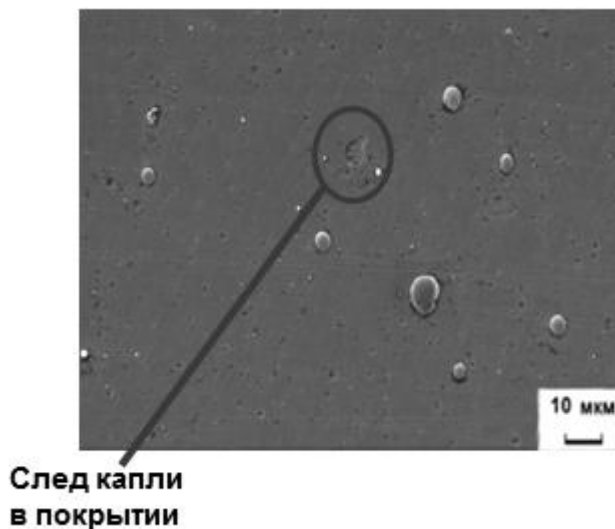


Рисунок 3.1.2.1. Морфология поверхности образца после нанесения покрытия титана; ориентация относительно испарителя: горизонтальный; расстояние до катода 95 см; время напыления 45 мин; ток испарителя 100 А; растровая электронная микроскопия.

В случае, когда осаждение покрытия не произойдет, микрокапли на поверхности образца будут удерживаться только лишь силами статического притяжения.

ВЫВОДЫ К РАЗДЕЛУ 3

В результате нанесения покрытия титана вакуумно-дуговым методом, были экспериментально исследованы процессы по синтезу покрытия на основе Ti и ультрадисперсных (микрометрических) продуктов эрозии катода. Визуальный анализ подложек и их испытание по методу КАЛОТЕСТ показали наличие покрытий различной толщины на всех образцах. Также было проанализировано распределение микрокапель титана на каждом из образцов.

В следующей главе будут рассмотрены морфология полученных покрытий и распределение капельной фракции, а также их зависимости от основных параметров процесса электродугового осаждения.

ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЯ И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ЭРОЗИИ КАТОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОБОРУДОВАНИЯ

4.1 Влияние расположения детали и тока накала дугового испарителя на характеристики полученного покрытия.

В результате проведенных экспериментов (глава 3 настоящей диссертации) были выявлены зависимости свойств и структуры полученных тонких пленок титана от различных условий эксперимента. Самым ярким примером является зависимость структуры поверхности от расстояния между подложкой и катодом. На рисунке 4.1.1. показана фотография покрытия полученного на подложке расположенной в 25 см от поверхности катода, при токе испарителя 50 А.

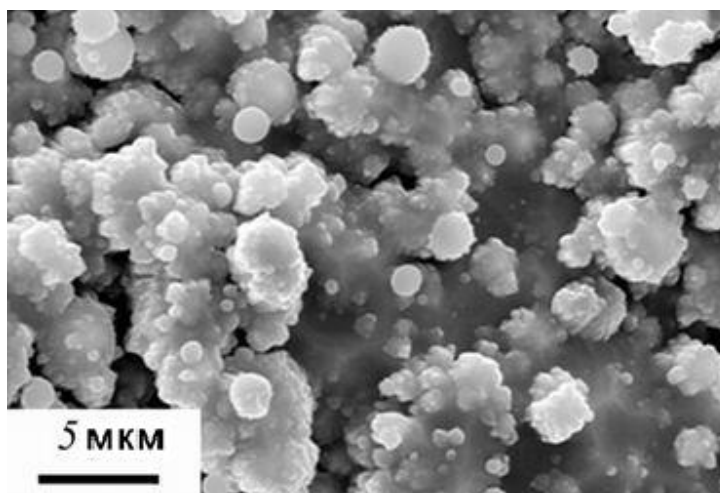


Рисунок 4.1.1. Морфология поверхности вертикального образца после нанесения покрытия титана, расстояние до поверхности катода 25 см, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А. Растровая электронная микроскопия

При увеличении тока накала дугового испарителя «рыхлое» покрытие будет образовываться на бóльших расстояниях до испарителя. Для тока накала 150 А зона образования «рыхлого» покрытия составляет ≈ 37 см от поверхности катода. С уменьшением тока зона рыхлого покрытия будет несколько уменьшаться. Наглядно эта зависимость продемонстрирована на рисунке 4.1.2.

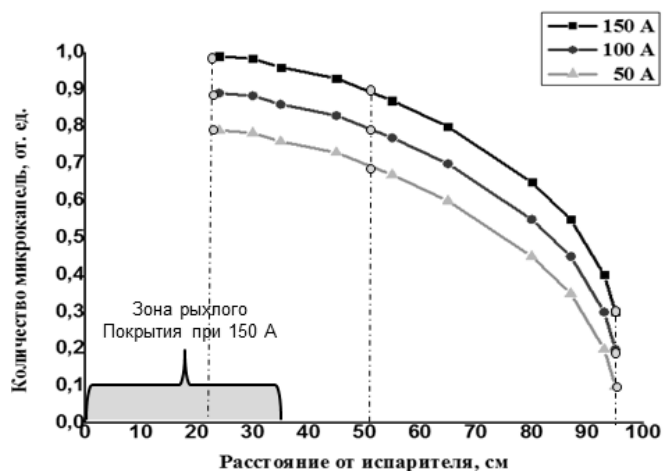


Рисунок 4.1.2. График зависимости количества капельной фракции от расстояния до испарителя при разных токах накала

Из графика видно как уменьшается количество микрокапель при удалении исследуемых образцов от испарителя. Причем при бóльших токах возрастает процент крупных капель (>5мкм). Кроме числа микрокапель на бóльших удалениях от испарителя заметно уменьшается и толщина осаждаемого покрытия (рисунок 4.1.3.).

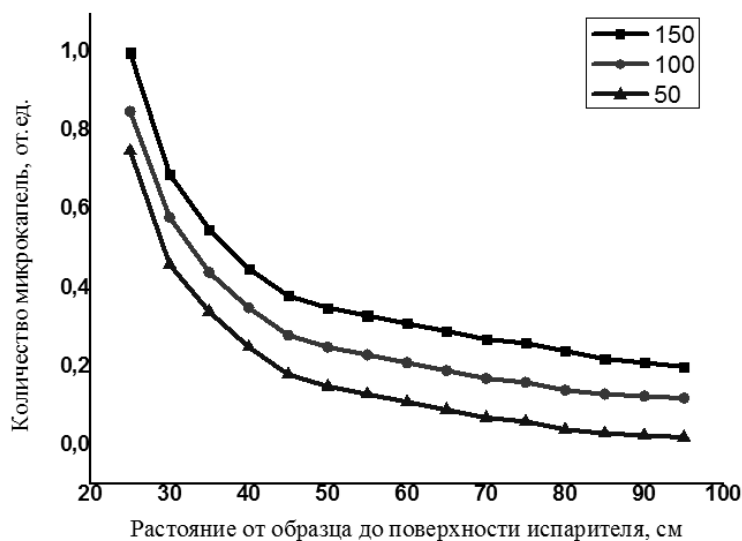


Рисунок 4.1.3. График зависимости толщины покрытия титана от расстояния до испарителя при разных токах накала

Толщина осаждаемого слоя покрытия, как и количество микрокапель, имеет ярко выраженную зависимость от параметров самого процесса (расположения подложки и режимов оборудования). Исследования показали, что при увеличении или уменьшении толщины осаждаемого титанового покрытия наблюдается подобное изменение и степени эродирования катода.

4.2 Анализ зависимости количества микрокапельной фракции титана от плавающего потенциала подложки.

Как продемонстрировано в 3й главе настоящей диссертации, подключение исследуемого образца к потенциалу анода не предотвращает ионную бомбардировку подложки, а лишь ослабляет её. Однако нельзя не отметить, что плавающий потенциал препятствует росту покрытия, не значительно влияя на процесс осаждения микрокапель. В данном случае на подложке наблюдалось резкое уменьшение количества микрокапель малых размеров (до 1мкм). Это вызвано тем, что имея относительно малую массу такие капли «обрастают» электронной оболочкой, т.е. получают заряд в ионном потоке, и начинают поддаваться влиянию магнитных полей, двигаясь вслед за заряженными частицами.

Плавающий потенциал в низкотемпературной плазме постоянен и равен примерно -14В [3]. Исходя из [3], при различных режимах эксперимента потенциал смещения если и меняется, то незначительно (максимум на 0,03В).

При постоянном плавающем потенциале изменение режимов оборудования оказывает, схожее влияние на процесс осаждения микрокапель как и без анодного потенциала образца. Наглядно этот факт продемонстрирован на рисунке 4.2.1.

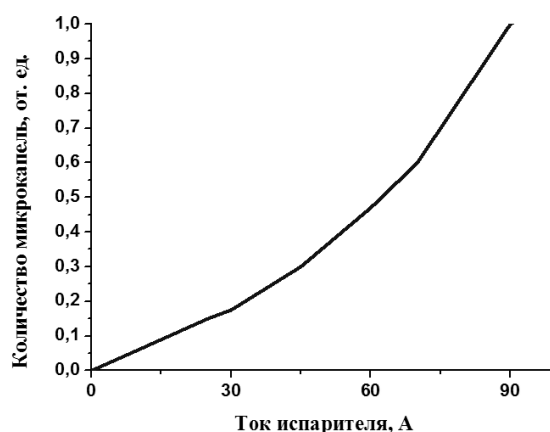


Рисунок 4.2.1. График зависимости количества капельной фракции от тока дугового испарителя

4.3 Исследование влияния экранирования подложки сеточным электродом на процесс осаждения покрытия и капельной фракции титана.

Представленные в предыдущей главе результаты позволяют предположить, что на уменьшение плотности микрочастиц на поверхности образца оказывают влияние множество факторов, включая торможение и отражение заряженных микрочастиц в электрическом поле слоя разделения зарядов потенциальной мишени в плазме.

Для определения вклада эффектов торможения и отражения микрочастиц, а также ионного распыления и других возможных факторов в общую динамику уменьшения поверхностной плотности микрочастиц были выполнены эксперименты с различным включением дополнительного сеточного электрода, расположенного перед поверхностью мишени. В качестве дополнительного сеточного электрода была выбрана сетка из нержавеющей стали 12ХН18Т с размером ячейки 1×1 мкм при общей прозрачности 0,73. Сетка устанавливалась на расстоянии 20 см перед образцом параллельно его плоскости.

4.3.1 Осаждения покрытия в низкотемпературной плазме дугового разряда при анодном потенциале экрана и плавающем потенциале образца.

Для определения степени образования микрочастиц первоначально была определена закономерность изменения их плотности на мишени при обычном осаждении плазмы и микрочастиц в условиях наличия сеточного электрода перед подложкой. В этом случае сетка имела потенциал анода, а образец находился под плавающим потенциалом. Все режимы проведенного эксперимента предоставлены в таблице 4.3.1.1..

Таблица 4.3.1.1. Параметры эксперимента

Расстояния между экраном и образцом, см	20
Ток дугового испарителя, А	50
Ток накала, А	100

Рабочее давление, мм.рт.с.	5×10^{-4}
Потенциал экрана, В	-400
Потенциал образца, В	-14

Исходя из физических принципов работы вакуумно-дугового метода напыления, экран должен притянуть на себя всю ионную составляющую плазменного потока, но никак не повлиять на распространение продуктов эрозии катода.

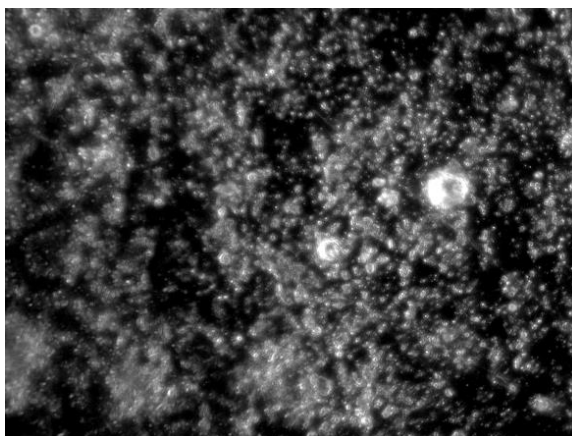


Рисунок 4.3.1.1. Морфология поверхности образца после нанесения покрытия титана, расстояние до поверхности катода 55 см, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А, потенциал экрана -400 В, потенциал подложки -14В. Оптическая микроскопия.

На рисунке 4.3.1.1. представлена морфология полученного покрытия титана. После исследования образца по методу «Calotest» было выявлено, что образец все же имеет слой покрытия толщиной 0,3 мкм (рисунок 4.3.1.2.).

Результат первого эксперимента не оправдал ожиданий. Покрытие на образце образовалось, хоть и относительно малой толщины. В ходе анализа морфологии поверхности были сделаны выводы, что покрытие образовалось целиком из капель малых размеров (до 0,5 мкм). На рисунке 4.3.1.1. мы можем наблюдать белые пятна – зоны начала образования покрытия, которые являются слившимися микрокаплями. При слиянии большого числа таких зон образуется покрытие. Однако на микрокапли размером >1 мкм экран, как и предполагалось, не повлиял (рисунок 4.3.1.3.).

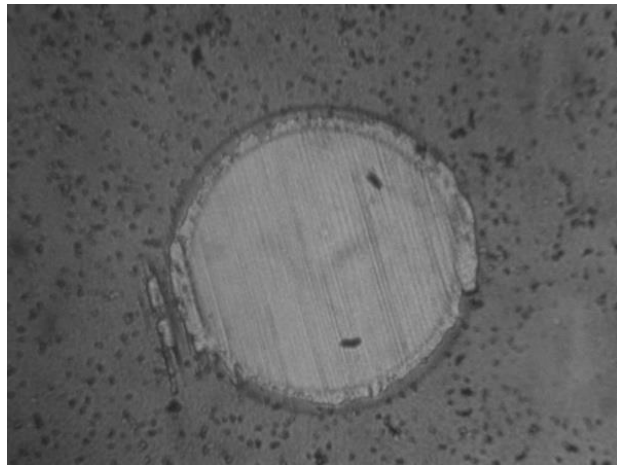


Рисунок 4.3.1.1. Внешний вид поверхности образца с кратером износа, полученным по методу КАЛОТЕСТ; расстояние до испарителя 55 см, пленка – покрытие Ti, подложка – нержавеющая сталь 12ХН10Т, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А, толщина покрытия 0,3 мкм.

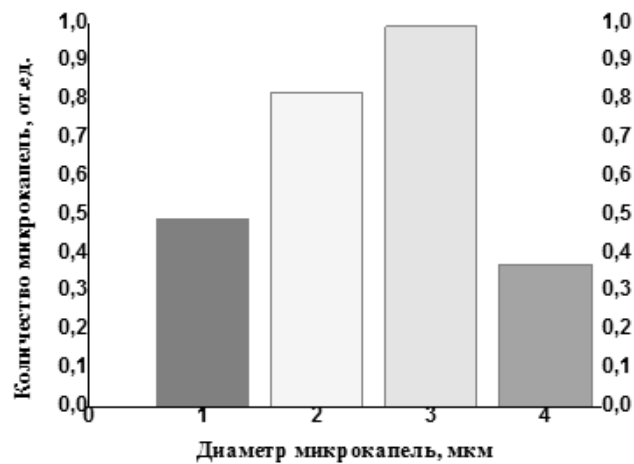


Рисунок 4.3.1.3. Гистограмма распределения микрокапель по размеру на поверхности образца при анодном экранировании; расстояние до поверхности испарителя 55см; ток испарителя 50 А; потенциал экрана -400 В; потенциал подложки -14В.

4.3.2 Осаждения покрытия в низкотемпературной плазме дугового разряда при экранировании подложки плавающим потенциалом.

Для более детального анализа физических механизмов осаждения поверхностного слоя были проведены еще два эксперимента. Во втором случае на исследуемый образец подавался потенциал смещения анода -400В, а экран, при этом, находился под плавающим потенциалом ($\approx -14В$). Параметры эксперименты оставались неизменны с предыдущего эксперимента (таблица 4.3.1.1).

В таком варианте экранирования сеточный электрод должен отталкивать положительно заряженные ионы титана в меньшей степени (по сравнению с предыдущим экспериментом), однако сам образец будет отражать часть ионной фазы. На распространение продуктов эрозии катода (микрокапли) он, как и ранее, не должен оказывать серьёзного воздействия.

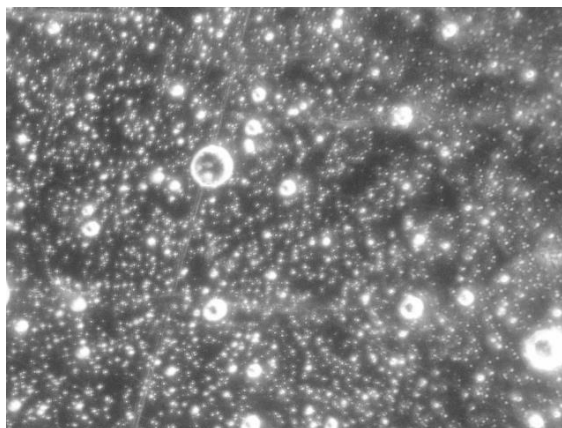


Рисунок 4.3.2.1. Морфология поверхности образца после нанесения покрытия титана, расстояние до поверхности катода 55 см, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А, потенциал экрана -14 В, потенциал подложки -400В. Оптическая микроскопия.

На рисунке 4.3.2.1. мы видим морфологию полученного образца. Покрытие, полученное в этом случае, имело толщину 0,37 мкм (рисунок 4.3.2.3.). Здесь, как и ранее, можно наблюдать пятна сливающихся капель, но такие зоны стали менее выраженными. Важно отметить большее наличие капельной фракции титана и, в особенности, крупных микрокапель (> 5мкм). Наглядно этот факт представлен на рисунке 4.3.2.2.

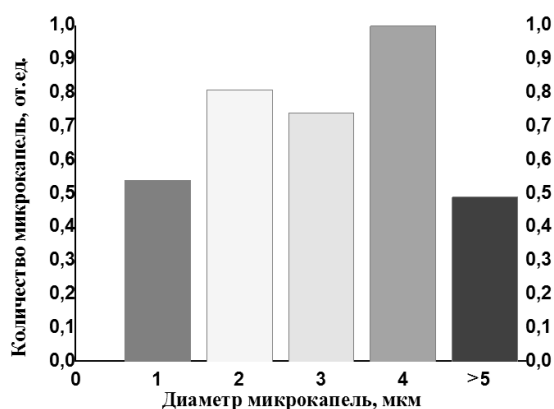


Рисунок 4.3.2.2. Гистограмма распределения микрокапель по размеру на поверхности образца при анодном экранировании; расстояние до поверхности испарителя 55см; ток испарителя 50 А; потенциал экрана -400 В; потенциал подложки -14В.

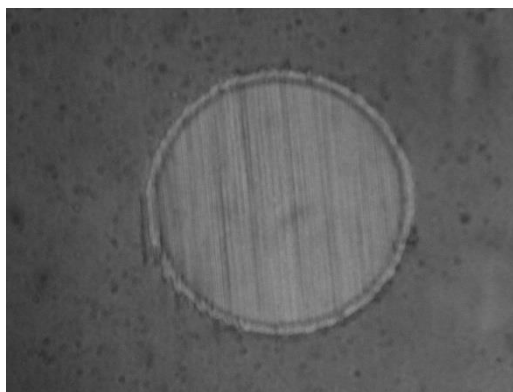


Рисунок 4.3.2.3. Внешний вид поверхности образца с кратером износа, полученным по методу КАЛОТЕСТ; расстояние до испарителя 55 см, пленка – покрытие Ti, подложка – нержавеющая сталь 12ХН10Т, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А, толщина покрытия 0,37 мкм.

4.3.3 Осаждения покрытия в низкотемпературной плазме дугового разряда при экранировании без потенциала смещения анода.

Последний эксперимент заключался в том, что и сеточный экран и подложка находились под плавающим потенциалом смещения ($\approx -14\text{В}$). Остальные параметры эксперимента не изменялись (таблица 4.3.1.1.). На рисунке 4.3.3.1. мы видим морфологию полученного образца. Покрытие, полученное в этом случае, имело толщину 0,53 мкм (рисунок 4.3.3.2.).

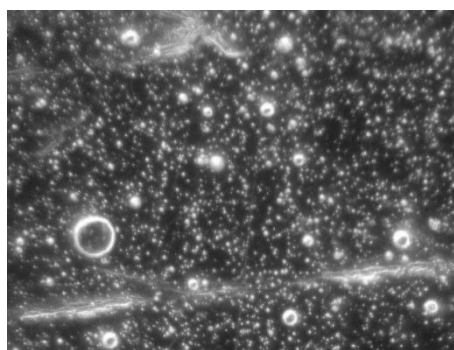


Рисунок 4.3.3.1. Морфология поверхности образца после нанесения покрытия титана, расстояние до поверхности катода 55 см, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А, потенциал экрана -14 В, потенциал подложки -14В. Оптическая микроскопия.

Из морфологии полученной поверхности можно сделать вывод о меньшей степени влияния микрокапель размером до 1 мкм на осаждаемое покрытие, т.к. почти отсутствуют зоны слияния капель (белые пятна). Следовательно, в данном варианте эксперимента на толщину осаждаемого

слоя большее влияние оказала ионная фаза плазменного потока. Еще одной отличительной особенностью этого эксперимента можно отметить большое количество микрокапель от 1 до 5 мкм (в сравнении с двумя предыдущими экспериментами).

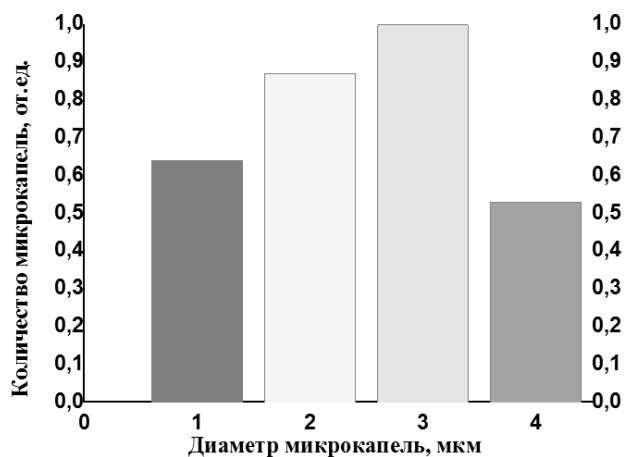


Рисунок 4.3.3.3. Гистограмма распределения микрокапель по размеру на поверхности образца при анодном экранировании; расстояние до поверхности испарителя 55см; ток испарителя 50 А; потенциал экрана -400 В; потенциал подложки -14В.

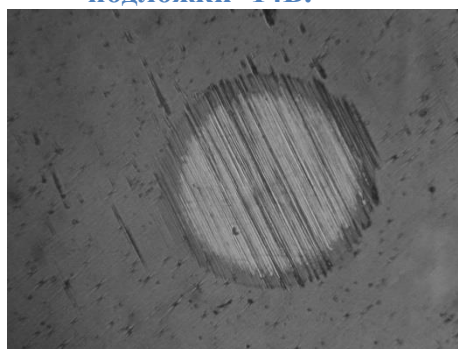


Рисунок 4.3.3.2. Внешний вид поверхности образца с кратером износа, полученным по методу КАЛОТЕСТ; расстояние до испарителя 55 см, пленка – покрытие Ti, подложка – нержавеющая сталь 12ХН10Т, время напыления 45 мин, ток испарителя 50 А, толщина покрытия 0,53 мкм.

ВЫВОДЫ К ЧЕТВЕРТОМУ РАЗДЕЛУ

В экспериментах с дополнительным сеточным электродом из нержавеющей стали при прозрачности сетки 0,70 и различных вариациях потенциалов экрана с подложкой было установлено, что экранирование образца при различных режимах крайне не однозначно отражается на осаждаемом слое. Исходя из чего, были сделаны выводы, что процесс распределения на поверхности ионной и капельной фракций определяется комплексом различных механизмов, включая:

– ионное распыление, вклад которого в уменьшение поверхностной плотности микрочастиц зависит от времени ионно-плазменной обработки мишени.

– непосредственное взаимодействие микрочастиц с потенциальным образцом в условиях низкотемпературной плазмы дугового разряда.

– влияние на движение микрокапель и, в особенности заряженных ионов, потенциала, накапливаемого оснасткой в плазме дугового разряда.

**Форма задания для раздела магистерской диссертации
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

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

Студенту:

Группа	ФИО
4AM51	Дьякин Фёдор Иванович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ФВТМ
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Машиностроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i>
2. <i>Сегментирование рынка</i>
3. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
4. <i>Диаграмма FAST</i>
5. <i>Матрица SWOT</i>
6. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
7. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>
8. <i>Потенциальные риски</i>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM51	Дьякин Фёдор Иванович		

ГЛАВА 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ

5.1. SWOT-анализ

В настоящей работе рассмотрены экспериментальные исследования технологического процесса и параметров порошкового материала, получаемого при распылении дугой титанового электрода в вакууме.

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 5.1.1. –Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно исследовательского проекта: С1. Актуальность темы. С2. Уникальность экспериментов. С3. Высококвалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно исследовательского проекта: Сл1. Большие затраты на комплексное оборудование. Сл2. Необходимость разработки нового оборудования. Сл3. Вероятность получения брака.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Вероятность получить бюджетное финансирование. В3. Возможность использования широкомасштабного применения технологии в производстве В4. Участие в грантах В5. Использование консультаций специалистов.</p>	<p>С1В2 – возможность получения нового продукта С1В3 - упрощение внедрения технологии в производство за счет варьирования состава</p>	<p>В1Сл4 –при наличии дополнительного оборудования можно предотвратить возможность появления первоначального брака</p>

<p>Угрозы: У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований. У2. Задержка финансирования проекта.</p>	<p>С1У1-возможность создания более модифицированного и качественного конкурентоспособного оборудования. С2 У2- осаждение на поверхности подложки покрытия титана.</p>	
---	---	--

5.2. Инициация проекта

Таблица 5.2.1. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Машиностроительные предприятия	Предоставление микрометрических порошков титана с правильной формой поверхности без необходимости последующей сфероидизацией.
Научно-исследовательские институты	Режимы получения микрометрических титановых порошков вакуумно-дуговым методом. Параметры порошкового материала получаемого при распылении дуговым разрядом титанового катода в вакууме.

Таблица 5.2.2. Цели и результат проекта

Цели проекта:	Экспериментальное изучение режимов технологического процесса и параметров порошкового материала, получаемого при распылении дугой титанового электрода в вакууме.
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка оптимальных режимов получения порошков титана в дуговом разряде
Критерии приемки результата проекта:	Законченная научно-исследовательская работа, авторы которой имеют список публикаций и участие на международных конференциях.
Требования к результату проекта:	<p>Требования:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Результат проекта должен иметь актуальное теоретическое и практическое значение 2. Наглядные иллюстрации (графики и диаграммы) 3. Выполнения проекта в срок

5.3. Организационная структура проекта

Таблица 5.3.1. Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, дни
	Гончаренко И.М., доцент, к.т.н. Место работы: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, доцент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта, полученных в ходе проекта, редактирование и издание статей, патентов.	62
	Дьякин Ф.И., магистрант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет	Исполнитель по проекту	Отвечает за выполнение научно-исследовательских работ, получение и обработку результатов, поиск литературных данных о схожих разработках ученых по всему миру, написание статей и магистерской диссертации по итогам работы.	600
ИТОГО:				662

5.4. Ограничения и допущения проекта

Таблица 5.4.1. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	173089,4 руб.
3.1.1. Источник финансирования	ИФПМ СО РАН
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2015
3.2.2. Дата завершения проекта	16.06.2017

Бюджет научного проекта

Таблица 5.4.2. Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Нержавеющая сталь	12ХН10Т	2 кг	57	114
Катод титановый		1		400
Баллон Аргона		20 л.	750	15000
Алмазная паста	АСМ 28/20	3 шт	1200	3600
	АСМ 1/0	3 шт	120	360
Нождачная бумага		20 шт.	45	900
Всего за материалы				20374
Транспортно-заготовительные расходы				1000
Итого по статье С_м				21374

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

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

Таблица 5.4.3. Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Срок службы, Т, дни	Время эксплуатации, t, дни	N _a норма амортизации	Амортизационные отчисления, руб.
Вакуумная ионно-плазменная установка типа ННВ 6.6- И 1	1300000	5475	10	0,00018	2340

Микроскоп МБР 3	300000	3650	15	0,0002	900
Микротвердомер ПМТ-3	250000	5475	10	0,00018	450
ИТОГО					3690

Таблица 5.4.4. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	66	593
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	18	168
- праздничные дни	0	24
Потери рабочего времени		
- отпуск	0	28
- невыходы по болезни	0	10
Действительный общий фонд рабочего времени	48	363
Действительный годовой фонд рабочего времени	24	182

Заработная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени. Расчет заработной платы персоналу сведен в таблицу

Таблица 5.4.5. Расчет заработной платы

Исполнители	Количество	Зарплата, руб./мес.	Количество отработанных дней	Всего з.п, руб	Дополнительная з.п	Отчисления на социальные нужды
<i>Руководитель</i>	1	26600	67	55823	6698	16746
<i>Исполнитель</i>	1	9000	123	36900	4428	11070
Итого:				92723	11124	27816

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

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

5.3. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

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

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

Отчисления на социальные нужды составляет 27,1 %

5.4. Затраты на электроэнергию

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

Таблица 10 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Мощность, кВт	Время эксплуатации, час	Расход электроэнергии, руб.
Вакуумная ионно-плазменная установка типа ННВ 6.6- И 1	8	80	2790
Микроскоп МБР 3	0,2	120	104,6
Микротвердомер ПМТ-3	0,02	80	6,9
ИТОГО			2901,5

5.5. Затраты на водоснабжение

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

5.6. Затраты на водоотведение

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

5.7. Полная смета затрат на выполнение НИР

Таблица 5.7.1 Полная смета затрат

Статьи	Затраты, руб
Основные и вспомогательные материалы	32320
Амортизационные отчисления	3690
Заработная плата	92723
Дополнительная заработная плата	11124
Отчисления на социальные нужды	27816
Затраты на электроэнергию	2901,5
Затраты на водоотведение	267,6
Затраты на водоснабжение	392,8
Прочие расходы (2% от полной зарплаты)	1854,46
Итого	173089,4

ВЫВОДЫ К ПЯТОМУ РАЗДЕЛУ

Выводы: по результатам SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта. Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

Форма задания для раздела «Социальная ответственность»

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4AM51	Дьякин Фёдор Иванович

Институт	Институт Физики Высоких Технологий	Кафедра	ФВТМ
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

3. Охрана окружающей среды:

- защита селитебной зоны

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	
Перечень графического материала:	
<p>1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</p>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле Александр Владимирович	к.м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ51	Дьякин Фёдор Иванович		

ГЛАВА 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

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

В рамках научно-исследовательской работы, выполнялись исследования режимов технологических процессов и параметров порошка получаемого при распыление титанового катода в вакууме , для этого использовалось следующее оборудование:

1. Установка ионно-плазменная камерная вакуумная, которая предназначена для нанесения на поверхности деталей упрочняющих покрытий и азотирования. Данная установка представляет собой комплекс сложного оборудования, в который помимо рабочей камеры входят, вакуумная система, которая обеспечивает создание в рабочей камере необходимого рабочего давления. Система состоит из клапана с электромагнитным приводом, напускного регулируемого клапана (автоматического натекателя) и электронного блока управления. Электрическая часть служит для электроснабжения установки и управления технологическим процессом. Электроснабжение производится от трехфазной сети напряжением 380 В, цепи управления питаются напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Высоковольтный источник питания, включающий в себя тиристорный преобразователь напряжения, высоковольтный трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения в пределах от 100 до 1500 В. Источник опорного напряжения, включающий в себя тиристорный преобразователь

(общий с высоковольтным источником), трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения от 20 до 280 В; 100

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

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

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

6.1. Техногенная безопасность

6.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

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

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

От микроклимата на рабочем месте зависит состояние здоровья человека и его работоспособность. Не имея возможности эффективно влиять на протекающие в атмосфере климатообразующие процессы, люди располагают качественными системами управления факторами воздушной среды внутри производственных помещений.

Микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной 101 влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой

окружающих поверхностей (ГОСТ 12.1.005 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны").

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

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

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

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

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

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Проект относится к работе средней тяжести (категория Пб), микроклиматические условия на рабочих местах должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 6.1.1:

Таблица 6.1.1 Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте (СанПиН

2.2.4.548-96)

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

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

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

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

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

6.1.2 Вредные вещества

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

При выполнении работы по упрочнению поверхности образцов, в лаборатории используется газы: аргон и азот. Азот и аргон – газы без цвета и запаха (Таблица 6.1.2).

Таблица 6.1.2 Перечень веществ используемых при работе [ГОСТ 12.1.007-76]

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

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

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

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

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

При резком снижении содержания кислорода в атмосфере и, особенно при случайном попадании человека в среду азота или аргона достаточно нескольких вдохов для снижения парциального давления кислорода в крови до критического уровня – наступает потеря сознания, практически

всегда внезапно. Разницы в воздействии на человека аргона или азота при полном вытеснении ими из атмосферы кислорода не существует.

6.1.3 Производственный шум

Шум – всякий нежелательный для человека звук. Звуковые волны возбуждают колебания частиц звуковой среды, в результате чего изменяется атмосферное давление. Шум, который возникает при работе оборудования и превышающий допустимые нормативные значения, воздействует на человека на вегетативную и центральную нервную систему и органы слуха.

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются вакуумная ионно-плазменная установка. Шум в лаборатории не должно превышать 80 дБА. Уровень шума установлен в ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. Уровень шума на рабочем месте инженеров, работающих с компьютером не должен превышать 50 дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65 дБА (ГОСТ 12.1.003-83).

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

Во время действия шума, превышающего 85...90 Гц, чувствительность слуха снижается. Происходит временное понижение порога слышимости (ВПП), которое исчезает после окончания воздействия шума. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма. Действие шума на организм человека не ограничивается воздействием на орган слуха. Патологические изменения, возникшие под влиянием шума, рассматриваются как шумовая болезнь. Это снижение называется слуховой адаптацией и является защитной реакцией организма.

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

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

6.1.4 Расчет уровня шума

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

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

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

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \sum_{j=1}^{j=n} 10^{0.1L_j}$$

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

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

Уровни звукового давления источников шума, действующих на оператора на его рабочем месте, представлены в таблице 6.1.4.

Таблица 6.1.4 Уровни звукового давления различных источников

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

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

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

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

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

6.1.5 Освещенность

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

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

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

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

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового

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

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 8 \times 6 = 48 \text{ м}^2$$

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

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2600$ Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

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

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

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

Число рядов светильников в помещении:

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

Число светильников в ряду:

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

Общее число светильников:

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

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

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

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

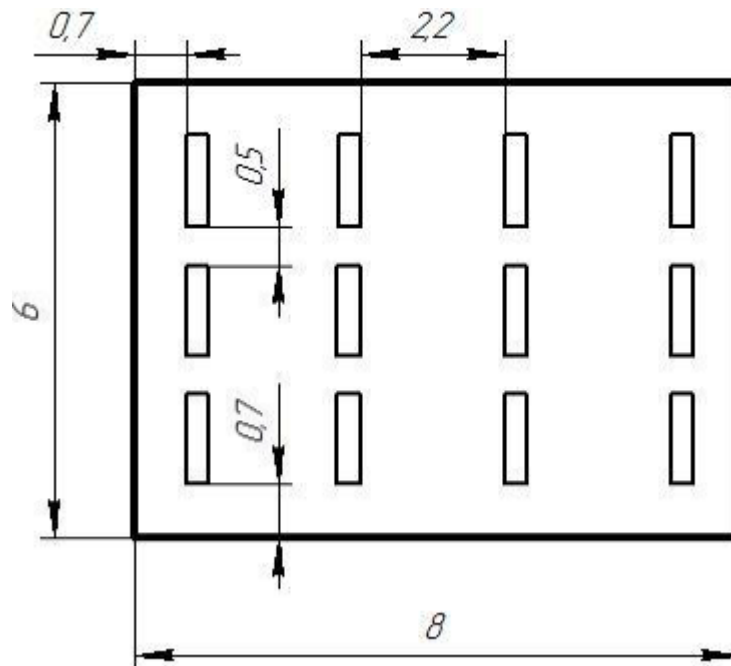


Рисунок 6.2 План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения определяется по формуле:

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

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

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

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

Делаем проверку выполнения условия:

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

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

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

6.2 Анализ опасных факторов производственной среды

6.2.1 Факторы электрической природы

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

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

Последствия поражением электрически током:

- Из-за высокого электрического сопротивления человеческих тканей происходит довольно быстрое их нагревание, что может вызывать ожоги.
- Даже сравнительно малые напряжения, порядка 110—230 В, при кратковременном контакте с грудной клеткой могут вызывать сбой в работе сердечной мышцы (60 мА для переменного тока, 300—500 мА для постоянного). Удар током также используется для восстановления

работы сердца, таким образом устраняя эффект фибрилляции. Такой прибор называется дефибриллятором.

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

- При поражении головы электрическим током возможна потеря сознания.

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

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

6.2.2 Электробезопасность

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

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с

присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

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

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

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

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

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

1. применение изоляции;

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

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

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

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках.

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

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это

отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

6.2.3 Давление

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

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

В лаборатории используются сосуды и аппараты, работающие под давлением. Они являются источником повышенной опасности для окружающих. Основная опасность заключается в том, что в случае разрушения такого сосуда или аппарата может произойти значительное высвобождение энергии вследствие адиабатического расширения газа или пара, - так называемый физический взрыв. Так, мощность взрыва (разрыва) сосуда вместимостью 1 м³, в которой находится воздух под давлением 1 МПа (10 кгс/см²), составляет 13 МВт. Если в сосуде при тех же условиях находится водяной пар, то мощность взрыва уже будет около 200 МВт[43]. В результате такого взрыва могут произойти значительные разрушения и тяжелые травмы людей.

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

- Персонал, обслуживающий сосуды под давлением, обязан:

- Выполнять только ту работу, которая определена рабочей инструкцией.
- Выполнять правила внутреннего трудового распорядка
- Правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты.
- Соблюдать требования охраны труда.
- Немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о каждом несчастном случае, происшедшем на производстве, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков острого профессионального заболевания (отравления);
- Проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, инструктаж по охране труда, проверку знаний требований охраны труда.
- Проходить обязательные периодические (в течение трудовой деятельности) медицинские осмотры (обследования), а также проходить внеочередные медицинские осмотры (обследования) по направлению работодателя в случаях, предусмотренных Трудовым кодексом и иными федеральными законами.
- Уметь оказывать первую помощь пострадавшим от электрического тока, от лазерного излучения и при других несчастных случаях.
- Уметь применять средства первичного пожаротушения.

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

- возможность взрыва в результате неправильной эксплуатации или неисправности оборудования (баллоны с газом, газогенератор);

- газы (длительное вдыхание ацетилена может повлечь за собой головокружение или отравление; пропан-бутан-метановая смесь при больших концентрациях может вызвать отравление); физические перегрузки.

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

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

Техника безопасности при работе с газовыми баллонами:

- Не бросайте баллон.
- Не ударяйте по баллону.
- Поставьте баллон в такое место, в котором он не будет нагреваться, нельзя забывать, что в баллоне находится взрывчатое вещество.
- Держите баллоны в специальном проветриваемом ящике (вне дома) или специальном помещении, не ниже уровня земли (баллонный газ тяжелее воздуха и при утечке собирается в низинах).
- Укрепите баллоны вертикально (не лежа и не наклонно).
- Использованные баллоны не накапливайте, а сразу отправляйте на перезаправку: в каждом баллоне остается немного жидкого газа,

возможны утечки, которые дадут в присутствии искры очень большой эффект.

- Не беритесь незащищенными руками за вентиль, чтобы закрыть его при нагревании баллона или появившемся небольшом язычке пламени у вентиля.
- Накиньте на горячий вентиль мокрую плотную ткань, и уже затем закройте вентиль.
- Помните, утечку газа можно обнаружить с помощью мыльной пены.

При хранении баллонов в помещении персонал обязан знать, что:

а) баллон должен быть в вертикальном положении и надежно укреплен;

б) двери шкафа должны быть оборудованы так, чтобы не было доступа посторонним;

в) хранение баллонов с кислородом и горючими газами

ЗАПРЕЩАЕТСЯ!

г) на баллоны, используемые в работе, должны быть навернуты колпаки.

При транспортировке баллонов эксплуатирующий персонал должен знать, что:

а) при транспортировке баллонов должны быть предусмотрены меры, предотвращающие падение, повреждение и загрязнение баллонов;

б) перевозка баллонов должна производиться на рессорном транспорте или на автокарах в горизонтальном положении обязательно с прокладками между баллонами. В качестве прокладок могут применяться деревянные бруски с вырезанными гнездами для баллонов, а также веревочные или резиновые кольца толщиной не менее 25мм по два кольца на баллон;

- в) баллоны во время перевозки должны укладываться вентилями в одну сторону;
- г) при транспортировании баллонов с ядовитыми и горючими газами на боковых штуцерах вентилях баллонов должны быть поставлены заглушки;
- д) разрешается перевозка баллонов в специальных контейнерах, а также без контейнеров, в вертикальном положении обязательно с прокладками между ними и ограждением от возможного падения;
- е) при перевозке баллоны должны быть защищены брезентом от действия осадков и солнечных лучей;
- ж) погрузка, выгрузка и переноска баллонов должна производиться с осторожностью, не менее чем двумя рабочими;
- з) снимать баллоны с автомашины разрешается только вниз башмаком.

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

- применение гидрозатворов, огнепреградителей, инертных газов или паровых завес;
- защиту аппаратов от разрушения при взрыве с помощью устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны и клапаны, быстродействующие задвижки).

6.2. Региональная безопасность

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

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

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

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

6.2.1 Защита атмосферы

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

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

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

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

6.3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности.

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

Существуют следующие требования по организации рабочих мест:

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

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

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

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

Виды деятельности подразделяются на следующие группы:

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

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

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

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

6.4. Особенности законодательного регулирования проектных решений.

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

12. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха

13. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

14. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

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

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

Графические материалы

1) Освещенность на рабочем месте

2) Пути эвакуации

6.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

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

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

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще

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

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

6.5.1 Факторы пожарной и взрывной природы

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

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

Помещение лаборатории можно отнести ко 2-ой группе по степени опасности развития пожара, характеризующейся достаточно серьезной

пожарной нагрузкой, поскольку в лаборатории находится достаточное количество электрического оборудования, а также наличествуют легковоспламеняющиеся вещества (спирт, бензин и др.).

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

Средства индивидуальной защиты:

- Защитные пластиковые каски.
- Защитные очки.
- Щиты ограждения.
- Различные респираторы и противогазы.
- Рукавицы.
- Предохранительные пояса и страховочные канаты.
- Комплекты для защиты работающего от электрической дуги (термостойкие костюмы).

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

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

в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

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

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

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

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

Дымообразование чрезвычайно опасно для человека. При пожарах выделяется большое количество дыма. Дым — сложная смесь газообразных и

мелкодисперсных продуктов горения. Большинство составляющих дыма для человека небезопасны. Их вдыхание приводит к острым отравлениям.

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

- Периодически проверять состояние пожарной безопасности объекта;

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

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

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

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

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

При обнаружении обрыва проводов питания, неисправности заземления и других повреждений электрооборудования, появления запаха гари необходимо немедленно отключить питание и сообщить об

аварийной ситуации руководителю отдела (ответственному) и дежурному электрику.

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

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

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



Рисунок 5.1 План эвакуации

Организационные защитные мероприятия

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

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

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

Меры по технике безопасности на рабочем месте.

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группу допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.

2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 40м.

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

5. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на

средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

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

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

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

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

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

Вывод к шестому 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена исследованию закономерностей получения ультрадисперсного порошкового материала, путем распыления титанового катода дуговым разрядом в условиях вакуума. На начальном этапе исследований основной целью экспериментов было выявление методик и режимов, позволяющих получать на подложке чистую капельную фракцию титана (порошок) без осаждаемого покрытия. Однако проводимые напыления не позволили выявить требуемого результата, но и не опровергли возможности получения порошковых материалов при помощи газоразрядной плазмы. Проведенная исследовательская работа может послужить толчком для развития принципиально нового метода получения микропорошков различных металлов (в частности титана). Кроме того, в ходе анализа экспериментальных данных на примере эрозии титанового катода были рассмотрены режимы технологического процесса, а также параметры микрочастиц, осаждаемых на поверхности подложки. Исходя из всего выше сказанного, можно сделать следующие выводы:

1) Экспериментальные данные свидетельствуют о влиянии ориентации образцов относительно поверхности катода на механизмы осаждения покрытия и микрокапель титана. Так при различных токах (50,100, 150 А) дугового испарителя, токе накала 100А и без подачи потенциала смещения толщины покрытий на всех «парных» (вертикальном и горизонтальном) образцах различались примерно на 20%. Общее количество микрокапель на 10 произвольных участках во всех парах различалось в среднем в 4-6 раз.

2) На практике продемонстрирован эффект приобретения не заряженными электропроводящими материалами потенциала смещения -14В вследствие взаимодействия с газоразрядной плазмой. Причем этот потенциал практически не зависим от режимов оборудования и времени работы установки.

3) Использование сеточного электрода в качестве экрана для подложки не дало ожидаемых результатов, но при этом явно продемонстрировало, что

в формировании покрытия вакуумно-дуговым методом принимают участие не только заряженные ионы металла, но и ультрадисперсные капли. Особенно наглядно такой эффект продемонстрировал себя при плавающем потенциале экрана (-14В) и потенциале смещения подложки -400В.

4) В ходе работы были проведены эксперименты с различными вариациями режимов экранирования подложки. При токах испарителя 50А и плазмогенератора 10А проводилось напыление в течении 45 минут. Расстояние между подложкой (в вертикальном положении) и поверхностью испарителя составляло 55 см. Испытания показали наличие небольшого покрытия (до 0,8 мкм) на поверхности всех трех образцов. Однако самый малый слой титановой пленки оказался при анодном смещении сеточного электрода и плавающем потенциале подложки. Толщина титанового покрытия в этом случае составила 0,3мкм.

5) В будущем имеет смысл продолжение экспериментов. Возможным ключом к освобождению от покрытия могут послужить эксперименты с магнитными полями в рабочей зоне вакуумной камеры.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение

Раздел на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM51	Дьякин Ф.И.		

Консультант кафедры ФВТМ :

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

Консультант – кафедры ИЯФТ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Плеханова М.В.			

KAPITEL 3. DIE FORSCHUNG DER MECHANISMEN UND DER GESETZMÄßIGKEITEN DER BILDUNG DER TRÖPFCHENFRAKTION DES TITANS IN DER BOGENTLADUNG AUF DEN UNTERLAGEN 12XH10T

In dieser Abteilung der Dissertation werden die Fragen betrachtet, die mit den Prozessen der Bildung in der Bogenentladung der Deckung und die ultradispersen Titanteilchen auf den Unterlagen verbunden sind. Es sind die Etappen aller durchgeführten Experimente und ihre Regimes detailliert beschrieben. Am Anfang des Kapitels werden alle Kennwerte der technologischen Prozesse gebracht, in deren Ergebnis das Fällen auf den Unterlagen der Mikrotropfen des Titans geschah. Außerdem sind die physikalisch-mechanischen und statistischen experimentalen Daten geliefert.

Im abschließenden Teil der Abteilung sind die Charakteristiken der Erosionsprodukten der Titankathode, angehalten in dem niederthermalen Plasma der Bogenentladung beschrieben.

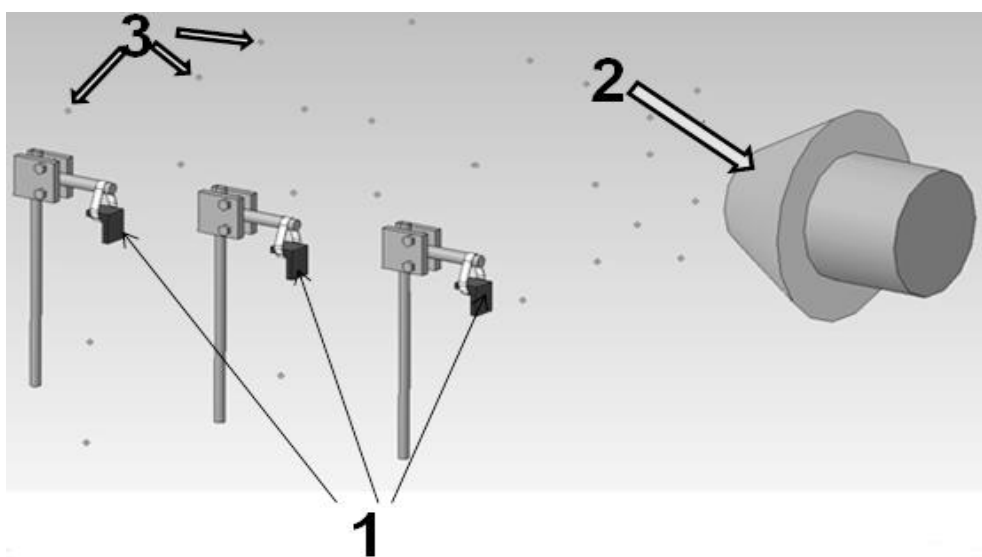
3.1. Der Einfluss der Orientierung und der Lage der Aufdampfoberflächen auf den Prozess das Fällen der Erosionsprodukten der Kathode

3.1.1. Die Etappen und die Kennwerte der Titanschichten in dem niederthermalen Plasma

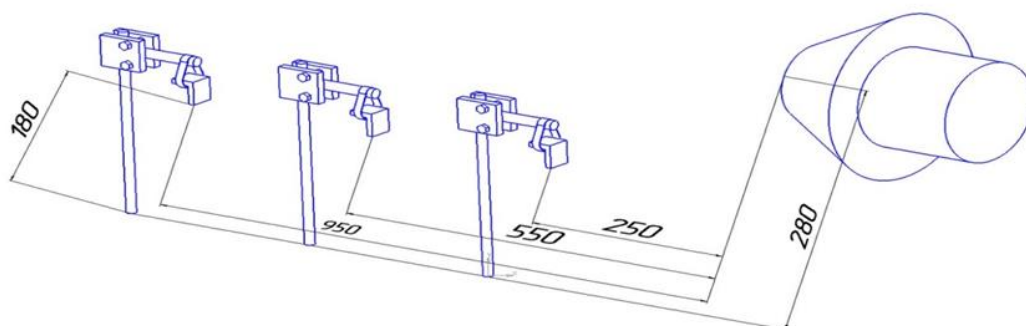
In der ersten Etappe der Forschungen wurden die Titanschichten (Ti) auf die Muster aus dem rostfreien Stahl 12XH10T von der Vakuum-Bogenmethode auf der Anlage Vakuum- Aufdampfung IET-8 I2 durchgeführt, von deren Besonderheiten der Konstruktion in der 2. Abteilung der gegenwärtigen Dissertation detailliert erzählt ist. In die Kamera, in verschiedener Entfernung vom Verdampfer "PINK" (die Plasmaquelle mit der geglühten Kathode), waren 3 Paare Muster unterbracht. Die paarigen Muster wurden befestigt einander mit Hilfe des Punktschweißens senkrecht und wurden gegenüber der Titankathode so

festgestellt, dass sich ein senkrecht die Oberflächen des Verdampfers, und zweiten horizontal befand. Für die vergleichende Analyse des Einflusses des Stromes des Verdampfers auf den Prozess der Erosion der Kathode waren drei Experimente durchgeführt.

Die Schemen des Experimentes und die Anordnungen der Muster in der Vakuumkamera bezüglich der Kathode sind auf den Zeichnungen 3.1.1.1 und 3.1.1.2 dargestellt. In der Tabelle 3.1.1 sind die Regimes der Schichten auf die Unterlagen gebracht.



Die Zeichnung 3.1.1.1. Das Schema des Experimentes. 1 - Untersuchte Muster, 2 - Titankathode, 3-die ultradispersen der Erosionsprodukten der Kathode.



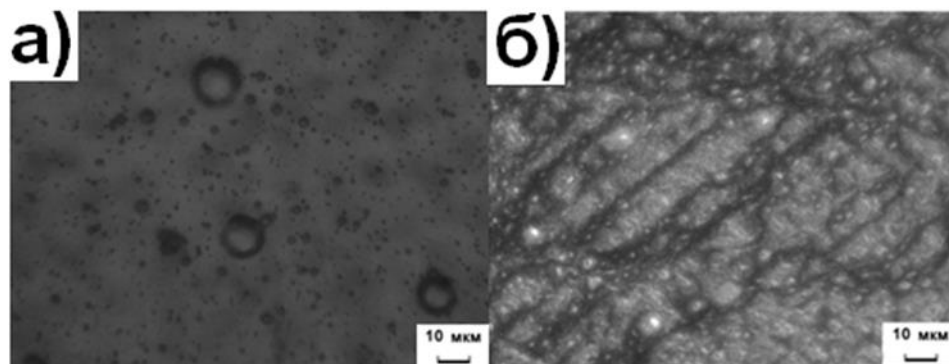
Die Zeichnung 3.1.1.2. Das Schema der Anordnung der Muster in der Vakuumkamera bezüglich der Kathode.

Die Tabelle 3.1.1.1. Die Kennwerte und die Regimes der Schichten

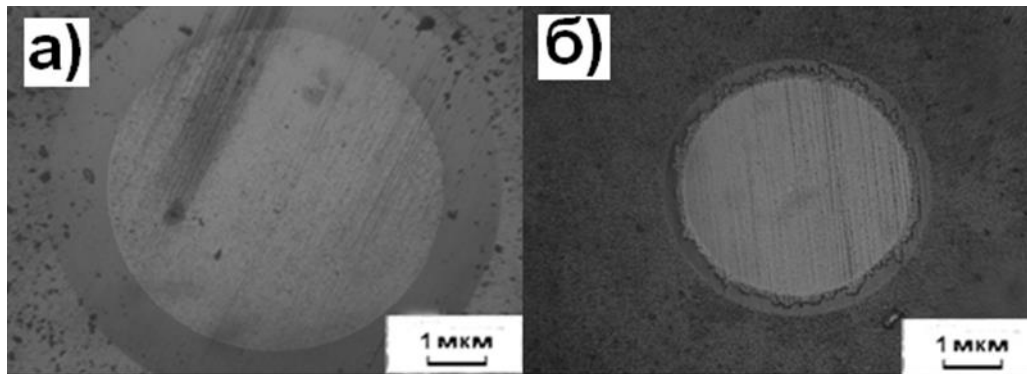
Der Strom des Plasmatrons A	10		
Der Strom des Verdampfers, A	50	100	150
Der Heizstrom, A	100		
Arbeitsdruck, mm Hg	$1,5 \times 10^{-3}$		
die Bedampfungszeit, min	45		

3.1.2. Schichtdicke und Abhängigkeiten der Abscheidung der Erosionsprodukte der Titankatode nach der Aufdampfung

Die Schichten auf die Unterlagen aus dem rostfreien Stahl wurden in dem niederthermalen Plasma der Bogenentladung durchgeführt. Nach der Aufdampfung wurden die Proben mit Hilfe der optischen und Elektronen-Raster-Mikroskope untersucht. Auf der Zeichnung 3.1.2.1. wurden die Morphologen der Oberflächen zwei paarig (horizontal und senkrecht) der Muster vorgestellt, die sich in der Entfernung die 52 cm von der Oberfläche der Titankathode befinden. Ebenso waren die Muster den Kalotest (die Zeichnung 3.1.2.2) geprüft.

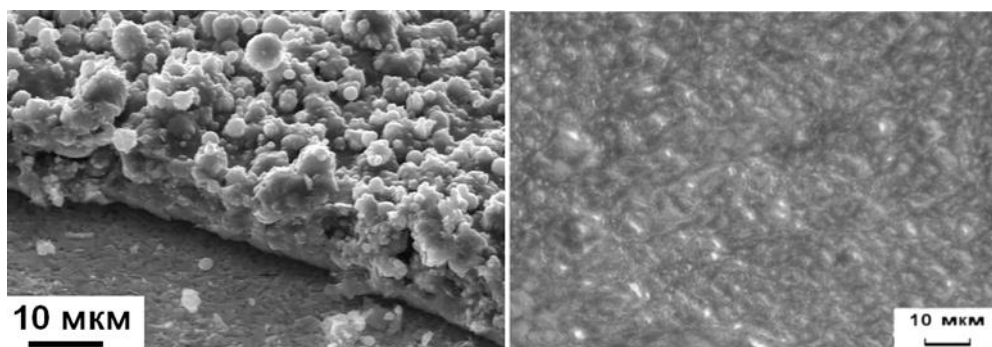


Die Zeichnung 3.1.2.1. Die Morphologen der Oberflächen der Muster nach der Titanschichten: a) horizontal, b) senkrecht, die Entfernung bis zur Kathode die 55 cm, die Bedampfungszeit 45 min, den Strom des Aufdampfung 50 A, die Erhöhung x620.



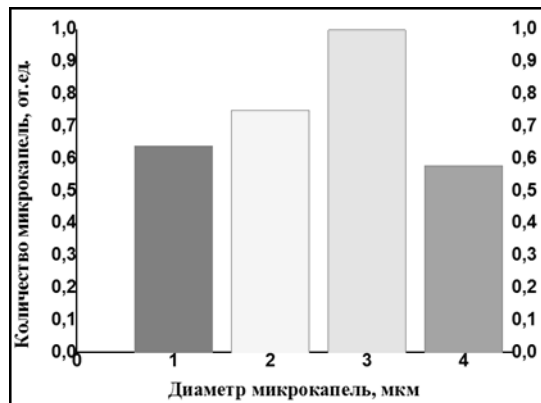
Die Zeichnung 3.1.2.2. Das Aussehen der Oberfläche der senkrechten Muster mit dem Krater des Verschleißes, der nach der Methode KALOTEST bekommen ist, gelegene in den Entfernungen: a) 55 cm, б) 95 cm, von der Oberfläche der Kathode. Die Schicht – Ti-Beschichtung, die Unterlage – der rostfreie Stahl 12XH10T, die Bedampfungszeit 45 Min, der Strom des Verdampfers, 50 A

Die Beschichtung auf den Nahbereich (25 cm von der Oberfläche der Kathode) paar Proben gekommen ist «locker», wegen der sehr großen Anzahl von Produkten der Erosion, d.h. es besteht ganz aus, abgeschoben untereinander, der Mikrotropfen. Die Fotos der bekommenen "lockeren" Oberfläche sind auf der Zeichnung 3.1.2.3 vorgestellt. Aus diesen Fotos ist es sichtbar, dass die gegebenen Muster nicht zulassen, die abgesonderten Tropfen zu bekommen. Ausführlicher die Frage die lockeren Beschichtungen werden im vierten Kapitel der gegenwärtigen Dissertation betrachten. In diesem Zusammenhang werden in weiteren Tests und Analysen sich nur Proben unterzogen, die sich auf 55 cm und 95 cm von der Oberfläche des Verdampfers befanden.



Die Zeichnung 3.1.2.3. Die Morphologie der Oberfläche des senkrechten Musters nach der Schichten des Titans, die Entfernung bis zur Oberfläche der Kathode die 25 cm, die Bedampfungszeit 45 min, den Strom des Verdampfers 50 A . a) die elektronische Rasterelektronenmikroskopie, б) die Optische Mikroskopie.

Die Oberflächen aller übrigen Muster waren auf die Anzahl der Tropfen, ihre Dispersität und die Dicke der bekommenen Deckung des Titans untersucht. Auf der Zeichnung 3.1.2.4. Es sind die Histogramme der Verteilung der Tropfen (von 1 bis zu 5 mkm) nach dem Umfang auf den Oberflächen eines mittleren Paares Muster vorgestellt. Die Dispersität der Mikrotropfen prägte sich in den mittleren Umfang der Mikrotropfen für jedes Muster aus. Der mittlere Umfang vom Tropfen wurde nach den Linienschnittverfahren auf 10 willkürlichen Grundstücken der Oberfläche berechnet.



Die Zeichnung 3.1.2.4. Die Histogramme der Verteilung der Mikrotropfen (von 1 bis zu 5 mkm) nach dem Umfang auf den Oberflächen zwei Muster; a) das senkrechte Muster, b) das horizontale Muster; die Entfernung bis zur Oberfläche des Verdampfers 55 cm; der Strom des Verdampfers 50 A

In den Tabellen 3.1.2.1. und 3.1.2.2. sind entsprechend, die Daten über die Verteilung des Umfanges der Mikrotropfen und die Dicke von Besichtigungen in allen Mustern bei verschiedenen Entladungsströmen des Verdampfers.

Die Tabelle 3.1.2.1. Die Verteilung der Umfänge der Mikrotropfen auf den Mustern bei verschiedenen Entladungsströmen des Verdampfers.

Der Entladungsstrom des Verdampfers 50A										
№ des Musters	Die Orientierung bezüglich der Oberfläche des Verdampfers	Die Entfernung bis zur Oberfläche des Verdampfers, cm	Der genäherte Umfang der Mikrotropfen, mkm					Die Dispersität, mkm		
			<1	1	2	3	4		5	>5
			Die mittlere Anzahl der Mikrotropfen, einzelnen Einheiten							

2	Senkrecht	55	0,12	0,64	0,76	1	0,57	0,21	0,07	2,58
3		95	–	0,45	0,53	0,62	1	0,48	0,34	3,75
5	Horizontal	55	0,09	0,69	0,68	1	0,49	0,37	0,10	2,48
6		95	–	0,42	0,57	0,74	1	0,38	0,03	3,85

Der Entladungsstrom des Verdampfers 100A

№ des Musters	Die Orientierung	Die Entfernung bis zur Oberfläche des Verdampfers, cm	Der genäherte Umfang der Mikrotropfen, mkm							Die Dispersität, mkm
			<1	1	2	3	4	5	>5	
			Die mittlere Anzahl der Mikrotropfen, einzelnen Einheiten							
2	Senkrecht	55	0,12	0,64	0,76	1	0,57	0,21	0,07	2,58
3		95	–	0,45	0,53	0,62	1	0,48	0,34	3,75
5	Horizontal	55	0,09	0,69	0,68	1	0,49	0,37	0,10	2,48
6		95	–	0,42	0,57	0,74	1	0,38	0,03	3,85

Der Entladungsstrom des Verdampfers 150A

№ des Musters	Die Orientierung	Die Entfernung bis zur Oberfläche des Verdampfers, cm	Der genäherte Umfang der Mikrotropfen, mkm							Die Dispersität, mkm
			<1	1	2	3	4	5	>5	
			Die mittlere Anzahl der Mikrotropfen, einzelnen Einheiten							
2	Senkrecht	55	0,12	0,64	0,76	1	0,57	0,21	0,07	2,58
3		95	–	0,45	0,53	0,62	1	0,48	0,34	3,75
5	Horizontal	55	0,09	0,69	0,68	1	0,49	0,37	0,10	2,48
6		95	–	0,42	0,57	0,74	1	0,38	0,03	3,85

Tabelle 3.1.2.1. Die Dicke der Titanbeschichtung auf den Mustern bei verschiedenen Entladungsströmen des Verdampfers.

Der Entladungsstrom des Verdampfers 50A

№ des Musters	Die Orientierung bezüglich der Oberfläche des Verdampfers	Die Entfernung bis zur Oberfläche	Der Umfang des größeren des Abdruckes nach	Der Umfang des kleineren des Abdruckes nach	Die Dicke der Titanbeschichtung, mkm
---------------	---	-----------------------------------	--	---	--------------------------------------

		des Verdampfers, cm	KALOTEST, mkm	KALOTEST, mkm	
2	Senkrecht	55	7,2	6,8	0,75
3		95	7,5	7,4	0,54
5	Horizontal	55	7,9	7,7	0,61
6		95	8,2	8,0	0,43

Der Entladungsstrom des Verdampfers 100A

№ des Musters	Die Orientierung bezüglich der Oberfläche des Verdampfers	Die Entfernung bis zur Oberfläche des Verdampfers, cm	Der Umfang des größeren des Abdruckes nach KALOTEST, mkm	Der Umfang des kleineren des Abdruckes nach KALOTEST, mkm	Die Dicke der bekommenen Titanbeschichtung, mkm
2	Senkrecht	55	6,3	5,2	1,12
3		95	6,8	6,3	0,74
5	Horizontal	55	7,4	6,9	0,95
6		95	7,7	7,4	0,51

Der Entladungsstrom des Verdampfers 150A

№ des Musters	Die Orientierung bezüglich der Oberfläche des Verdampfers	Die Entfernung bis zur Oberfläche des Verdampfers, cm	Der Umfang des größeren Abdruckes nach KALOTEST, mkm	Der Umfang des kleineren Abdruckes nach KALOTEST, mkm	Die Dicke der Titanbeschichtung, mkm
2	Senkrecht	55	5,7	5,1	2,26
3		95	6,3	5,9	1,63
5	Horizontal	55	7,8	7,3	1,86
6		95	7,9	7,5	1,14

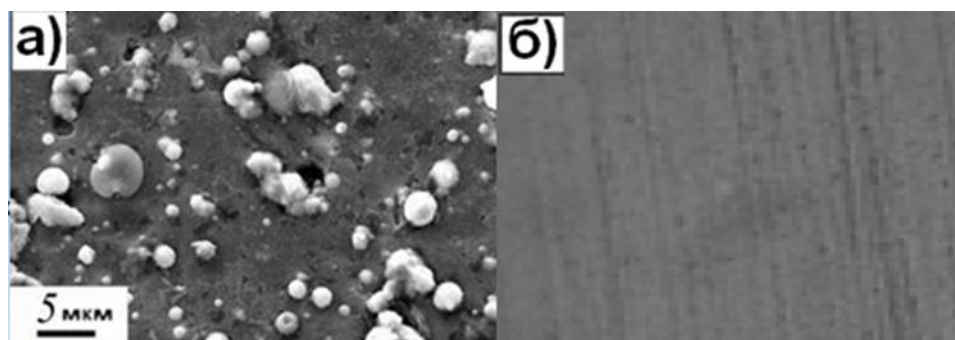
Aufgrund der bekommenen Daten über die Verteilung der Mikrotröpfchenfraktion des Titans in den Oberflächen der Muster und das Wachstum der Beschichtung waren die Schlussfolgerungen über die optimalste

Entfernung für die weiteren Forschungen gemacht. Ausgehend von den kleinen Geschwindigkeiten der Beschichtungsbildung und der Anzahl der Tröpfchenfraktion auf den horizontalen Mustern (im Vergleich mit senkrecht) war die Lösung, auf solche Lage der Muster in den weiteren Experimenten zu verzichten.

3.2 Einfluss des Anodenpotentials der Muster auf die Wachstumsbeschichtungsprozesse und die Ausfällungen den Erosionsprodukten der Titankathode

Ausgehend vom ersten Experiment (der Punkt 3.1.2. der gegenwärtigen Dissertation) war entschieden, die weiteren Forschungen auf dem Muster gelegen in 55 cm von der Oberfläche der Titankathode und bestimmt parallel seine Oberflächen durchzuführen. Das Ziel der weiteren Experimente ist die Untersuchung von Methoden der Beschichtungsminimierung ausgewählt, d.h. der Bildung der optimalen Bedingungen der Mikrotropfaufällungen auf der Unterlage mit der kleinsten Beschichtung. Entsprechend den physikalischen Prinzipien der Arbeit der Vakuum-Bogenmethode der Schichten bewegen sich die in Niedertemperaturplasmaentladung geladene Teilchen (Ionen) der Kathode auf die Unterlage unter dem Einfluss der elektrischen Kräfte. Die Ionen haben die positiv elektrische Ladung. Falls das Potential der Unterlage mit negativ auf positiv zu ersetzen, so beginnt sie, die positiven Ionen abzustößen. Die Erosionprodukte und bewegen sich ausschließlich auf einer ballistischen Trajektorie, infolgedessen wird das Zeichen des Potentials der Unterlage auf ihrem Fällen auf der Oberfläche des Musters nicht widergespiegelt. Auf dieser Grundlage wurde beschlossen, auf das Muster das Potential der Anode (die Wände der Vakuumkamera) zu reichen. Der Stock mit dem Muster wurde auf die Platte aus einem dielektrischen Material (Asbest) für die Verhinderung des doppelten Kontaktes des Musters mit den Wänden der Kamera festgestellt, und verband sich mit der Wand der Kamera mit Hilfe des Bands aus dem rostfreien Stahl. Die Aufdampfung wurde innerhalb von 45 min mit folgenden Bogen – Entladungstößen: 30, 60, 90 A; der Plasmageneratorsstrom 10 A; Betriebsdruck 2×10^{-3} . Auf der Zeichnung 3.1.3.1. ist

die Gegenüberstellung der Morphologien der Oberfläche des Musters bis und nach der vakuumbogen-Aufdampfung des Titansbeschichtungs beim Bogen – Entladungstrom 60 A und das Anodenpotential der Unterlage dargestellt.

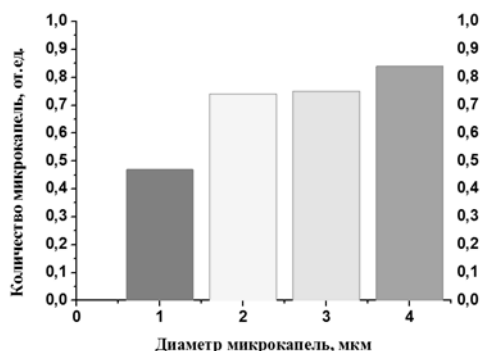


Die Zeichnung 3.2.1. Die Morphologien der Oberflächen des Musters b) vor der Aufdampfung; a) nach der Beschichtung des Titans; die Entfernung bis zur Oberfläche der Kathode die 55 cm; die Aufdampfungszeit 45 min; der Verdampferstrom 60 A. Die elektronische Rastermikroskopie

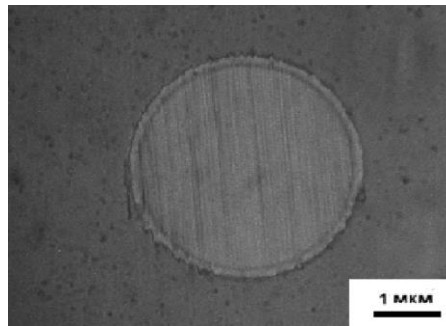
Auf der Zeichnung 3.2.2. sind die Histogramme der Verteilung der Tropfen nach dem Umfang auf den Oberflächen eines mittleren Paares Muster vorgestellt. Die Dispersität der Mikrotropfen prägte sich in den mittleren Umfang der Mikrotropfen für jedes Muster aus. Der mittlere Umfang vom Tropfen wurde nach den Kreisverfahren, auf 10 willkürlichen Grundstücken der Oberfläche berechnet.

Aus der Zeichnung 3.2.1. ist anschaulich sichtbar, dass sich die Oberfläche des Musters nach der Aufdampfung geändert hat. Es zeugt von der Ausfällung auf der Unterlage der Titanbeschichtung.

Das Muster war dem Test „KALOTEST“ unterzogen (die Zeichnung 3.2.3), das auf der Oberfläche der Titanbeschichtung geoffenbart hat.



Die Zeichnung 3.2.2. Das Histogramm der Verteilung der Mikrotropfen nach dem Umfang auf der Oberfläche des Musters; die Entfernung bis zur Oberfläche des Verdampfers 55 cm; der Verdampferstrom 60 A



Die Zeichnung 3.2.3. Das Aussehen der Oberfläche des Musters mit dem Verschleißeskrater, der nach der Methode KALOTEST bekommen ist; die Entfernung bis zur Oberfläche der Kathode die 55 cm; Die Dünnschicht – Ti-Beschichtung, die Unterlage – der rostfreie Stahl 12XH10T, die Aufdampfungszeit 45 min, der Verdampferstrom 60 A, die Spannung in der Kamera 2×10^{-3} .

Die Daten über die Verteilung des Umfanges der Mikrotropfen und die Dicke der Beschichtungen in allen Mustern bei verschiedenen Entladungsströmen des Verdampfers sind in den Tabellen 3.2.1 und 3.2.2 entsprechend gebracht.

Die Tabelle 3.2.1. Die Verteilung der Umfänge der Mikrotropfen in den Mustern bei verschiedenen Entladungsströmen des Verdampfers

№	Die Orientierung bezüglich des Verdampfers	Der Entladungsstrom, A	Der genäherte Umfang der Mikrotropfen, mkm							Die Dispersität, mkm
			<1	1	2	3	4	5	>5	
			Die mittlere Anzahl der Mikrotropfen, einzelnen Einheiten							
1	Senkrecht	30	0,12	0,64	0,76	1	0,57	0,21	0,07	2,58
2		60	–	0,45	0,53	0,62	1	0,48	0,34	3,75
3		90	0,09	0,69	0,68	1	0,49	0,37	0,10	2,48

Die Tabelle 3.2.2. Die Dicke der Titanbesichtigung auf den Mustern bei verschiedenen Entladungsströmen des Verdampfers

№ des Musters	Die Entfernung bis zur Oberfläche des Verdampfers, cm	Der Entladungsstrom, A	Der Umfang des größeren Abdruckes des Indenter KALOTEST, mkm	Der Umfang des kleineren Abdruckes des Indenter KALOTEST, mkm	Die Dicke der Titanbeschichtung, mkm

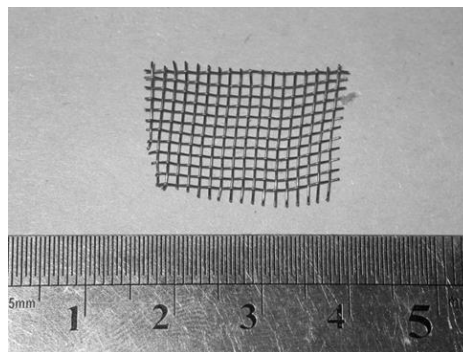
2	55	30	6,5	5,4	0,31
3		60	5,7	5,3	0,35
5		90	5,5	4,9	0,43

Die Ausfällung auf der Oberfläche der Unterlage, außer der Erosionsprodukte der Kathode, die Titan-Beschichtung klärt sich damit, dass das Metall in dem niederthermalen Plasma, infolge der Ionisierung, die Ladung bekommt. Diese Erscheinung trägt den Namen das schwimmende Potential.

Weitere Experimente zur Minimierung der abgeschiedenen Beschichtung entschieden worden, um mit Hilfe der Abschirmung des Musters durchzuführen.

3.3. Die Ausfällungen der Beschichtung in niederthermale Plasma der Bogenentladung bei verschiedenen Regimes der Abschirmung der Unterlage.

Die Dicke der aufgetragenen der Titanbeschichtung zu verringern, es war mit Hilfe des Bildschirms, der die Ionen abstößt, aber versäumend den Strom der Tröpfchenfraktion des Verdampfers, entschieden. Als solcher Bildschirm war das Netz aus dem rostfreien Stahl (die Zeichnung 3.3.1) gewählt.



Die Zeichnung 3.3.1. Das Fragment des Netzes verwendet als Bildschirm; das Material 12X18H; der Umfang der Zelle $\approx 1 \times 1$ mkm; die Dicke des Drahtes 250 mkm; die Durchsichtigkeit ≈ 70 %

Im Falle verschiedener Variationen des Potentials des Bildschirms und der Unterlage wird sich der Vertrieb der Ionen ändern, während sich die Trajektorie der Bewegung der Erosionprodukte der Kathode nicht wesentlich ändern soll.

Auf der Zeichnung 3.3.2. sind die Fotos der Unterbringung der Muster in der Vakuumkamera dargestellt. Alle Regimes der durchgeführten Experimente sind in 3.3.1 angegeben.



Die Zeichnung 3.3.2. Die Fotos der Unterbringung des Musters in der Vakuumkamera a) ohne Anodenpotential am Bildschirm, b) mit dem Anodenpotential am Bildschirm

Die Tabelle 3.3.1. Die Beschreibung und die Regimes der durchgeführten Experimente

№	Die Beschreibung des Experimentes	Das Potential der Absetzung, B	Das Potential der Anode, B	Der Strom des Bogenverdampfers, A	Arbeitsdruck, mm Hg.
1	Der Bildschirm unter dem Potential der Anode, das Potential der Unterlage ist der Schwimmende	14	-	50 A	5×10^{-4}
2	Der Bildschirm unter dem				

	schwimmenden Potential, die Unterlage unter dem Anodenpotential				
3	Der Bildschirm und die Unterlage unter dem schwimmenden Potential				

Das abschirmende Netz befand sich im ersten Fall unter dem Potential der Absetzung $U_{cm}=400$ In, und die Unterlage war auf der isoliert von den Wänden der Kamera Stock bestimmt, und hatte das schwimmende Potential $\approx -14W$. Der Bildschirm wird die negativ geladenen Titanionen heranziehen, d.h. die Beschichtung nur auf dem Netz angehalten werden soll.

Der Bildschirm befand sich im folgenden Experiment unter dem schwimmenden Potential $\approx -14W$, und die Unterlage war vom Band aus dem rostfreien Stahl mit den Wänden der Kamera (der Anode) verbunden.

Das letzte Experiment vereinte in sich das Potential der Absetzung des Bildschirmes und der Unterlage.

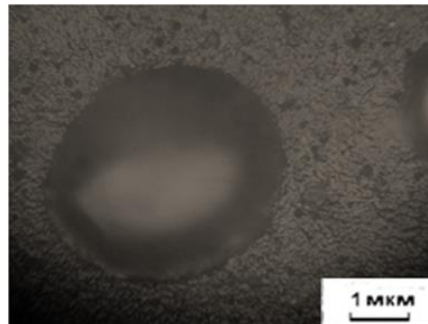
3.4. Die charakteristischen Merkmale der Erosion der Titankathode in der Bogenentladung

Die autoelektronische Emission aus der Kathode entsteht unter dem Einfluss von niederthermale Plasma. Die Quelle des Plasmas in unserem Fall ist die Bogenentladung, die nach den Oberflächen der Titankathode chaotisch "schlägt".

Der Katodenfleck an der Stelle der Berührung des Bogens und des Metalls schafft die Schmelzenzone. Die Mikroteilchen des geschmolzenen Metalls haben die Umfänge bis zu 10 mkm im Durchmesser. Im Strom der Teilchen gibt es auch die Tropfen der Umfänge, jedoch auf die Unterlage angehalten worden, sie untereinander abgeschoben und werden ein Teil der Beschichtung. Die großen Tropfen (> 5 mkm), aufgrund seiner Trägheit, stürzen über die Oberfläche ab und verlieren die sphärische Form.

Ein Hauptziel der gegebenen Forschung waren die Mikrotropfen vom Umfang von 1 bis zu 5 mkm. Habend nicht solche große Trägheit, um über die Oberfläche der Unterlage abzustürzen, verfügen sie zurzeit über den

ausreichenden Umfang, um in die Beschichtung nicht zusammenzuziehen. Auf der Zeichnung 3.4.1. ist das Foto des Mikrotropfens, dem Umfang $\approx 3,5$ mkm, auf der Oberfläche einen der Muster dargestellt.



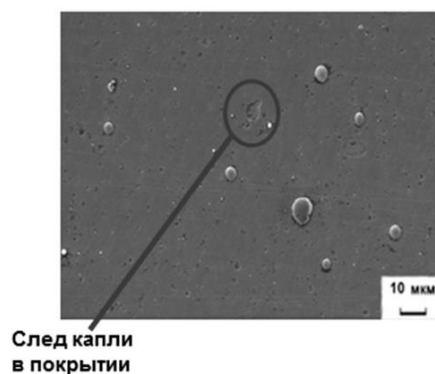
Die Zeichnung 3.4.1. Der Tropfen des reinen Titans auf der Beschichtung; die Entfernung bis zur Oberfläche der Kathode die 55 cm; der Heizstrom des Verdampfers 90 A; das Absetzungspotential der Unterlage 200 B; die Erhöhung x1000

Die Tröpfchenfraktion der Kathode besteht tatsächlich aus dem reinen Titan [4] und hat den folgenden Bestand: $\approx 98,96$ % Ti, $\approx 0,08$ % N, $\approx 0,05$ % C, $\approx 0,4$ % H, $\approx 0,4$ % Fe+Ni, $\approx 0,1$ % Si, $\approx 0,004$ % Cl. Aus der Zeichnung 3.4.1. ist sichtbar, dass die angehalten auf der Oberfläche des Musters Tropfen (im Unterschied von den modernen Pulvern des Titans) die deutliche sphärische Form haben.

Jedoch die Tropfen «einmauern» in der Beschichtung, dass ihre nachfolgende Abnahme von der Unterlage erschwert.

Eine wichtige Besonderheit der angehaltenen Tropfen ist, dass sie die Adhäsionsverbindung mit der Unterlage nicht bilden. Auf ihrer Oberfläche hält die Beschichtung fest.

Die Zeichnung 3.4.2. demonstriert anschaulich die Delle, bleibend nach dem Ausfall des Tropfens.



Die Zeichnung 3.1.2.1. Die Morphologie der Oberfläche der Probe nach der Titanbeschichtung ; Orientierung in Bezug auf den Verdampfer: horizontal; die Entfernung bis zur Kathode 95 cm; die Bedampfungszeit 45 min; der Strom des Verdampfers 100 A; die elektronische Rastermikroskopie.

In dem Fall, wenn die Abscheidung der Beschichtung nicht geschehen wird, werden die Mikrotropfen auf der Oberfläche des Musters nur von den Kräften der statischen Anziehung festgehalten werden.

Die Schlussfolgerungen

Infolge des Auftragens der Titanbeschichtung von der Vakuum-Bogenmethode, waren die Prozesse nach der Synthese der Beschichtung aufgrund Ti und ultradispers (mikrometrisch) der Erosionsprodukte der Kathode experimental untersucht. Die visuelle Analyse den Unterlagen und ihren Testierung nach der Methode KALOTEST hat das Vorhandensein der Beschichtungen verschiedener Dicke auf allen Mustern vorgeführt. Es war auch die Verteilung der Mikrotropfen des Titans in jedem Muster analysiert.

Список литературы

1. Лафферти Д. Вакуумные дуги. / Пер. с англ.; под ред. В. И. Раховского. – М.: Мир, 1982. – 432 с.

2. Boxman R.L., Sanders D.M., and Martin P.J., Ed., Handbook of Vacuum Arc Science and Technology. Park Ridge, New Jersey: Noyes Publications, 1995.
3. Mattox D.M. Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control; New Jersey: Noyes Publications, 1998.
4. Straumal B., Gust W., Vershinin N., Dimitriou R., Rabkin E. Vacuum arc deposition of Ti coatings // Surface and Coatings Technology.– 2000.– V. 125.– P. 157– 160.
5. Brown I.G. Vacuum arc ion sources // Review of Scientific Instruments.– 1994.– V. 65.– P. 3061–3081.
6. Bugaev S.P., Oks E.M., Shchanin P.M., Yushkov G.Yu. «Titan,» a source of gas and metal ions based on a contracted discharge and vacuum arc // Russian physical journal.– 1994.– V.37, No3.– P. 245–254.
7. Гаврилов Н.В. Емлин Д.Р. Каменецких А.С. Источник ленточного пучка газовых ионов с широкоапертурным холодным полым катодом // ПТЭ. 2003. – № 1.– С. 85–89.
8. Гаврилов Н. В. Технологические источники широких пучков газовых ионов на основе дугового и тлеющего разрядов в магнитном поле: дис. ... д-р техн. наук: 01.04.13 / Н. В. Гаврилов. – Екатеринбург, 1999.– 39 с.
9. Ryabchikov A.I., Stepanov I.B., Dektjarev S.V., and Sergeev O.V. Vacuum arc ion and plasma source Raduga 5 for materials treatment // Review of Scientific Instruments.– 1998.–V. 69.– P. 810–813.
10. Nikolaev A.G., Oks E.M., Savkin K.P., Yushkov G.Yu., and Brown I.G. Upgraded vacuum arc ion source for metal ion implantation // Review of Scientific Instruments.– 2012, V. 83, No 2.– P. 02A501 (1–3). 120
11. Bolotov A.V., Kozyrev A.V., and Korolev Yu.D. A physical model of the lowcurrent-density vacuum arc copper cathodes // IEEE Trans. Plasma Science.– 1995.–V. 23, No. 6.– P. 884–891.

12. Kondrateva N.P., Koval N.N., Korolev Yu.D., Schanin P.M. A spectroscopic investigation of the near-cathode regions in a low-pressure arc // J. Phys. D: Appl. Phys. –1999. – V. 32. – P. 699–705.

13. Нанесение тонких пленок вакуумно-дуговым методом: Методические указания по проведению лабораторных работ по дисциплинам «Материаловедение тонких пленок» и «Технология материалов и изделий электронной техники» / В.В. Васильевский, Е.К. Куломзин, Б.А. Лапшинов. – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2006.–18 с.

14. Нанесение PVD покрытий с использованием HMPC // ООО НПФ «Элан– Практик».– 2008. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.elanpraktik.ru/technology/pdf/nmrs.pdf> (дата обращения 13.02.2012).

15. Handbook of Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition. Editor Anders, André, 1st edition.– John Wiley & Sons.– New York, 2000.– 760 p.

16. Аксенов И.И., Белоус В.А., Падалка В.Г., Хороших В.М. Транспортировка плазменных потоков в криволинейной плазмооптической системе // Физика плазмы. – 1978. – Е. 4, №4. – С. 758-763.

17. Anders A. Approaches to rid cathodic arc plasmas of macro- and nanoparticles: a review // Surface and Coatings Technology.– 1999.– V. 120–121.– P. 319–330.

18. Рябчиков А.И., Степанов И.Б. Устройство для очистки плазмы дугового испарителя от микрочастиц (его варианты): пат. 2097868 Рос. Федерация. № 96114637/07; заявл. 09.07.96; опубл. 21.11.97.

19. Рябчиков А.И., Степанов И.Б. Устройство для очистки плазмы дугового испарителя от микрочастиц (его варианты): пат. 2107968 Рос. Федерация. № 96116291/09; заявл. 06.08.96; опубл. 27.03.98. 121

20. Рябчиков А.И. Устройство для очистки плазмы дугового испарителя от микрочастиц: пат. 2108636 Рос. Федерация. № 96108298/09; заявл. 23.04.96; опубл. 10.04.98.

21. Положий К.И., Береснев В.М. Подавление капельной фазы в вакуумно- дуговых распылительных системах // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2005. – №5.– С. 69–72.

22. Сивин, Д.О. Формирование ленточных и псевдоленточных пучков ионов металлов и плазмы: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.20 / Сивин Денис Олегович.– Томск, 2010.– 153 с.

23. Месяц Г.А. Эктоны: в 3 ч. / Г.А. Месяц; Институт электрофизики УрО РАН. – Екатеринбург: Наука, 1993.– Ч. 1: Взрывная эмиссия электронов. – 1993. – 184 с.

24. Бизюков А.А. Испарение макрочастиц в плазме сильноточного импульсного дугового разряда низкого давления / А.А. Бизюков, К.Н. Середа, А.Е. Кашаба, Е.В. Ромащенко, А.Д. Чибисов, В.В. Поневчинский, В.В.Слепцов // ВАНТ.– 2006.– №5.– Сер.: Плазменная электроника и новые методы ускорения (5).– С.136–141.

25. Schanin P.M. Influence of the gas discharge plasma on microdroplet fraction of a vacuum arc / P.M. Schanin, N.N. Koval, A.V. Kozyrev, I.M. Goncharenko, J. Langner, S.V. Grigoriev // Proceedings of the 5th International Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows.– 24–29 September, 2000. Tomsk, Russia. Eds. G.Mesyats, S.Bugaev, A.Ryabchikov. Tomsk: Institute of High Current Electronics, 2000.– P. 438–441.

26. Tau C.N., E.S. Koh E.S., Akari K. Macroparticles on TiN films prepared by the arc ion plating process // Surface and Coatings Technology. – 1990. – V. 43–44. – P. 324–335.

27. Aharonov R. // International Conference Metallic Coating and Thin Films: Proceedings. – San Diego, 1998. – P. 79. 122

28. Keidar M., Beilis I. I. Macroparticle reflection from a biased substrate in a vacuum arc deposition system // IEEE Transactions on Plasma Science – 1999. – V. 27, № 3. – P. 810–812.

29. Schanin P.M. Interaction of the droplet fraction of a vacuum arc with the plasma of a gas discharge / P.M. Schanin, N.N. Koval, A.V. Kozyrev, I.M.

Goncharenko, S.V. Grigoriev, V.S. Tolkachev // Journal of Technical Physics. – 2000. – V. 41, No 2. – P. 177–184.

30. Ремнев Г.Е. Модификация материалов с использованием мощных ионных пучков // Известия ТПУ.– 2000.– Т. 303. – Вып. 2. – С. 59–70.

31. Korotaev A. D., Tymentsev A. N., Pinzhin Yu. P., Remnev G.E. Features of the morphology, defect substructure and phase composition of metal and alloy surfaces upon high-power ion beam irradiation // Surface and Coatings Technology.– 2004, V. 185, P. 38–49.

32. Твердохлебов С.И., Волокитина Т. Л., Ремнев Г.Е., Пушкарев А.И., Хайлов И.П. Модификация поверхности медицинских материалов методом осаждения биосовместимых покрытий из абляционной плазмы, создаваемой мощными ионными пучками // Известия вузов. Физика.– 2013. – Т. 56, № 11, ч. 3. – С. 70–74.

33. Astashynski V.M., Leyvi A.Ya., Talala K.A., Uglov V.V., Cherenda N.N., Yalovets A.P. Change in the relief of a target surface treated by compression plasma flows // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques.– 2013.– V. 7, No 5.– P. 1005-1012.

34. Volkov N.B., Mayer A.E., Sedoi V.S., Fen'ko E.L., and Yalovets A.P. Mechanisms of Metallic Nanoparticle Generation during an Electric Explosion of Conductors // Technical Physics.– 2010.– V. 55, No 4.– P. 509–513.

35. Volkov N.B., Fen'ko E.L., Yalovets A.P. Simulation of generation of ultradisperse particles upon irradiation of metals by a high-power electron beam // Technical Physics.– 2010.– V. 55, No 10.– P. 1389–1399.

36. Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме: учебное пособие / Н.А. Капцов. – Москва; Ленинград, ОГИЗГостехиздат, 1947. – 808 с. 123

37. Финкельнбург В., Меккер Г., Электрические дуги и термическая плазма / Пер. с нем. – М.: Иностранная литература, 1961. - 371 с.

38. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги. – М.: Наука, 1968. – 244 с.

39. Фортов В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф., Пылевая плазма // УФН .– 2004.– Т. 174.– С. 495-544.
40. Месяц Г.А. Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга. – М.: Наука, 2000. – 424 с.
41. Арцимович Л. А. Элементарная физика плазмы.–М.: Госатомиздат, 1963.– 98 с.
42. Эмиссионная электроника: учебное пособие / Д. И. Проскуровский; Томск. гос. ун-т, Сиб. отд-ние РАН, Ин-т сильноточ. электроники. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск : Том. гос. ун-т, 2010. – 287 с.
43. Андреев А.А. Электронно-магнитная модель катодного пятна вакуумной дуги // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Плазменная электроника и новые методы ускорения». – 2003. – №4. – С. 203–207.
44. Андреев А.А. Физическая электронно-магнитная модель катодного пятна вакуумной дуги // Вісник Харківського національного університету. Сер. фізична «Ядра, частинки, поля». – 2007. – №763. – С. 32–40.
45. Удрис Я.Я. Разбрызгивание капель катодным пятном ртутной дуги. – В кн.: Исследование в области электрического разряда в газах. – М.-Л.: ГЭИ. – 1958. – С. 107-128.
46. Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме.– Новосибирск: Наука, 1984. – 256 с.