

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы

Плазменная переработка порошков оксидов металлов

УДК 621.762.048.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Хоцеловский Никита Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Хан В.А.	д.т.н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изотопные технологии и материалы	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах
ПК(У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета
ПК(У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов
ПК(У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Дорофеева Л.И.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0AM91	Хоцеловскому Никите Сергеевичу

Тема работы:

Плазменная переработка порошков оксидов металлов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	91-22/с от 01.04.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Изучение микроструктуры порошка, прошедшего плазменную обработку. Особое внимание будет уделено сохранности количества порошка.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – Разработка экспериментальной установки и получение порошков оксидов металлов в потоке низкотемпературной плазмы; – Определение гранулометрического состава SiO₂, ZnO, оксидов железа, отборным и безотборным методами – Моделирование динамики отклонения частиц от оседания на исследуемую подложку
Перечень графического материала	– презентация.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:	Киселева Е.С.
Социальная ответственность	Тимченко С.Н.
Иностранный язык	Шайкина О.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:	
Литературный анализ по порошковой металлургии	
Методика проведения эксперимента и оборудование	
Проведение эксперимента	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	
Социальная ответственность	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Хан В.А..	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Хоцеловский Никита Сергеевич		

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

Студенту:

Группа 0AM91	ФИО Хоцеловскому Никите Сергеевичу
-----------------	---------------------------------------

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска; 2. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициенты для расчета заработной платы: -30% премии; 30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Потенциальные потребители результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT – анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	1. Цели и результат проекта. 2. Организационная структура проекта. 3. Ограничения и допущения проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Расчет бюджета научно - технического исследования (НТИ).
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. Диаграмма Гантта
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Хоцеловский Никита Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM91	Хоцеловскому Никита Сергеевичу

Школа	ИШЯТ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды: микроклимат, шум, вибрация, освещение, электромагнитные поля и ионизирующее излучение от ПЭВМ, вредные вещества; – опасных проявлений факторов производственной среды :электрического тока, пожарная и взрывная безопасность;
<i>Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – требования охраны труда при работе на ВЧФ-плазмотроне; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – радиационная безопасность; – химическая безопасность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – 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).
<i>Анализ выявленных опасных факторов произведённой среды в следующей последовательности</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (причины, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Хоцеловский Никита Сергеевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
26.02.2021	Выдача задания	
24.03.2021	Выбор материала для получения порошков	
30.03.2021	Проведение пробного эксперимента	
15.04.2021	Получение опытных образцов	
03.05.2021	Проведение исследования микроструктуры	
18.05.2021	Определение гранулометрического состава	
19.05.2021	Определение спектра излучения плазмы	
22.05.2021	Написание ВКР	
31.05.2021	Сдача работы	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Хан В.А.	д.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н.		

Содержание

Реферат	8
Определения	12
Введение.....	13
1.1 Металлические порошки и порошковая металлургия.....	14
1.1.1 Металлические порошки и их свойства.....	14
1.1.2 Физические свойства	15
1.1.3 Технологические свойства	18
1.2 Методы получения порошков	20
1.3 Напыление порошков на различные поверхности	21
1.4 Методы получения порошков для аддитивных технологий	23
1.5 Обработка мелкодисперсных порошков в потоке индукционной плазмы ...	25
1.6 Сфероидизация металлических порошков в плазме электродугового разряда.....	27
1.7 Получение порошков при помощи воздействия ультразвука	28
1.7.1 Ультразвуковое диспергирование порошков в жидкости	29
1.7.2 Механизм ультразвукового диспергирования	29
1.7.3 Технология ультразвукового диспергирования.....	31
1.7.4 Механизм ультразвуковой очистки порошков	33
1.7.5 Влияние различных факторов на эффективность очистки порошков.....	35
1.7.6 Ультразвуковая очистка и травление порошков.....	37
1.8 Получение порошков при помощи воздействия магнитного поля	40
2 Практическая часть	43

2.1 Экспериментальная установка.....	43
2.2 Методика проведения исследований	45
2.3 Расчёт траектории движения дисперсных частиц в газовом потоке	47
2.4 Решение обратной задачи для определения гранулометрического состава дисперсной фазы запыленной плазмы	48
2.5 Изучение структуры порошка железа.....	50
2.5 Изучение структуры порошка SiO ₂	51
2.6 Определение гранулометрического состава порошка ZnO	53
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	56
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	57
3.2 Анализ конкурентных технических решений	58
3.3 SWOT-анализ.....	59
3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	61
3.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	63
3.6 Инициация проекта	66
3.7 Планирование управления научно-исследовательского проекта	68
3.8 Бюджет научного исследования	71
3.9 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	75
3.10 Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	77
4 Социальная ответственность	78
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	79

4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ	81
4.2.1 Организационные мероприятия.....	81
4.2.2 Технические мероприятия.....	82
4.2.3 Условия безопасности работы	84
4.3 Электробезопасность	88
4.4 Пожарная и взрывная безопасность	91
Выводы	94
Заключение	95
Список использованных источников	97
Приложение А	99

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 110 страниц, 25 рисунков, 26 таблиц.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, воздушная плазма, высокочастотный дуговой разряд, получение порошков, переработка оксидов металлов.

Объектом исследования является плазменная переработка оксидов металлов и получение их порошков в низкотемпературной воздушной плазме.

Целью данной работы является разработка метода получения порошков оксидов металлов в низкотемпературном плазменном потоке.

В результате исследования разработали экспериментальную плазменную установку с выходной мощностью 4 кВт. Получили порошки оксидов металлов.

Получили пробные партии порошков, которые переданы для дальнейшего исследования в лабораторию электронной микроскопии.

Получена зависимость, при помощи которой определяется радиус частиц, которые не представляется возможным уловить на подложку. При скорости 45 м\с частицы размером менее 0.01 мкм не задерживаются на подложке.

Определения

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов).

Температура вспышки – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако, устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает.

Температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой пары над поверхностью горючего вещества выделяются с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

Температура самовоспламенения – наименьшая температура горючего вещества, при нагреве до которой происходит резкое увеличение скорости реакций, приводящее к возникновению пламенного горения или взрыва.

Адиабатическая температура горения – это температура полного сгорания смесей любого состава при отсутствии тепловых потерь в окружающую среду.

Введение

В настоящее время активно развиваются аддитивные технологии и используется порошковая металлургия. Эти отрасли требуют получения различных порошкообразных материалов с заданными параметрами, например, гранулометрическим составом.

Атомная энергетика также требует формирования порошков с заданными параметрами из оксидов делящихся материалов.

Из-за расширения номенклатуры требуемых порошков технологии получения некоторых из них ещё не отработаны.

В связи с этим требуется разработка различных методов получения порошков, а также усовершенствование уже имеющихся наработок. Также необходимо проводить исследования получаемых порошковых структур на предмет их применение.

1 Обзор литературы

1.1 Металлические порошки и порошковая металлургия

Получение различных материалов и готовых изделий из металлических порошков путем их прессования и спекания получило название порошковая металлургия. Данный вид металлургии обладает рядом существенных преимуществ:

- Возможность получения материалов с определенными, физическими, механическими и технологическими свойствами, которые не представляется возможным получить более распространенными способами.
- Возможность задавать химический состав получаемого материала
- Возможность использования повторно отходные ресурсы после производства
- Изготовление изделий методом порошковой металлургии менее ресурсозатратный и трудоемкий процесс нежели традиционное литье и механическая обработка [9]

1.1.1 Металлические порошки и их свойства

Свойства порошков, полученных методами порошковой металлургии можно разделить на три большие категории: химические, физические, технологические.

Химические свойства. К таким свойствам относятся: химический состав, пирофорность и токсичность. Химический состав складывается из двух компонентов, это металл составляющий основу порошка, а также сторонние примеси. Чистым порошок является в случае, если сторонние примеси в составе не превышают 1%. Чаще всего таковыми примесями выступают различные соединения, которые являются частью сплава основного металла. Нередко в

качестве загрязнителя выступают различные газы, которые увеличивают их хрупкость, что приводит к негативной прессуемости.

Химический состав сильно зависит от условий хранения, вследствие негативного воздействия процессов окисления. Именно поэтому существует две разновидности железа – общее и металлическое. Разница как раз-таки и заключается в количестве железа в оксидах.

Пирофорность – способность порошков самовозгораться на воздухе. Данное явление зависит от химических свойств металла. В большинстве своем металлы не представляют опасности самовозгорания. Наиболее сильно подвержены такому явлению тонкие порошки (железо, никель, кобальт, хром). Благоприятно на снижение такого эффекта сказывается оксидная пленка. Порошки со сферической формой частиц также менее подвержены пирофорности.

Токсичность. В исходном (компактном) состоянии большая часть металлов опасности не представляет. Радикально все меняется после того, как они становятся порошками. В виде порошков металлы могут оказывать негативное влияние на физическое здоровье человека при попадании внутрь. Например, нарушить структуру слизистой оболочки легких, что приведет к ухудшению дыхательной функции.

1.1.2 Физические свойства

К физическим свойствам относятся такие параметры как форма частицы, размер, гранулометрический состав, удельная поверхность частиц, плотность, микротвердость.

Формы частиц (рисунок 1). Форма частицы формируется во время процесса получения металлического порошка. Например, дендритная форма частиц знаменует собой маленькую насыпную плотность, но при этом частицы с такой формой имеют высокую прессовочную плотность. Лепестковая форма

частиц несет в себе большой показатель насыпной плотности относительно дендритной, но лепестковые формы частиц обладают маленьким прессовочным потенциалом.

			
Сферическая	Каплеобразная	Губчатая	Осколочная
			
Дендритная	Волокнистая	Лепестковая	Сложная

Рисунок 1. Формы частиц

Размер частиц и гранулометрический состав порошка. Современные методы получения порошков не позволяют получать изделия с одноразмерным составом частиц.

Для получения порошка с определенными свойствами и размерами требуется определенный показатель зернистости. В таблице 1 приведена классификация категорий зернистости по фракциям. Смешиваний категорий приводит к получению порошков с необходимыми свойствами. Обилие категорий зернистости в структурном составе порошка получило название гранулометрический состав.

Таблица 1. Категории зернистости порошков

Категория зернистости порошка	Размер частиц, мкм
Грубая	150 - 500
Средняя	40 - 150
Тонкая	10 - 40
Весьма тонкая	0,5 - 10
Ультратонкая	Менее 0,5

Гранулометрический состав определяется различными способами. Например, при помощи ситового микроскопа. Но такой микроскоп, ввиду своих конструктивных особенностей способен улавливать частицы не менее 40 мкм. Также гранулометрический состав может быть определен путем анализа спектра пропускания зондирующего широкополосного излучения низкотемпературной плазмой, в потоке которой находятся исследуемые дисперсные частицы.

Для качественной идентификации более мелких конденсированных частиц используют методы электронной микроскопии (просвечивающая, сканирующая).

Удельная поверхность частиц. Удельная поверхность частиц зависит от формы и размера частиц. Чем больше данный показатель, тем больше частицы контактируют между собой, находясь в одной объеме. Имея расширенные понятия о данном показателе можно развивать более эффективные технологии прессовки и спекания

Плотность. Данный показатель отражает отношение массы частиц в порошке к занимаемому ими объему. Чаще всего плотность определяется при помощи пикнометрического метода. Фактические и расчетные показатели данного параметра зачастую отклоняются друг от друга. Данное явление связано с влиянием кислорода и наличием структурных пор.

Микротвердость. При получении порошков может измениться их структура тем самым понизив их способность к деформированию. Показателем способности металлических порошков к деформированию является их пластичность, выводы о которой можно сделать исходя из твердости. Для определения микротвердости состава порошка были разработаны специальные приборы тип ПМТ-3 и ПМТ-5.

1.1.3 Технологические свойства

Среди технологических свойств порошков выделяют: насыпную плотность, текучесть, объем и плотность утряски, прессуемость.

Насыпная плотность $\gamma_{нас}$. Это плотность единицы объема свободно насыпанного порошка. Она определяется удельной плотностью порошка металла и фактическим заполнением единицы объема (рисунок 2). Максимальная насыпная плотность будет проявляться у более крупных и плотно расположенных друг к другу частиц. В рамках существования одного порошка невозможно наличие частиц одинакового размера, поэтому при расположении более мелких частиц между крупными способствует росту насыпной плотности.

Имея точные сведения о насыпной плотности порошка можно рассчитать засыпную камеру пресс-формы. Также с насыпной плотностью связана прессуемость порошка. Чем больше насыпная плотность, тем больше плотность брикета при прессовании. Таким образом, насыпная плотность является очень полезным свойством, поэтому методы ее определения стандартизированы.

Текучесть. Данный параметр отражает скорость прохождения порошка через отверстие определённого диаметра. Точные сведения о текучести порошка помогают более быстро и равномерно заполнять пресс-форму.

Текучесть непосредственно связана с трением и сцеплением частиц друг с другом. Текучесть можно снизить уменьшением удельной плотности материала порошка, изменением размеров частиц, усложнением формы частиц, наличием влаги.

Указанные выше способы могут служить ключом к увеличению текучести. Соответственно при удалении влаги, агломерировании частиц, обкатки порошков текучесть будет повышаться.

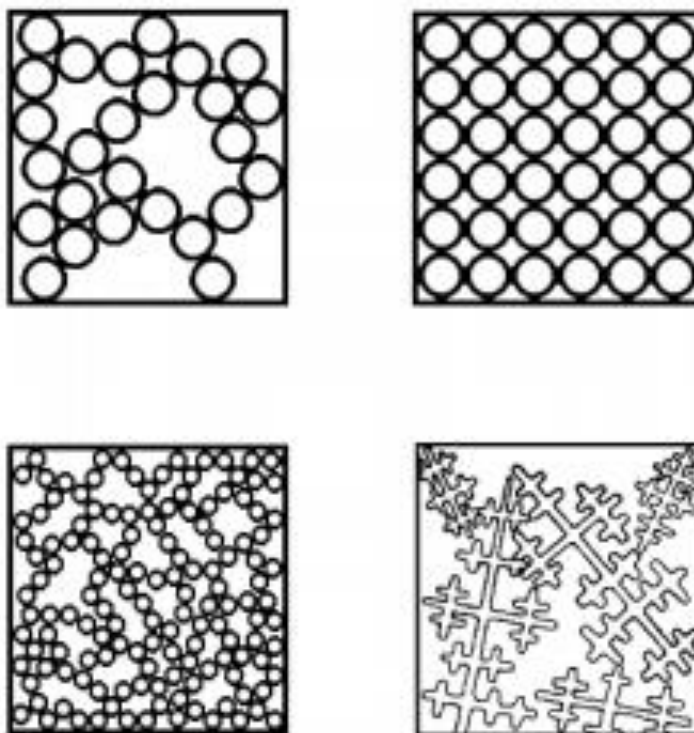


Рисунок 2. Схемы расположения частиц порошка в единице объема

Прессуемость. Комплексный параметр, включающий в себя два составляющих: уплотняемость (способность порошка к обжатию в процессе прессования) и формуемость (способность к сохранению формы после прессования).

Уплотняемость зависит от пластичности частиц порошка, формуемость – от их формы и состояния поверхности. Наилучший показатель формуемости проявляется у порошков дендритной формы.

1.2 Методы получения порошков

Механические методы:

- Дробление и измельчение ультразвуком. Дробление осуществляется при помощи технического устройства под названием мельница. Мельницы бывают вихревые, шаровые, молотковые. Предпочтительно данным методом получают порошки железа, меди, марганца, хрома и т.д.;
- Диспергирование. В данном методе расплавленный металл при помощи инертного газа распыляют на большой диск. Диск выполнен из материала с температурой кипения выше, чем распыляемый на него металл. При этом диск вращают на большой скорости;
- Обработка компактных материалов резанием на технологических режимах, обеспечивающих образование частиц за счет скола материала, а не стружки. Таким образом получают частицы из магния, стали, чугуна, латуни, бронзы.

Физико-химические методы:

- Химическое восстановление из водных растворов. В качестве восстановителя используют кислород или окись углерода. Такими методами получают порошки меди, никеля, кобальта, серебра, кальция.

- Химическое восстановление газообразных соединений металлов. В качестве восстановителя используется водород или углеводород. Данный вид восстановления осуществляется при помощи плазмы. Воздействие осуществляется на соли тугоплавких металлов. Таким способом получают порошки никеля, вольфрама, молибдена, ниобия, тантала.
- Электролиз. Электролизом получают порошки меди, никеля, железа, серебра.
- Диссоциация солей. Осуществляется под воздействием повышенной температуры. Данным методом получают порошки высоко отбора железа, никеля, кобальта, хрома, молибдена, вольфрама.
- Воздействие потоком низкотемпературной плазмы. Исходный материал испаряют при помощи плазмы. Затем конденсируют пары металла на подготовленную охлажденную подложку [9]

1.3 Напыление порошков на различные поверхности

Метод плазменного напыления

Современные достижения в технической области позволяют регулировать режимы плазменной обработки в широких диапазонах. В связи с этим покрытия после плазменного напыления обладают высоким качеством

В связи с развитием различных отраслей науки, появилась потребность в материалах, способных выдерживать большие нагрузки и работать в агрессивных средах. Также необходимы легкие материалы, но при этом с высокими характеристиками по температуре, давлению и прочим параметрам. Такими характеристиками обладают композиционные материалы на основе алюминия, магния и титана.

Несмотря на существенные положительные характеристики композиционных материалов, имеют место быть и некоторые негативные

стороны при производстве. К таковым можно отнести тот факт, что при конечном выходе продукта с хорошими параметрами производительность все равно остается низкой. Также высокие требования к безопасности при работе вследствие воздействия вредоносных излучений и шума.

Метод детонационного напыления

В данном методе напыления распыляемые частицы переносятся на поверхность при помощи энергии взрыва. При помощи детонации газовая смесь разгоняется до скорости, превышающей скорость звука.

Управляемый взрыв происходит в специальной камере. В такой камере частицы ускоряются до 1500 м\с. Вследствие высоких скоростей напыляемая поверхность разогревается до температуры порядка 5000°С. Благодаря данному методу получают покрытия большой плотности и прочности.

Наравне, как и в методе плазменного напыления, в данном методе существует недостаток низкой производительности (4 – 5 «выстрела» в секунду, рабочая толщина покрытия 0,25 – 0,3 мм). Аналогично присутствует и большой шум порядка 140 дБ, что заставляет использовать дополнительные звукоизолирующие материалы.

Газодинамическое напыление

Традиционные газотермические методы используют нагрев дисперсного материала до температуры плавления или даже выше. В результате вышесказанного происходят сложные физико-химические процессы, в том числе реакции окисления, выгорания мелкодисперсных порошков.

Метод «холодного» газодинамического напыления позволяет нивелировать негативные эффекты, вызванные высокотемпературными

эффектами. Это достигается путем использования не тепловой, а кинетической энергии напыляемых частиц.

Напыление на поверхность осуществляется высокоскоростными нерасплавленными частицами. Скорость частиц достигает 1000 м\с. Температура газового потока распыляемых частиц устанавливается меньше температуры плавления напыляемой поверхности.

Можно выделить следующие достоинства данного метода:

- Размер получаемых изделий относится к классу ультрадисперсных порошков;
- Отсутствует негативное воздействие высоких температур частиц, что полностью исключает высокотемпературное окисление;
- Метод предъявляет невысокие пороговые требования к температурам, что облегчает задачу по подбору подложки, на которое протекает весь процесс;
- Простая техническая реализация метода, отсутствуют строгие рекомендации по безопасности ввиду невысоких значений рабочих температур.

1.4 Методы получения порошков для аддитивных технологий

В настоящее время аддитивное производство быстро развивается и внедряется в различные области, такие как авиация, ракетно-космическая отрасль, медицина, приборостроение и другие. Технология, используемая при получении заготовок, во многом зависит от свойств используемого порошка. Даже химически эквивалентные порошки имеют различные свойства, в зависимости от метода получения порошковой композиции и условий технологического процесса.

Производство металлических порошков разделяется на 3 основные части. Сначала на месторождениях добывают руду и получают металл

необходимый чистоты. Затем из полученного металла изготавливают порошок. В конце полученный порошок классифицируют по способу его получения.

Для аддитивных технологий используют способ получения порошков, который получил название атомизация. Данный способ позволяет задавать определенные свойства получаемого порошка, что хорошо подходит для аддитивных технологий.

Существуют различные процессы, которые позволяют получать порошки различных структур и свойств. Для удобства все сведено в сравнительную таблицу (таблица 2).

Таблица 2. Сравнительная таблица различных способов получения порошков

Способ получения	Размер частиц, мкм	Преимущества	Недостатки
Водная атомизация	0-500	Минимальные временные затраты на получение продукта, конечный продукт с набором различных размеров частиц	Необходимость в постоянном удалении воды, низкая производительность
Газовая атомизация	0-500	Минимальные временные затраты на получение продукта, конечный продукт с набором сферических частиц	Наличие сателлитов
Плазменная атомизация	0-200	Конечный продукт с набором сферических частиц	Высокая ресурсозатратность
Метод гидрирования-дегидрирования	45-500	Низкая ресурсозатратность	Невозможность стабилизации формы получаемых частиц

1.5 Обработка мелкодисперсных порошков в потоке индукционной плазмы

Современная порошковая металлургия развивается большими шагами. Проводятся исследования по промышленному внедрению индукционной плазмы. Уже известно о результатах эффективной обработки мелкодисперсных порошков. Данный метод обладает высокой производительностью и определённо имеет будущее в порошковой металлургии.

Высокочастотный индукционный плазмотрон позволяет получать плазму атмосферного давления с температурой до 11 000 К в центре реакционной зоны.

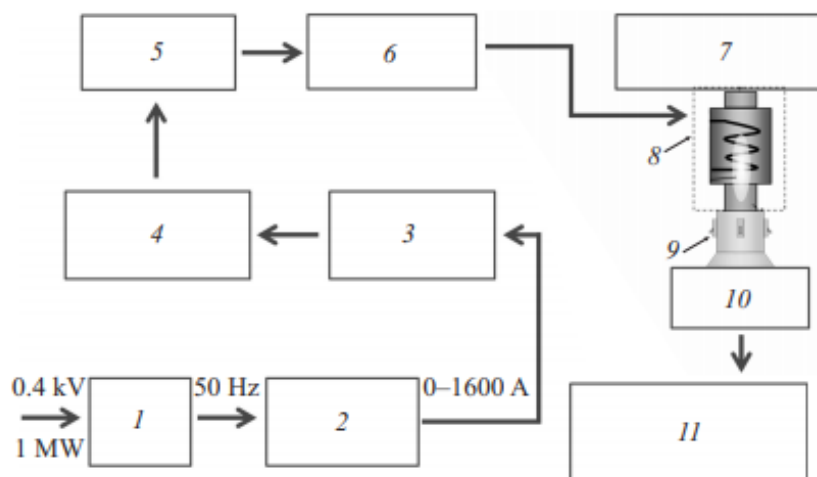


Рисунок 3. Структурная схема установки: 1 — шкаф вводный; 2 — регулятор мощности тиристорный; 3 — трансформатор 0.4/10 kW; 4 — блок высоковольтного выпрямителя; 5 — блок генераторный; 6 — конденсаторная батарея; 7 — подача плазмообразующего газа; 8 — разрядная камера; 9 — узел ввода сырья; 10 — реакционная камера; 11 — система газоудаления, фильтрации и вывода продукта из установки.

На рисунке 3 изображен пример установки из работы [10]. Данная установка использует два генераторных триода мощностью 500 кВт.

Высокочастотный ток проходит через конденсаторную батарею, затем попадает на индуктор, что создает мощное электромагнитное поле в рабочей области установки.

Плазма в этой зоне образуется в кварцевой разрядной камере диаметром 144 mm, с внешней стороны которой соосно находится трех витковый водоохлаждаемый индуктор с высотой витка 67 mm. Используется система «поджига» высокочастотного разряда с вольфрамовым стержнем диаметром 4 mm. При «поджиге» в качестве плазмообразующего газа используется аргон. После включения системы «поджига» в разрядной камере ВЧИ-плазмотрона возникает самоподдерживающийся стационарный безэлектродный индукционный высокочастотный разряд атмосферного давления. В дальнейшем при выводе плазмотрона в рабочий режим аргон плавно замещается воздухом. Воздух также дополнительно по отдельному каналу подается с сильной закруткой в рабочее пространство разрядной камеры в качестве защитного газа. Защитный газ необходим для предотвращения перегрева стенок разрядной камеры. Таким образом, на выходе плазмотрона формируется плазменная струя, которая служит инструментом для термообработки порошка [10]

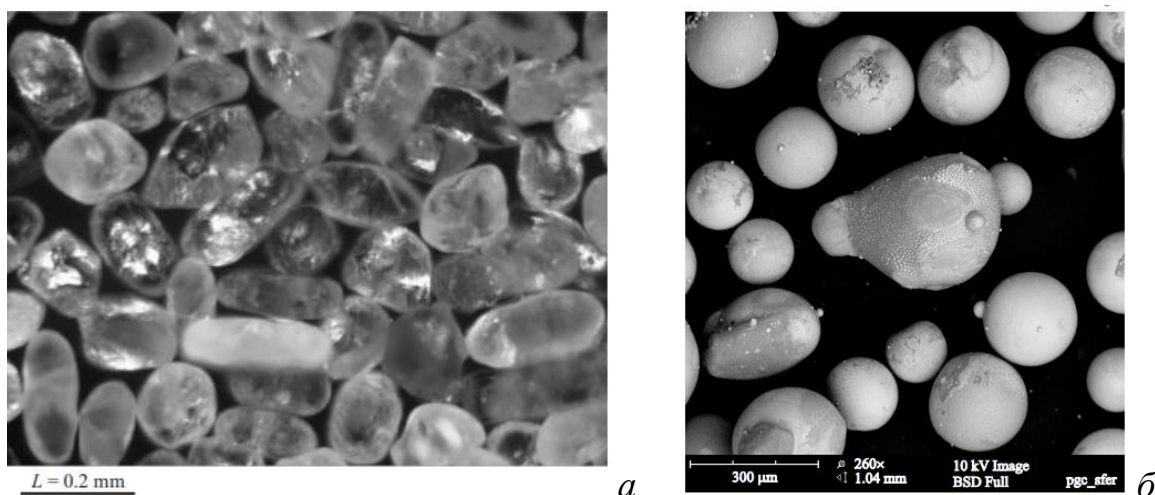


Рисунок 4. а — исходное сырье, б — обработанные частицы.

На рисунке 4б изображена микрофотография частиц мелкодисперсного порошка силиката циркония (размер частиц примерно 50-300 мкм), полученные в потоке индукционной плазмы.

1.6 Сфероидизация металлических порошков в плазме электродугового разряда

Технологический прогресс не стоит на месте. Так, потоки низкотемпературной плазмы научились применять в рядах промышленных операций. Плазма позволяет получать разнообразные порошковые материалы с необходимым составом частиц. Электродуговая плазма дает возможность получения порошков со сферической формой частиц даже из исходного материала с неправильной формой частиц, что удовлетворяет потребностям аддитивных технологий.

Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что водород способствует увеличению энтальпии плазмы. Но существует граница, при прохождении которой начинается испарение ультрадисперсных частиц.

На рисунке 5 изображены частицы после плазменной обработки с помощью электродугового разряда. На микроизображении видны частицы сферической формы до 60 мкм.

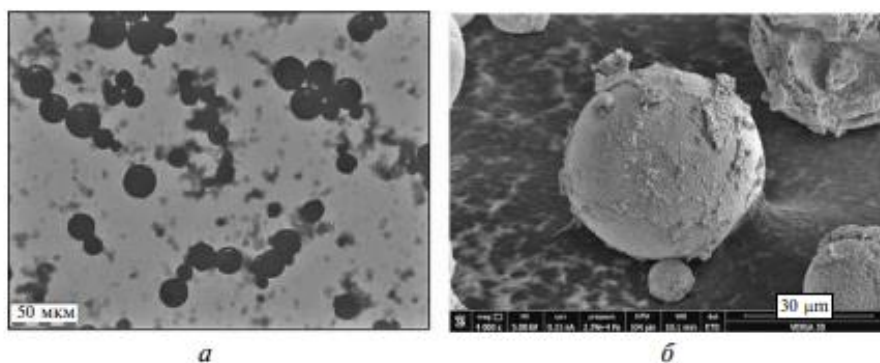


Рисунок 5. Сферические частицы микронного диапазона с присутствием наночастиц: а – оптическая микроскопия; б – электронная микроскопия

В потоке термической плазмы аргона с добавками водорода, генерируемой в электродуговом плазмотороне, могут быть получены сферические порошки титана BT1-0, сплава BT6 и нержавеющей стали 12X18H10T. Размер сферических частиц в зависимости от режимов плазменной обработки составляет от 10 до 60 мкм при счетной степени сфероидизации до 98,5%, при этом средний коэффициент округлости частиц составляет 1,01

1.7 Получение порошков при помощи воздействия ультразвука

В современной технологии одним из наиболее эффективных методов получения порошков металлов является распыление сплавов, осуществляемое газом или водой. Но при этом выходной продукт окисляется и загрязняется шлаковыми агентами. Наиболее чувствительны к таким эффектам порошки из хрома, титана, ванадия, алюминия, которые отличаются высокой чувствительностью к кислороду.

В связи с этим, дабы добиться высоких технологических свойств у порошков используют два приема: создание условий, которые исключают контакт с кислородом в процессе распыления, очищение порошков от кислорода и примесей(рафинирование).

В первом случае, чтобы исключить попадание кислорода используют герметичное оборудование и среду с инертными газами. Из этого вытекает недостаток: для обеспечения нужных условия необходимы ресурсы, а именно дорогостоящее оборудование.

Таким образом, одной из наиболее ярко выраженных проблем является поиск дешевого и в то же время производительного способа рафинирования.

1.7.1 Ультразвуковое диспергирование порошков в жидкости

В последнее время стали активно применять метод изготовления порошков металлов распылением соответствующих расплавов. Порошки, получаемые распылением на поверхности частиц, загрязняются достаточно сильно оксидными плёнками.

Как никогда кстати на помощь пришла ультразвуковая технология очистки порошков, которая показывает себя эффективно благодаря эффектам, возникающим в жидкости под действием ультразвукового поля.

Для изготовления изделий высокой плотности используют ультрадисперсные и дисперсные активные порошки. Повышенные требования предъявляют к химическому составу порошков. В первую очередь это отсутствие грязных примесей.

Использование ультразвуковых колебаний, вводимых в суспензию, позволяет получать порошки с требуемые характеристиками, активностью, высокой химической частоты.

Ультразвуковые методы получения и обработки порошков успешно применяют для широкого диапазона разновидностей материалов. Наиболее ярко выделяются: изготовление порошков ультразвуковым распылением, ультразвуковое измельчение, очистка поверхности в ультразвуковом поле.

Эффективность ультразвукового диспергирования порошков в жидкой среде зависит, прежде всего, от характеристик измельчаемого материала, структурно-морфологического состояние частиц исходного порошка, параметров ультразвукового поля, продолжительности процесса, свойств жидкой среды [14].

1.7.2 Механизм ультразвукового диспергирования

Механизм основан на разрушении частиц порошка, это происходит за счет высвобождающейся энергии при захлопывании кавитационных пузырьков, также вследствие взаимодействия частиц. Перемещаемых акустическими потоками различной масштабности.

Кавитационное разрушение. При попадании в жидкость на поверхности твердой частицы в местах повышенной концентрации напряжений начинают образовываться микротрещины, неровности и т.п. Под действием интенсивных микропотоков, возникающих при пульсации кавитационных пузырьков, поверхностные поры, углубления и микротрещины заполняются жидкостью. Далее так называемые кавитационные пузырьки захлопываются, далее происходит образование ударных волн, либо микроструи жидкости. Если кавитационный пузырь меньше частицы, то происходит захлопывание с образованием микроструи, в другом же случае, очевидно, будет ударная волна. Следует отметить, что центр захлопывания находится не на поверхности твердой частицы, а на некотором от него расстоянии. Максимальное давление ударной волны по мере удаления от центра захлопывания уменьшается обратно пропорционально расстоянию.

В процессе изготовления частицы получаемых порошков обладают высокой степенью дефектности структуры. Это объясняется величиной зерна, пористостью, химическим составом, состоянием поверхности, характером напряженного состояния. Одним из факторов, снижающих прочность сложных составов является отклонение от стехиометрического состава. Согласно концепции хрупкой прочности. Основанной на гриффитсовских представлениях, отклонение от стехиометрии влечет за собой существенное уменьшение разрушающего напряжения.

Гидроабразивное разрушение. Гидроабразивное разрушение – это разрушение частиц в процессе их взаимодействия.

Вследствие действия акустических потоков частица в жидкости начинают двигаться. Во время этого процесса частицы соударяются друг с

другом. Если диаметры частиц отличаются на 2-3 порядка, справедливо утверждать, что происходит гидроабразивная обработка поверхности крупных частиц мелкими. Деструкция может происходить двумя путями: вследствие прямого удара о поверхность, скольжения с последующим ударом о микронеровность [14].

1.7.3 Технология ультразвукового диспергирования

Дисперсионное упрочнение композиционных материалов. Введение тугоплавких оксидов таких как, например, Mg, Al₂O₃, ZrO₂, PbO в виде тонкодисперсных частиц, полученных ультразвуковым диспергированием, в матрицу, в качестве которой используют металлы (хром, медь, свинец), является отличным путем к повышению характеристик композиционных материалов.

Подвергнутый ультразвуковому диспергированию порошок оксида магния, затем введенный в изделие из хрома, повышает временное сопротивление хрома до 25%.

Оксид свинца после ультразвуковой обработки и введения в образцы из свинца, в качестве упрочняющей фазы, показывает возрастание твердости до 30%. Аналогичная ситуация происходит при таких же мероприятиях с оксидом циркония и введением его в образцы из меди.

Такие показатели эффективного увеличения характеристик можно объяснить многими факторами. Самый яркий из них – равномерное распределение тонкодисперсных оксидных частиц в объеме матрицы в тандеме с их близкой к сферической форме.

Диспергирование люминофоров. Качество работы люминесцентных экранов низковольтных вакуумных индикаторов во многом определяется дисперсностью порошков люминофоров, однородностью гранулометрического

состава частиц, адгезионными свойствами, отсутствием загрязняющих примесей (в частности, железа).

Чтобы достичь вышеперечисленных условий используют ультразвуковое диспергирование в воде с использованием статического давления, а также и атмосферного. Дабы избежать загрязнения диспергируемого порошка продуктами эрозии волновода (железа) люминофорную суспензию обрабатывают в стеклянной емкости.

Отмечается, что качество экрана с покрытием после ультразвуковой обработки показывает более хорошие показатели яркости низковольтной люминесценции. Также наблюдается более высокий уровень яркости люминесценции индикаторных ламп, образованными люминофором, обработанным в ультразвуковом поле с применением избыточного статического давления.

Диспергирование тугоплавких соединений. Порошки из карбидов, боридов, оксидов являются тугоплавкими и относятся к классу трудноизмельчаемых. Для изготовления тонкодисперсных порошков, позволяющих получать после спекания плотные изделия с высокими физико-механическими свойствами, используют многочасовое измельчение в шаровых мельницах, помол в планетарных мельницах, измельчение помощью ударной волны.

Таблица 4. Сравнение порошков, измельченных разными методами

ZrC, $P_{пр}=150$ Мпа, $t_{сп}=2100^{\circ}\text{C}$	$\rho_{отн}, \%$
Исходный порошок	58,5
Ультразвуковой	91,0
Ударноволновой	73,0

LaB ₆ , P _{пр} =100 МПа, t _{сп} =2100°С	
Исходный порошок	70,0
Ультразвуковой	88,0
Ударноволновой	87,6
Y ₂ O ₃ , P _{пр} =300 МПа, t _{сп} =2000°С	
Ультразвуковой (t=15 минут)	87,2
Ультразвуковой (t=30 минут)	87,5
На планетарной мельнице(t=10 минут)	89,0

Сравнение спекаемости порошков, измельченных различными методами, позволяет утверждать, что ультразвуковое измельчение наиболее эффективно для порошков тугоплавких соединений с высокой твердостью. Так, в результате ультразвуковой обработки в течение 2 часов удельная поверхность ZrC возросла с 1,9 до 49,2 м²/г. Также применение данного метода способствует повышению плотности изделий из карбида циркония и понижает их температуру спекания до 1900°С [14].

1.7.4 Механизм ультразвуковой очистки порошков

Ультразвуковая очистка порошков успешно себя проявляет при необходимости удаления с поверхности частиц пыли, более мелких фракций

порошка, оксидных пленок, продуктов коррозии и т.д. Очень часто поверхностные загрязнения возникают вследствие плазменного распыления.

Рассмотрим механизм ультразвуковой очистки металлических порошков в жидких средах, химически взаимодействующих с оксидными пленками на частицах.

Известны два механизма удаления пленок при химическом травлении: в первом случае пленка не растворяется, но из-за взаимодействия металла с раствором под пленкой происходит ее отслаивание, во втором оксидная пленка контактирует с травильным раствором и в него переходят продукты реакции. Благодаря звукокапиллярному эффекту, травильный раствор проникает к поверхности металла при помощи образующихся трещин, что способствует деструкции оксидной пленки.

Ультразвуковое поле также способствует механическому разрушению поверхностных пленок благодаря микроударным кавитационным нагрузкам, возникающим при захлопывании кавитационных пузырьков, соударению частиц порошка, а также абразивной обработке окисленной поверхности частицами субмикронных размеров.

Из-за ультразвукового поля в жидкой среде образуются вихревые потоки разных масштабов. В тандеме с действием кавитации и звукового давления изменяется характер диффузионного граничного слоя, непосредственно прилегающего к поверхности частиц порошка.

Все вышеперечисленные процессы в ультразвуковом поле благоприятно сказываются деструкции оксидной пленки, шлама и прочих механических загрязнений по сравнению с химическим травлением, механическим измельчением [14].

1.7.5 Влияние различных факторов на эффективность очистки порошков

Эффективность ультразвуковой очистки зависит, прежде всего, от параметров поля, создаваемого ультразвуком, физико-химических свойств жидкой среды и степени загрязнения поверхности.

Поверхность частиц порошков в процессе их производства подвергаются воздействию различных внешних факторов. На поверхности частиц образуются химические соединения в виде оксидных пленок. В процессе распыления металлических расплавов на поверхности более крупных частиц осаждаются мелкие фракции; при дроблении, измельчении поверхность частиц порошков часто имеет неровный рельеф, состоящий из многочисленных остроугольных выступов, сколов.

Состав и структура оксидных пленок, которые образуются на поверхности металлов, зависит от материала, условий распыления.

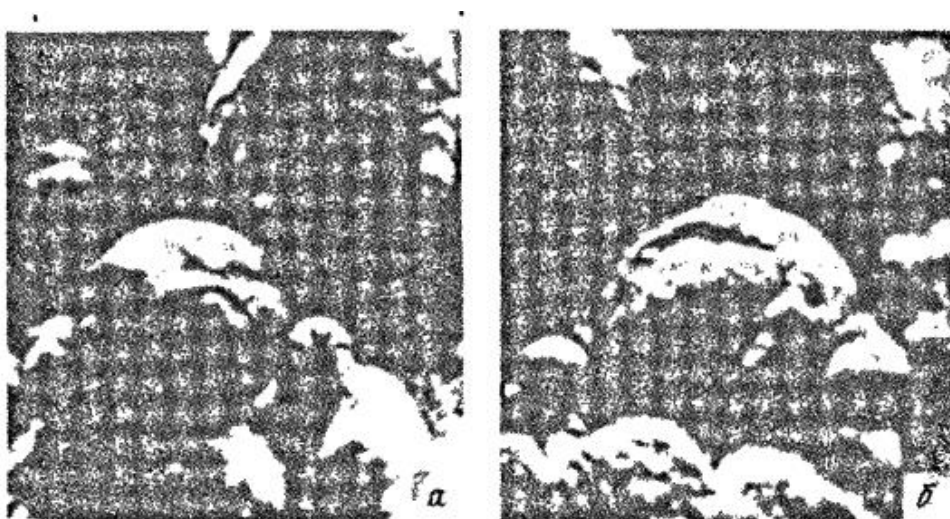


Рисунок 6. Морфология порошка на примере железа Х450
а - отслоение оксида, б – вид оксидной пленки на частицах

Наблюдение за влиянием формы частиц распыленных порошков на характер распределения оксидных пленок помогло выяснить, что на частицах несферической формы слой оксидов сохраняется и в мелких фракциях. Стоит отметить, что сферические частицы получаются в результате распыления газом; при распылении водой наблюдается обратный эффект – частицы неправильной формы. Деструкция оксидных пленок на сферических частицах распыленных порошков возникает вследствие возникновения «изгибающих моментов» в слое оксидов, что, в свою очередь, возникает из-за неоднородности температурного поля в слое при охлаждении частиц.

Ультразвуковую очистку с целью удаления оксидных пленок без применения агрессивных сред проводят в водных щелочных или нейтральных растворах с добавкой поверхностно-активных веществ. В таких средах формируется кавитационная область, отличающаяся высокой эрозионной активностью, и процесс разрушения пленки протекает эффективнее, чем в органических жидкостях.

Ультразвуковое травление порошков. Оксидные пленки удаляют ультразвуковым травлением в растворах кислот. Используя те же составы, что и для химического травления без ультразвука. Однако ультразвуковое травление по сравнению с химическим является более эффективным по ряду причин: оно позволяет значительно ускорить травление, использовать кислоты более низкой концентрации и более низкую температуру.

Состав травильных растворов зависит от структуры металла и оксидной пленки. Чаще всего используют серную, соляную, азотную, а также плавиковую. В таблице 3 приведены составы растворов для травления некоторых сплавов [14].

Таблица 5. Состав растворов для ультразвукового травления, %

Материал изделия	HCl	HNO ₃	HF	H ₂ SO ₄	NaCl
Углеродистые стали (45, Ст3 и др.)	5 - 6	-	-	8 - 10	4 - 5
Хромоникелевые нержавеющие стали (12X18H9, 12X18H10T)	-	8 - 10	1,8 – 2,1	-	-
Хромистые стали (20X13, 40X13)	-	4,5 – 5,0	-	-	-

1.7.6 Ультразвуковая очистка и травление порошков

Очистка железного порошка. В таблице 6 приведены результаты очистки железного порошка фракции 630 ÷ 500 мкм. Очистка проводилась на установке УЗВД – 6 при давлении 0,45 Мпа. В качестве рабочей жидкости была использована дистиллированная вода. Температура рабочей жидкости 40-50°С.

Исходный состав порошка содержал 2,6% (по массе). Ультразвуковая очистка в течение 20 минут обеспечивает снижение кислорода в порошке в 3-5 раз. Также такая обработки приводит к потерям исходного материала от 0,8 до 1,1% (по массе). Это обусловлено диспергирующим действием ультразвукового поля, в результате чего образуется тонкодисперсная фракция, теряемая при последующей промывке порошка [14].

Таблица 6. Степень очистки и потери железного порошка после ультразвуковой обработки

Состав рабочей жидкости	Количество кислорода в порошке после ультразвуковой обработки, % (по массе)	Потери порошка при ультразвуковой обработке, % (по массе)
Дистиллированная вода	0,57-0,69	0,80

H ₂ O + 5 г/л ОП-7	0,53-0,84	0,85
Водный раствор NaOH+ОП-7	0,51-0,62	1,10
Водный раствор NaOH+Na ₂ SiO ₃ +Na ₂ CO ₃ +Na ₃ PO ₄ 12H ₂ O	0,54-0,71	1,15

Порошки железа, получаемые распылением, имеют полидисперсный состав и содержат частицы диаметром от 5 до 10³ мкм.

На рисунке 7 показана зависимость степени очистки от времени ультразвуковой обработки. Как видно из рисунка очистка крупных фракций порошка протекает более интенсивно. Порошки с частицами более 315 мкм после 5 минутной обработки практически полностью очищаются от оксидов.

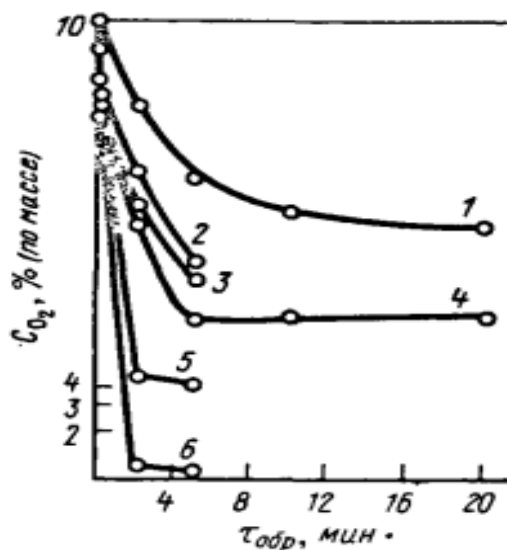


Рисунок 7. Зависимость степени очистки различных фракций порошка железа от времени ультразвукового травления, мкм:

1 - 80÷50; 2 - 160÷80; 3 - 250÷160; 4 - 315÷250; 5 - 500÷315; 6 - 630÷500.

Очистка порошков нержавеющей стали. Порошки нержавеющей и быстрорежущих сталей, получаемые распылением расплавов, в составе

оксидной пленки содержат трудновосстанавливаемые оксиды хрома и отличаются высокой коррозионной прочностью оксидной пленки.

Рассмотрим очистку ультразвуком порошков сталей Р18 и 12Х18Н9 фракции - 630÷50 мкм от оксидов и шламовых примесей. Для хорошо подойдет установка УЗВД-6. В рабочей камере создадим избыточное статическое давление аргона 0,45 МПа. Температура рабочей жидкости – 40-50°С. В качестве рабочей жидкости возьмем бензол, чистую воду, а также воду с добавками эмульгатора ОП-7 и гексаметиленiminaми.

В результате получим, что среда на основе бензола выдает наиболее эффективные показатели очистки. Количество кислорода в порошках, обработанных в среде бензола будет вдвое ниже, чем после обработки в других средах.

Логично предположить, что при увеличении времени обработки в среде бензола будет повышена и эффективность данного процесса. Однако в реальности оказывается, что спустя 15 минут обработки интенсивность обработки резко падает.

Таким образом, ультразвуковая очистка распыленных порошков нержавеющей сталей, наравне, как и очистка железных порошков, в большой степени снижает содержание кислорода, но не дает полноценное его исключение из состава очищаемой поверхности.

Наиболее полную очистку от кислорода дает очистка поверхности в случае ультразвукового травления в агрессивных средах. Наиболее эффективно проявляет себя среда с содержанием 10% азотной кислоты и 2% плавиковой.

Также стоит отметить, что ультразвуковая обработка приводит к повышению характеристик порошков, таких как, например, насыпная плотность, текучесть. Это объясняется снижением шероховатости поверхности частиц. Спекаемость очищенных порошков также повышает свои показатели относительно исходных, это подтверждается результатами измерения прочности и электропроводности спеченных образцов. Также отмечается

существенное различие в свойствах исходных и очищенных образцов. Это обусловлено тем, что в более мелких фракциях наличие кислорода гораздо выше, чем в крупных. Наличие оксидов как раз-таки ухудшает технологические свойства порошков нержавеющей стали [14].

1.8 Получение порошков при помощи воздействия магнитного поля

Одним из наиболее эффективных и привлекательных методов получения высокодисперсных порошков (ВДП) является метод электроискрового диспергирования. Данный метод обладает некоторыми технологическими и физическими преимуществами. Во-первых, аппаратная схема достаточно проста, также обладает немало важным преимуществом в современном мире – экологическая чистота, безотходность технологии, низкая энергоемкость. Кроме прочего, для метода электроискрового диспергирования характерны достаточно высокие температуры (порядка 4000К) в зоне синтеза порошков, высокая дисперсность получаемого продукта (10-1000 нм).

Сущность метода заключается в возбуждении и поддержании электроискрового разряда между двумя электродами или частицами электропроводящего материала. Вследствие этого происходит локальный расплав или испарение материала электродов.

В действительности явление электроискрового разряда характеризуется совокупностью множества электрофизических процессов. Так, при наложении на электроды высокоэнергетических импульсов напряжения и при определенной величине возникающего электрического поля с катода происходит значительная эмиссия электронов. Под воздействием этого поля в межэлектродном промежутке электроны разгоняются и ионизируют молекулы диэлектрической рабочей жидкости, что приводит к возникновению дополнительного числа электронов, обеспечивающего лавинообразное

нарастание процесса. В результате этого возникает канал плазмы диаметром около 50 мкм. Температура в нем оценивается около 104 К, а давление может достигать 300 МПа. После завершения искрового разряда (с окончанием импульса напряжения) происходит резкое падение давления, и перегретые области жидкости быстро вскипают, что вызывает выброс капелек расплава и паров металла в окружающую рабочую среду. Исследование функции распределения частичек по размерам, полученных методом ЭИД, показало, что она имеет бимодальный характер. При этом более крупные частицы размером 0,5-25 мкм образуются в результате затвердевания капель жидкости, а более мелкие (3-50 нм) – в результате конденсации паровой фракции [15].

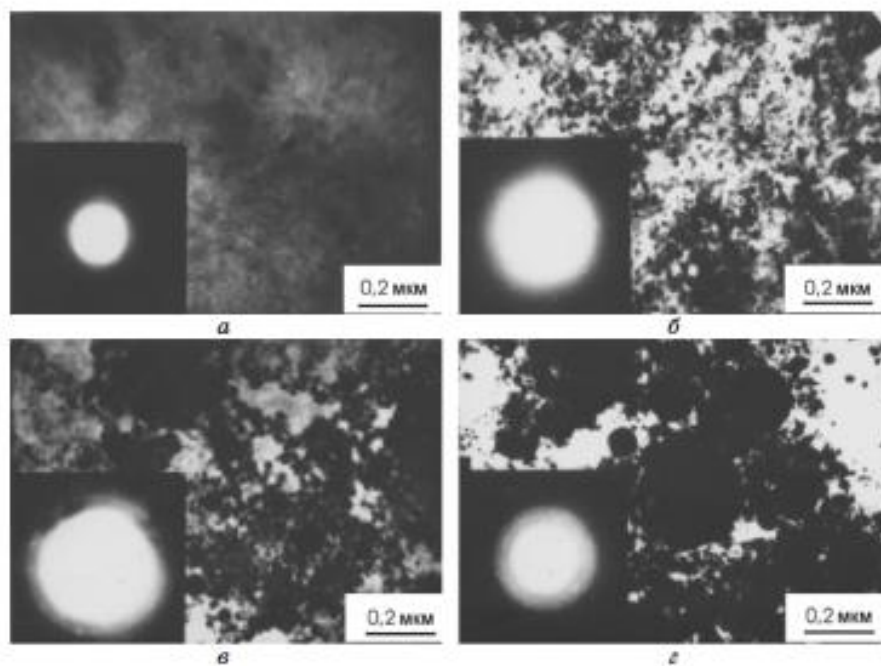


Рисунок 8. Электронные микрофотографии и микродифракция Ni, полученных в этаноле (а, г) и воде (б, в) в исходном состоянии (а, б), после выдержки в воде в течение 10 дней (в) и после высушивания при комнатной температуре (г)



Рисунок 9. Блок-схема установки метода ЭИД. ТБ – технологический блок; ФЭИ – формирователь электрических импульсов; БУ – блок управления; РСПН – регулятор и стабилизатор постоянного напряжения; РЖ – рабочая жидкость; ТСПЖ – технологическая система протока жидкости.

2 Практическая часть

2.1 Экспериментальная установка

Для проведения комплексных мероприятий по исследованию гранулометрического состава и свойств порошков оксидов была подготовлена экспериментальная установка. Экспериментальная установка включила в себя все необходимые системы для проведения успешного исследования.

На рисунке 10 изображена принципиальная схема установки. Экспериментальная установка содержит: дуговой плазмотрон, источник питания постоянного тока, воздушный компрессор, системы отбора проб и безотборной оптической диагностики гранулометрического состава гетерогенных частиц, металлический держатель для отборной подложки.

Дуговой плазмотрон изготовлен на базе стандартного плазменного резака, выпускаемого серийно. Была изготовлен анод в виде насадки на сопло плазменного резака с одноконтурной рубашкой охлаждения. Анод устанавливался на сопло плазменного резака через фторопластовую пленку. В качестве источника питания дугового плазмотрона использовался источник питания плазменного резака Aurora AIRHOLD 42. Максимальный выходной ток составляет 40 А, при выходной мощности 4 кВт, и напряжении питания от сети 220 В. Плазмотрон размещался под колпаком системы вытяжки газов.

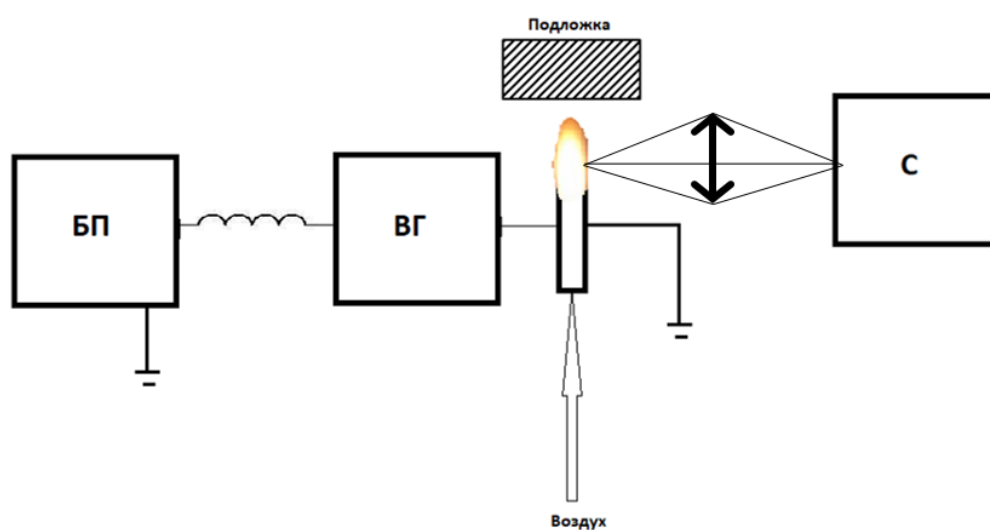


Рисунок 10. Принципиальная схема экспериментальной установки

Плазменный канал дугового разряда вытягивается в линейный поток с помощью воздушной струи (или другого плазмообразующего газа). Этот поток формируется воздушным компрессором, обеспечивающим давление 3-4 атм.

При отборе проб сконденсированных частиц для микроскопического анализа использовались стеклянные пластинки с алюминиевым покрытием. Металлизированный слой подложки обеспечивает отвод электрического тока электронного микроскопа при последующем изучении пробы.

Система безотборной диагностики конденсированной фазы плазменного потока включала в себя источник широкополосного оптического излучения, выполненного в виде светодиода, коллимирующей линзы, собирающего объектива и малогабаритного спектрометра SL-140. Система оптической диагностики собиралась отдельно от плазменного стенда.

На рисунке 11 приведена фотография экспериментальной установки. Плазменные узлы и элементы системы безотборного анализа порошков устанавливались на единой раме.



Рисунок 11. Общий вид экспериментальной установки.

Возбуждение плазменного потока происходит вследствие следующих явлений. При подаче напряжения на электроды между ними возникает электрическая искра. Напряжение этого пробоя зависит от расстояния между катодом и анодом. Далее по искровому каналу, имеющего малое электрическое

сопротивление, протекает ток силовой дуги. Искровой разряд переходит в низковольтную силовую дуга прямой полярности. После вышеперечисленных процессов поддержка горения дуги осуществляется вследствие процессов, характерных для дугового разряда.

В дуговом разряде невозможно избежать контакта электродов с плазмой дуги, что приводит к некоторым негативным последствиям, что, в свою очередь, приводит к частичному расплавлению и испарению материала электродов.

Управление процессом формирования плазменного потока связано со следующими операциями. Для инициирования воздушной плазмы существует управляющая кнопка, которая подает напряжения с высокочастотного высоковольтного блока питания на электроды. Также эта кнопка имеет режим включения воздушного потока без подачи при этом напряжения на катод и анод, что удобно для подбора оптимального газового расхода.

2.2 Методика проведения исследований

При проведении экспериментов на анод подавали охлаждающую водопроводную воду, включали компрессор, включали систему вытяжной вентиляции, включали блок питания плазмотрона.

При отборе дисперсных частиц на подложку выполняли следующую последовательность действий:

1. Установка новой подложки в держатель;
2. Инициирование потока низкотемпературной плазмы;
3. Медленное перемещение подложки через хвостовую часть плазменного потока;
4. Замена подложки и передача использованной подложки в лабораторию электронной микроскопии.

Подложка устанавливалась под углом 10-15° по отношению к плазменному потоку и на расстоянии 25-30 мм от переднего среза плазмотрона. Осаждение частиц на подложку происходило в течение короткого времени (1-1,5 с). После проведения эксперимента подложка помещалась в закрытую среду для исключения попадания на нее частиц, не участвующих в исследовании.

При безотборной лазерной диагностике гетерогенной плазмы подготовка измерительной системы и регистрация данных достигалась путем проведения следующих операций:

1. Включение ПК и запуска ПО PsiLine;
2. Настройка параметров записи или отображения информации ПО PsiLine;
3. Включение светодиода или регистрация исходного спектра зондирующего излучения;
4. Регистрация спектров выпуска плазменного канала;
5. Обработка экспериментальной информации, для определения спектра пропускания, с помощью программы, реализующей решение интегрального уравнения Фредгольма;
6. Обработка спектров пропускания с использованием регуляризирующего алгоритма решения интегрального уравнения Фредгольма.

Поток низкотемпературной плазмы просвечивали с помощью пучка оптического излучения в диапазоне длин волн 420-650 нм. Зондирующий поток формировали из излучения светодиода, имеющего длинноволновую перестройку. Интенсивность зондирующего излучения на разных длинах волн, прошедших гетерогенный поток, регистрировали с помощью малогабаритного спектрометра SL-140 параллельно на всех длинах волн. Считали, что аэрозольный поток имеет цилиндрическую геометрию, через центр которого проходит зондирующий поток оптического излучения.

При диаметре плазменного потока 6-8 мм, каустика зондирующего излучения в области нахождения плазменного канала не превышала 5 мм.

2.3 Расчёт траектории движения дисперсных частиц в газовом потоке

При отборе дисперсных частиц на подложку, для гранулометрического анализа, прямолинейный газовый поток поворачивается на 90° . Поэтому мелкие частицы могут не оседать на подложку. Оценим диапазон размеров дисперсных частиц, не сталкивающихся с подложкой и не оседающей на неё.

При движении дисперсных частиц в газовом потоке на них действует сила лобового сопротивления (сила Стокса):

$$F_c = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot \mu \cdot R \cdot v,$$

где

μ – динамическая вязкость газа,

R – радиус частицы,

v – скорость частицы.

Газовый поток огибает установленную ранее подложку. Поэтому прямолинейный поток газодисперсный поток искривляется и движется по криволинейной траектории. Поэтому на дисперсные частицы действует центробежная сила:

$$F_{цб} = \frac{mv^2}{r}.$$

Учитывая воздействие этих обеих сил можно найти радиусы частиц, которые будут отклоняться от подложки:

$$R = \frac{6mv}{r\pi\mu}.$$

На основе вышесказанного можно получить зависимость, которая определяет потерю отбираемых частиц. На рисунке 12 приведен график зависимости радиусов криволинейной траектории дисперсных частиц от скорости прямолинейного потока газа. Частицы с размерами, которые

находятся в области под графиком, в значительной мере увлекаются газовым потоком и не попадают на подложку. Следовательно, не все частицы представляется возможным изучить при данном методе исследований.

Например, при скорости газового потока 45 м/с частицы размерами менее 0,01 мкм не попадают на подложку.

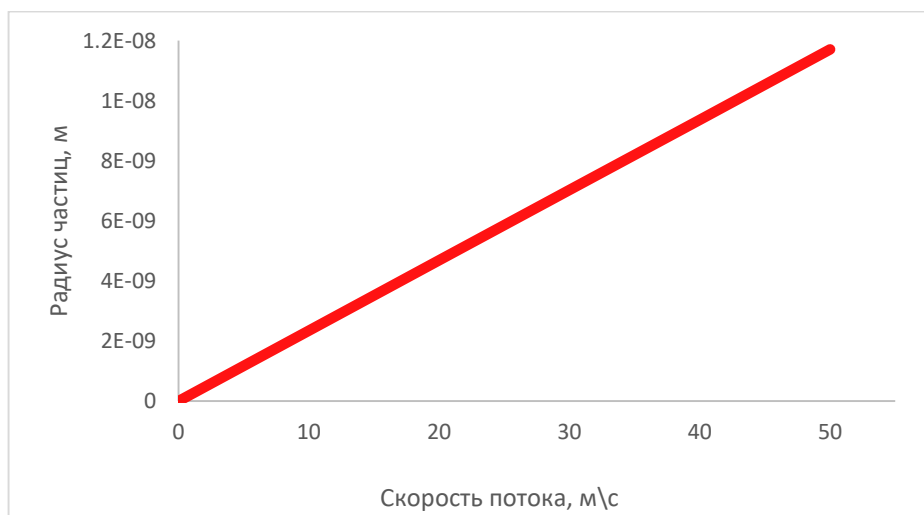


Рисунок 12. Зависимость радиуса частиц от скорости газового потока

2.4 Алгоритм решения обратной задачи для определения гранулометрического состава дисперсной фазы гетерогенной плазмы

Лазерные методы позволяют проводить безотборную диагностику гетерогенных систем. Основные вопросы взаимодействия оптического излучения с одиночной дисперсной частицей и соотношения для расчета интенсивностей прошедшего или рассеянного в разных направлениях света на малых частицах. Теоретической основой интегральных оптических методов диагностики дисперсности аэрозолей является решение интегрального уравнения Фредгольма I рода. Задача сводится к численному решению с помощью компьютера обратной задачи рассеяния потока зондирующего оптического излучения. Например, при обработке экспериментально

регистрируемого спектрального хода коэффициента ослабления интенсивности зондирующего излучения на аэрозоле решается интегральное уравнение вида:

$$\int_{r_1}^{r_2} \sigma(r, \lambda) f(r) = k(\lambda),$$

где $\sigma(r, \lambda)$ – эффективное сечение ослабления дисперсной частицей радиусом r излучения на длине волны λ ; $f(r)$ – функция распределения дисперсных частиц по размерам; $k(\lambda)$ – экспериментально регистрируемое спектральное распределение коэффициентов ослабления, r_1 и r_2 – минимальный и максимальный значения диапазона размеров частиц.

При неточно известных значениях ядра интегрального уравнения или его правой части интегральные уравнения могут иметь множество решений – т.е. задача некорректна. Выбор одного из решений, соответствующей физической задаче, является сложной процедурой. Экспериментальные данные, как правило, представлены измерениями в конечном множестве точек. Тогда интегральное уравнение может быть заменено матричным. В операторном виде уравнение может быть представлено в виде:

$$\Sigma F = K, \quad f \in Y, \quad k \in F,$$

где Y, F – метрические пространства, Σ – непрерывный оператор, отражающий метрическое пространство Y на F .

В качестве приближенного регуляризованного решения матричного уравнения используется вектор F , минимизирующий функционал Тихонова, который может быть записан в следующем виде:

$$M_\alpha = \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n \Sigma_{ji} f_j - k_i \right)^2 + \alpha \left\{ p_0 \sum_{j=1}^n f_j^2 + p_1 h^{-1} \sum_{j=2}^n (f_j - f_{j-1})^2 \right\},$$

где Σ_{ji} – матрица факторов ослабления, k_i – матрица экспериментальных значений, α – параметр регуляризации.

Вектор регуляризованного решения S_α , минимизирующий функционал Тихонова, удовлетворяет системе линейных алгебраических уравнений:

$$\left(\Sigma^* \times \Sigma + \alpha H\right) F = \Sigma^* K.$$

Здесь Σ^* – матрица, транспонированная к матрице Σ . Сглаживающая матрица H имеет вид:

$$H = p_0 h T_0 + p_1 h^{-1} T_1,$$

где $p_0 = (r_{\max} - r_{\min})$, $p_1 = (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) / (r_{\max} - r_{\min})^2$ – масштабные множители, r_{\min} , r_{\max} – границы интервала радиусов дисперсных частиц, $h = r_{i+1} - r_i$ в случае равномерной сетки, T_0, T_1 – диагональные матрицы.

Важным и сложным вопросом при построении регуляризованного решения является выбор величины параметра регуляризации α . При малых значениях α решаемое уравнение близко к исходному. С другой стороны, при очень малом α , в силу малой информативности оптических измерений и наличия ошибок, полученное решение будет сглаженным (или вовсе не иметь физического смысла). Параметр регуляризации α в уравнении зависит от уровня ошибок экспериментальных данных. Наиболее простыми являются: выбор параметра регуляризации α по невязке, а также поиск квазиоптимального значения α .

2.5 Изучение структуры порошка железа

Пробы порошков, осаждаемых на металлизированную стеклянную поверхность, изучали с помощью электронного микроскопа Tescan Vega III MU. На рисунке 13, а приведены SEM-изображения порошка оксида железа. Видно, что анализируемый порошок имеет широкий спектр размеров частиц. На микрофотографиях видны объемные конгломераты субмикронных частиц, а также некоторое количество сферических частиц размерами менее 10 мкм.

На сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega III MU с использованием блока для энергодисперсионного анализа INCA Energy

(INCAx-act) также определяли содержание элементов. Предел обнаружения для большинства элементов составляет 0,05 – 0,1% масс., с точностью $\pm 2\%$ при концентрациях более 10%. На спектре рентгеновской флюоресценции (рисунок 13, б) регистрируются пики железа и кислорода. По относительной интенсивности 78:22 (для относительного содержания элементов Fe - O) энергодисперсионного спектра можно предположить лишь наличие оксида железа FeO.

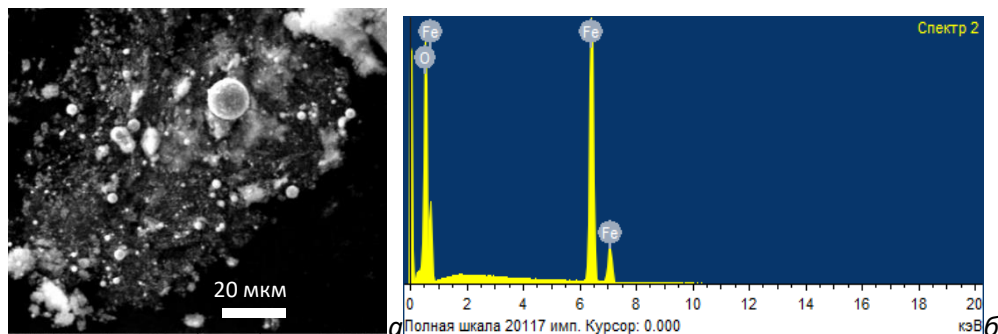


Рисунок 13– SEM-изображения порошка из плазмы дуги: *а* – изображение частиц в режиме вторичных электронов, *б* – рентгеновский спектр.

Логично предположить, что дисперсные частицы с размерами 1-10 мкм появляются из-за отрыва крупных кусков материала от электродов. Микронные и субмикронные частицы формируются из газообразных веществ, образующихся за счет испарения электродов.

2.5 Изучение структуры порошка SiO₂

Известно, что нагретые кварц и стекло являются хорошими проводниками электрического тока. Для получения паров SiO₂ на электроды надевали трубки из стекла. При поддержании дуги более 30 секунд стекло разогревалось, плавилось и точка контакта плазменного канала переходила на стекло. Это приводило к интенсивному испарению стекла. Для управления дисперсностью образующегося порошка использовали внешнее постоянное

слабое магнитное поле. Магнитное поле формировали с помощью двух постоянных магнитов, устанавливаемых навстречу друг к другу. На рисунке 14 приведены SEM-изображения частиц SiO_2 , осаждаемых на пластинку.

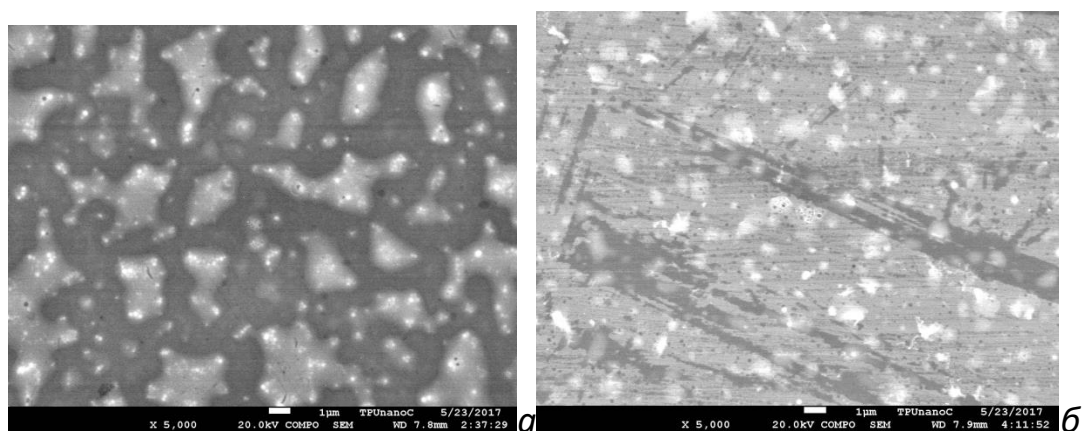


Рисунок 14 – SEM-изображения частиц SiO_2 (увеличение в 5 000 раз), осаждаемых из плазмы дуги в магнитном поле: *а* – 0, *б* – 30 мТл.

На SEM-изображениях дисперсных частиц с увеличением в 2 000 раз видно следующее. Дисперсные частицы, образующиеся без магнитного поля, имеют широкий диапазон размеров. Видны скопления частиц на площади размером менее 3 мкм. В некоторых скоплениях видны отдельные частицы размером менее 250 нм. Также видны отдельные частицы размером менее 300 нм. В постоянном магнитном поле 30 мТл наблюдается незначительное количество скоплений частиц на площади менее 1 мкм. Также наблюдается значительное количество отдельных частиц размером менее 200 нм.

Дисперсные частицы, образующиеся без магнитного поля, на подложке сгруппированы в конгломерат с более мелкими частицами (рисунок14, *а*). В этих конгломератах различаются отдельные частицы размером менее 250 нм. В скоплениях частиц, полученных в магнитном поле 30 мТл (рисунок14, *б*), наблюдаются отдельные частицы размером менее 200 нм и множественные области подложки размером менее 300 нм с удаленным металлизированным

слоем. Металлизированный слой может быть удален с поверхности подложки при столкновении с крупными горячими частицами.

При увеличении в 10 000 раз без магнитного поля на подложке также наблюдаются незначительное количество поврежденных областей проводящего слоя размером менее 80 нм. В магнитном поле формируются отдельные частицы и частицы, образующие конгломерат с более мелкими частицами. На изображениях с увеличением в 60 000 раз видны отдельные частицы размерами около 10 нм, образовавшиеся без поля и отдельные частицы размером до 40 нм, образовавшиеся в магнитном поле. Гранулометрический состав наночастиц SiO₂, определяли путем подсчета количества частиц разных размеров на SEM-изображениях.

2.6 Определение гранулометрического состава порошка ZnO

Оксид цинка формировали путем испарения металла в воздушной атмосфере. Для этого в плазменный поток вводился порошок металлического цинка. При этом формировался оранжевый поток частиц оксида цинка. Этот поток просвечивали потоком широкополосного излучения. Для определения спектрального хода коэффициентов пропускания величины интенсивностей, полученных с потоком частиц, делили на интенсивности на тех же линиях без гетерогенного потока.

Анализ полученных экспериментальных данных о спектральном ходе коэффициентов пропускания конденсированных частиц цинка показывает следующее. На участке спектра 0,42 – 0,63 мкм графики имеют незначительное отклонение от линейной зависимости с разными углами наклона к оси ОХ. При длительном наблюдении без магнитного поля угол наклона графиков изменяется в более широком диапазоне, чем в постоянном магнитном поле. Использовали магнитное поле с индукцией 0 или 30 мТл.

Данные о частицах ZnO размерами менее 140 нм не удастся получить из данных о коэффициентах пропускания оптического излучения в диапазоне спектра зондирующего излучения 0,42-0,63 мкм. Это связано с тем, что влияние мелкой фракции частиц металлического Zn на спектральный ход коэффициентов пропускания значительно меньше, чем более крупной фракции. Поэтому влияние более мелких частиц на коэффициент пропускания незначителен.

На рисунке 16 приведены графики спектрального хода коэффициентов пропускной способности гетерогенной плазмы, содержащей оксид цинка в магнитном поле Земли (0 мТл) и магнитном поле 30 мТл. Спектры группируются по углу наклона, которые объединены цветом. Эти группы обусловлены отличием модалого радиуса частиц. Спектры обрабатывались с помощью имеющегося программного обеспечения для решения спектрального уравнения Фредгольма. Локальное уменьшение коэффициента пропускания связано с малой интенсивностью зондирующего излучения в этих областях спектра и нелинейностью коэффициента чувствительности ПЗС-матриц, используемых в спектрометре.

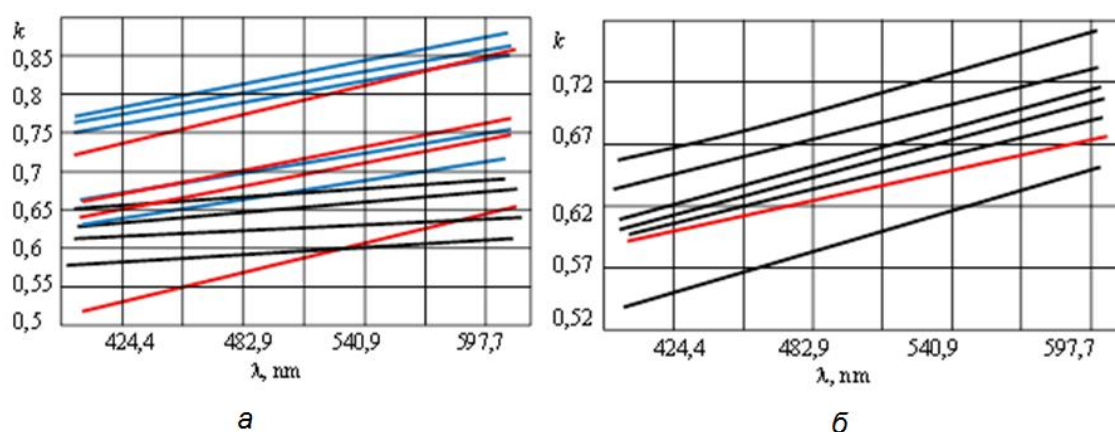


Рисунок 16. Графики спектрального хода коэффициентов пропускания частиц ZnO. *a* - поле 0 мТл, *б* - поле 44 мТл.

На рисунке 17 приведен график распределения наночастиц ZnO по размерам, а также диапазоны максимумов в распределении по размерам, соответствующие различным магнитным полям. Из анализа гранулометрического состава конденсированных частиц Zn следует следующее. Модальный размер частиц конденсированной фазы, образующийся без магнитного поля, изменяется в диапазоне 150-190 нм. Полуширина функции распределения частиц по размерам не превышает 20 нм. В магнитном поле 0 мТл модальный размер функции распределения находится в диапазоне 160-170 нм, а в поле 30 мТл – 180-190 нм.

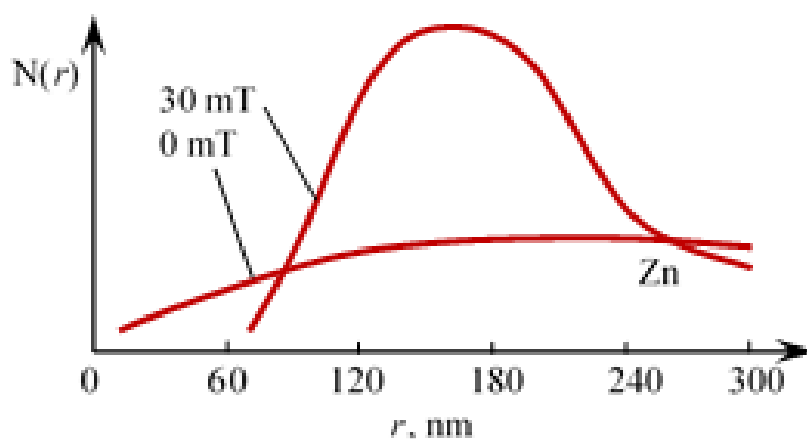


Рисунок 17. Гранулометрический состав частиц оксида цинка

Анализ дисперсного состава конденсированных наночастиц из паров ZnO, образующийся при охлаждении парогазовой смеси в различных условиях, показывает следующее. Во внешнем постоянном магнитном поле 0 или 30 мТл гранулометрический состав, определяемый из данных оптического зондирования, образующихся конденсированных наночастиц ZnO, в диапазоне 100-200 нм, более однороден и стабилен во времени, чем без поля. Модальный размер распределения частиц по размерам больше в более сильном постоянном магнитном поле.

Наблюдаемые экспериментально результаты объясняются изменением спиновой динамики в магнитном поле и уменьшением времени триплет-

синглетной конверсии спиновых пар. Во внешнем постоянном магнитном поле увеличивается скорость формирования ядер конденсации из отдельных молекул оксида и вероятность достижения ими критического размера пропорционально величине внешнего магнитного поля.

Увеличение скорости формирования ядер конденсации из паров ZnO в постоянном магнитном поле 0 и 30 мТл и роста конденсированных частиц уменьшает степень пересыщения пара. В результате прекращается процесс образования новых ядер конденсации. При этом скорость роста уже имеющихся наночастиц поддерживается на более высоком уровне, чем без поля. Это приводит к сужению распределения по размерам образующейся конденсированной фазы и смещения максимума в распределения по размерам в сторону крупных частиц. Из-за образования, в магнитном поле, более крупных частиц их концентрация меньше. Поэтому формируются также меньшее количества конгломератов. Скорость роста наночастиц, в этих условиях, ограничивается временем диффузии паров из свободного пространства к поверхности конденсированной фазы.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта «Плазменная переработка оксидов металлов».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
2. Провести анализ конкурентных технических решений.

3. Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта.
4. Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации.
5. Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта.
6. Рассчитать бюджет научного исследования.
7. Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести инвестиционные компании, частных инвесторов, готовых вкладывать свои деньги в акции. Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

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

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст, национальность, образование.

Сегментировать рынок услуг по разработке математической модели можно по следующим критериям: формирование портфеля, управление портфелем.

Услуги по формированию портфеля:

- инвестиционные компании;
- инвесторы (физ. лица);

Услуги по управлению портфелем:

- инвестиционные компании;
- инвесторы (физ. лица).

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Основным конкурентом сформированного инвестиционного портфеля может выступать модель формирования портфеля, основанная на другом методе. В данной работе была рассмотрена плазменная переработка порошков оксидов металлов, а в качестве конкурента выбрана традиционная переработка порошков оксидов металлов.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 7.

Таблица 7. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_{ϕ}	B_{κ}	K_{ϕ}	K_{κ}

1. Скорость расчёта	0,5	5	4	2,5	0,5
2. Удобство использования выбранной модели	0,3	4	3	1,2	0,9
3. Простота понимания модели	0,1	5	5	0,5	0,5
4. Надежность модели	0,05	4	2	0,2	0,1
5. Сходимость модели	0,03	4	4	0,12	0,12
6. Адаптивность метода	0,02	4	4	0,08	0,08
Итого	1	26	22	4,6	3,7

Позиция разработки и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что плазменная переработка по многим показателям является наиболее предпочтительней, чем традиционная.

3.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой сводную таблицу, иллюстрирующую связь между внутренними и внешними факторами компании. Целью данного анализа является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Приведем матрицу SWOT-анализа для переработки оксидов металлов с применением воздушной плазмы.

Таблица 8. Матрица SWOT

	Сильные стороны С1.Технология, позволяющая достичь лучшего качества продукта. С2.Расширенный потребительский рынок. С3.Обширная база ресурсов для реализации.	Слабые стороны Сл1. Доступность методики исполнения. Сл2. Внедрение новой производственной технологии и обусловленные этим сложности.
Возможности В1. Работа с разными типами реакторов. В2. Заключение договора с крупной компанией (Росатом).	В1С1 Реализация большого числа проектов. В1С2 Исполнение индивидуальных заказов. В2С1 Получение выгодного контракта и улучшение репутации.	В2Сл1 Исполнение сложных задач узкой направленности. В2Сл2 Возможность обучения сотрудников и покупки необходимого оборудования.
Угрозы У1. Сильные конкуренты. У2. Политические санкции, кризис.	У1С3 Возможность выполнения большего числа заказов. У2С2 Обеспечение конкуренции за счет способности к исполнению задач разного типа.	У1Сл1 Переход на более сложную технологическую цепочку. У2Сл2 Аналитика политической ситуации и своевременное реагирование на изменение цен.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными в сложившейся ситуации являются следующие стратегии:

1. Необходимо реализовывать большое количество проектов различной специализации и сложности и своевременно реагировать на политические и экономические факторы;

2. Необходимо обучить сотрудников навыкам работы в новом технологическом цикле, обеспечив высокий уровень конкурентоспособности.

3.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим степень готовности научной разработки к коммерциализации и выясним уровень собственных знаний для ее проведения. Для этого заполним специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 9. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1

8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	1
	ИТОГО БАЛЛОВ	43	28

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме

теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (2)$$

где

$B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации находится на среднем уровне. Этот уровень можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и т.д.

3.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

1. Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.
2. Передача ноу-хау, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.
3. Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.
4. Франчайзинг, т.е. передача или переуступка разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.
5. Организация собственного предприятия.
6. Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.
7. Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.
8. Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Таким образом, для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как инжиниринг. Так как консультант имеет знания и опыт в оказании инженерно-технических услуг, но не имеет возможности построить собственное предприятие, заключается договор с заказчиком. Заказчик имеет собственное производство, но нуждается в дополнительном ведении узконаправленных проектов, которые выступают как вспомогательные для реализации рабочего процесса. Хотя методика и доступна в открытом доступе, необходимы ресурсы для найма сотрудников. В данном случае заказчику выгоднее заключать договор с компанией извне, а не создавать собственный отдел по расчету какой-

либо составляющей процесса. Консультант же способен к выполнению большого количества задач и гибкости в отношении их количества и потраченного на проект времени.

3.6 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1. Цели и результат проекта.

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представим в таблице 10.

Таблица 10. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Частные инвесторы	Получение максимальной доходности в зависимости от вложений
Управляющие компании	Использование в атомной промышленности переработки оксидов

Представим информацию об иерархии целей проекта и критерия достижения целей в таблице 11.

Таблица 11. Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Внедрение в атомное производство аддитивных технологий
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка технологии получения порошков различных материалов
Критерии приемки результата проекта:	Использование в промышленности технологии получения порошков определенного качества
Требования к результату проекта:	Требование:
	Надлежащее качество продукта, соответствующее регламенту
	Удовлетворение потребностей инвесторов

2. Организационная структура проекта.

Определим участников рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Представим эту информацию в таблице 12.

Таблица 12. Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Хоцеловский Н.С., ТПУ, магистр	Построение модели переработки оксидов металлов	Основной разработчик проекта	492
2	Хан В.А, ТПУ, доцент	Консультации по основным вопросам темы	Руководитель проекта	62
ИТОГО:				554

3. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Представим эту информацию в таблице 13.

Таблица 13. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	175362,12
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	5 месяцев
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	09.01.2021
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2021

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

3.7 Планирование управления научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в Таблице 14.

Таблица 14. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И
	3	Изучение материалов по теме	И
Выбор направления исследований	4	Анализ методов переработки оксидов металлов	И
	5	Выбор метода выполнения работы	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Изучение микроструктуры порошка, прошедшего плазменную переработку	И
	7	Анализ результатов работы	И
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 15.

Таблица 15. Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
------------	----------	-------------------	-------------------	----------------------	-------------------

1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	1	09.01.2021	10.01.2021	Хоцеловский Н.С. Хан В.А.
2	Календарное планирование работ по теме	2	11.01.2021	15.01.2021	Хоцеловский Н.С.
3	Изучение материалов по теме	9	16.01.2021	28.01.2021	Хоцеловский Н.С.
4	Анализ исходных параметров	8	29.01.2021	07.02.2021	Хоцеловский Н.С.
5	Выбор метода выполнения работы	7	08.02.2021	18.02.2021	Хоцеловский Н.С. Хан В.А.
6	Применение метода к исходным параметрам	29	19.02.2021	30.03.2021	Хоцеловский Н.С.
7	Анализ результатов работы	35	31.03.2021	15.05.2021	Хоцеловский Н.С.
8	Составление отчета по работе	10	16.05.2021	31.05.2021	Хоцеловский Н.С.
ИТОГО:		101			

Диаграмма Гантта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 16 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 16. Календарный план-график проведения работ

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ														
				январь			февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Научный руководитель, инженер	1	■														
2	Календарное планирование работ по теме	Инженер	2	■														
3	Изучение материалов по теме	Инженер	9		■													
4	Анализ методов переработки оксидов металлов	Инженер	8			■												
5	Выбор метода выполнения работы	Научный руководитель, инженер	7				■											
6	Изучение микроструктуры порошка, прошедшего плазменную переработку	Инженер	29						■	■	■	■						
7	Анализ результатов работы	Инженер	35										■	■	■	■	■	■
8	Составление отчета по работе	Инженер	10															■

■ – инженер, ■ – научный руководитель.

Таким образом, построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

3.8 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты НИИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Отразим стоимости всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, на доставку.

Таблица 17. Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага, формат А4	Пачка	1	295	295
Картридж для принтера	Шт	1	2650	2650
Программное обеспечение TERRA	Шт	1	13000	15000
Итого:				17945

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3)$$

где

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4)$$

где

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 10,4;

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_p, \quad (5)$$

$Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (г. Томск).

Таблица 18. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Приведем расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_M = 33300 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 56277 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{56277 \cdot 10,4}{251} = 2331,8 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 2331,8 \cdot 8 = 18654,4 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для инженера:

$$Z_M = 14874,45 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 25137,82 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{25137,82 \cdot 10,4}{251} = 1041,57 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1041,57 \cdot 101 = 105198,57 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведем в таблице 13.

Таблица 19. Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{\text{пр}}$	k_p	Z_M , руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	33300	0,3	1,3	56277	2331,8	8	18654,4
Инженер	14874,45	0,3	1,3	25137,82	1041,57	101	105198,57
Итого:							123852,97

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (6)$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

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

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведем в таблице 20.

Таблица 20. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Научный руководитель	18654,4
Инженер	105198,57
Коэффициент отчислений	0,271
Итого:	33564,15

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 21.

Таблица 21. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	17945
2. Основная заработная плата	123852,97
3. Отчисления во внебюджетные фонды	33564,15
Бюджет затрат:	175362,12

Таким образом, проведено планирование бюджета научного исследования, рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). Бюджет затрат составил 175362,12 рублей.

3.9 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин:

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (7)$$

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (8)$$

где

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 22.

Таблица 22. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	2
3. Помехоустойчивость	0,20	3	4

4. Энергосбережение	0,20	4	5
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,10	5	4
Итого:	1	26	22

$$I_{\text{ТП}} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 = 4,6$$

$$I_{\text{аналог}} = 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 = 3,8$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{\text{исп.}i}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}} \quad (9)$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}} \quad (10)$$

Таблица 23. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,8
	Интегральный показатель эффективности	4,6	3,8
	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,21	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом, основываясь на показателях эффективности.

3.10 Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Потенциальными потребителями результатов исследования являются инвестиционные компании, частные инвесторы.

В результате проведения анализа конкурентных технических решений сделан вывод о том, что выбранный метод переработки оксидов металлов является наиболее предпочтительным, чем технология, используемая в производстве на данный момент.

Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. По итогам выполнения SWOT-анализа выбраны наиболее эффективные стратегии.

Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации показала средний уровень, который можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта.

В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

При планировании бюджета рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды. Бюджет затрат составил 175362,12 рублей.

Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

4 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Таким образом осуществляться планомерное повышение качества и эффективности средств защиты от вредных и опасных производственных факторов.

Законодательство Российской Федерации об охране труда основывается на Конституции Российской Федерации и Трудовом кодексе Российской Федерации.

Работодатель берет на себя обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.) остановимся на некоторых понятиях.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [1].

Условия труда – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника [1].

Вредный производственный фактор – производственный фактор,

воздействие которого на работника может привести к его заболеванию.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме и смерти.

Безопасные условия труда – такие условия труда, при которых воздействие вредных или опасных производственных факторов на работников исключено или уровни их воздействия не превышают установленные нормы [1].

Рабочее место – место, в которое необходимо прибыть работнику для выполнения его работы.

Поставленные задачи требует использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с задачами создания безопасных условий труда. При разработке требований производственной санитарии используются результаты исследований ряда медицинских и биологических дисциплин [2].

Огромнейшее влияние на решение проблем охраны труда оказывает качество подготовки специалистов в этой области, их умение принимать верные решения в сложных и динамичных условиях современного производства [2].

Рабочие, служащие, инженерно-технические работники и руководящий состав обязан следовать правилам по охране труда и техники безопасности.

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Научно-исследовательская работа проводилась на кафедре технической физики. Исследования велись на ПЭВМ, а также использовалась установка с плазменным резаком.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам

элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В таблице 24 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

Таблица 24 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Расчёт данных на ПЭВМ. Работа на плазменной установке.	–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)	Пожарная опасность	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы» СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» ГОСТ 12.1.004-91

			Пожарная безопасность
Работа с химическими реактивами	Химические вредные вещества	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

– Физические:

- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой частоты;
- освещённость;
- наличие излучения.

– Химические: вредные вещества (оксиды азота и углерода).

– Психофизиологические:

- физические перегрузка (статическая, динамическая);
- нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ВЧФ-плазмотроне и ПЭВМ

4.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной

санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

4.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 18.

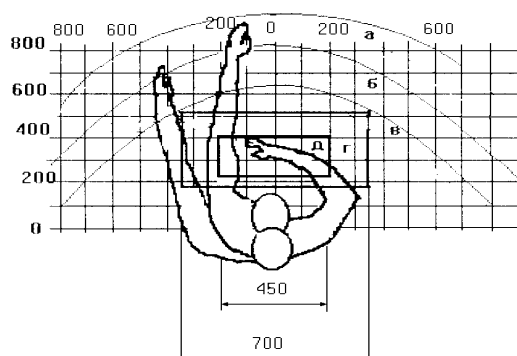


Рисунок 18. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- а – зона максимальной досягаемости рук;
- б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в – зона легкой досягаемости ладони;
- г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне, а (в центре); клавиатура – в зоне

г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне, а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

4.2.3 Условия безопасности работы

Основные параметры, характеризующие условия труда – это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [3] и приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха,
-------------	-----------------	----------------------------	----------------------------

			м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

При эксплуатации ВЧФ плазмотрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, такие как оксиды азота и углерода, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимых концентраций (таблица 26).

В таблице 26 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности.

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные.

Таблица 26 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид азота	5,0	2

2	Диоксид азота	2,0	2
3	Оксид углерода	20,0	4
4	Диоксид серы	10,0	3
5	Сумма углеводородов	300,0	4

Вентиляция — процесс удаления отработанного воздуха из помещения и замена его наружным. Система вентиляции обеспечивает отток и приток воздуха в помещении. Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д. Система вентиляции на плазматроне осуществляется с помощью специальных движимых лопастей. Скорость потока воздуха через газоход (вентиляцию) равна 18,76 м/с.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок

при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор. Согласно [4] уровень шума компрессора не превышает 65 дБ, что соответствует санитарным нормам [5]. Шум на рабочем месте может быть вызван работой ПЭВМ. Уровень шума ПЭВМ лежит в пределах 30-40 дБ, что также соответствует [4].

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. ВЧФ-плазматрон питается от генератора высокочастотного тока. Генератор полностью экранирован. Согласно [6], предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения.

Экран и системные блоки ПЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [3] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 2,5В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц-400кГц – 25нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [3] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

4.3 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время

ремонта электрических приборов;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Электрический ток, проходя через организм человека может оказывать на него три вида воздействий:

– термическое действие тока:

- появление на теле ожогов разных форм;
- перегревание кровеносных сосудов;
- нарушение функциональности внутренних органов, которые находятся на пути протекания тока.

– электролитическое действие: расщепление крови и иной органической жидкости в тканях организма.

– биологическое действие:

- нарушение нормальной работы мышечной системы;
- возникновение непроизвольных судорожных сокращений мышц;
- нарушению нормальной работы органов дыхания и сердца, в том числе абсолютное прекращению их функциональности.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека являются:

- электрические травмы – местные повреждения тканей организма в результате действием электрического тока или электрической дуги. К электрическим травмам можно отнести такие повреждения как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения;
- электрические знаки – проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или

бледно желтого цвета. Как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно;

- металлизация кожи – возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги. Кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок;
- электроофтальмия – возникает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами;
- механические повреждения – проявляются под действием тока, произвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпус электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей);
- применение средств защиты:

Электрозщитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения

электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [7]:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

При выполнении данной работы применен плазменный резак. Данный резак питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,4÷10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 60 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В.

4.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [8], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение

лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева

оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем. При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112.

Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Выводы

1. Разработана экспериментальная плазменная установка с выходной мощностью 4 кВт. Получены порошки оксидов металлов.
2. Получены микрофотографии порошка оксиды железа с модальным размером частиц 20 мкм, а также его рентгенофлуорисцентный спектр, определен гранулометрический состав порошка оксида цинка путем лазерного зондирования с модальным размером частиц 165 нм в магнитном поле и 220 нм без поля соответственно, получены микроизображения порошка оксида кремния с модальным размером частиц в магнитном поле 250 нм и 300 нм без поля.
3. Получена зависимость, при помощи которой определяется радиус частиц, которые не представляется возможным уловить на подложку. При скорости 45 м\с частицы размером менее 0.01 мкм не задерживаются на подложке.

Заключение

Результаты проведенного исследования могут быть использованы для совершенствования методов получения порошков для атомной энергетики и порошковой металлургии.

Список публикаций

1. К.С. Иванов, Н.С. Хоцеловский, А.Д. Побережников. Плазмохимический синтез и исследование модельных композиций «Sm–Ce–Be–O». // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. - Томск: Изд-во ТПУ, 2019. - С. 131.
2. Н.С. Хоцеловский, А.А. Каренгин, А.Д. Побережников. Моделирование процесса плазмохимического синтеза наноразмерных сложных оксидных композиций «UO₂–PuO₂–Y₂O₃» для уран-плутониевого дисперсионного ядерного топлива // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Российский и международный опыт подготовки кадров». – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. - С. 52.
3. Н.С. Хоцеловский, А.А. Каренгин, А.Д. Побережников. Плазмохимический синтез и исследование наноразмерных сложных оксидных композиций, моделирующих дисперсионное уран-ториевое ядерное топливо // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (26-29 октября 2020 г.) / Томский политехнический университет. - Томск: Томский политехнический университет, 2020. - С. 53.
4. В.В. Сопыряев, Н.С. Хоцеловский, А.А. Каренгин. Исследование процесса плазмохимического синтеза наноразмерных оксидных композиций для уран-ториевого дисперсионного ядерного топлива // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 сентября 2020 г. - Томск: ТПУ, 2020 - С. 664-665

Список использованных источников

1. Организация, нормирование и оплата труда: Учебное пособие / А. С. Головачев, Н. С. Березина, Н. Ч. Бокун и др.; Под общ. Ред. А. С. Головачева. – М.: Новое знание, 2004. – 496 с. /Глава 5
2. Пашуто, В. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие / В. П. Пашуто. – М: КНОРУС, 2005. – 320 с. / Глава 7/
3. Моссэ А.Л., Печковский В.В. Применение низкотемпературной плазмы в технологии неорганических веществ. Минск, Наука и техника, 1973. – 216 с.
4. Эксплуатационная документация для компрессора AIRTECH 220/25W1.
5. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки"
6. Эксплуатационная документация ВЧГ8-60/13-01, 2000 г.
7. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. –Изд. 2-е, доп. И перераб. –М.: Наука, 1972. – 720с.
8. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества.
9. Гропянов А.В., Ситов Н.Н., Жукова М.Н. Порошковые материалы: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2017. -74 с
10. ВЧ и СВЧ плазмотроны / С.В. Дресвин и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 319 с. (Низкотемпературная плазма. Т. 6).
11. Рыкалин Н.Н., Сорокин Л.М. Металлургические ВЧ плазмотроны: Электрогазодинамика. М.: Наука, 1987.
12. Цветков Ю.В., Панфилов С.А. Низкотемпературная плазма в процессах восстановления. М.: Наука, 1980.

13. Туманов Ю.Н. Плазменные, высокочастотные, микроволновые и лазерные технологии в химико-металлургических процессах. – М.: Физматлит, 2010. - 968 с.
14. Ультразвук в порошковой металлургии. Агранат Б.А., Гудович А.П., Нежевенко Л.Б.М.: Металлургия, 1986. 168с.
15. Сидорова Е.Н., Дзидзигури Э.Л., Левина В.В. Дисперсные характеристики нанопорошка никеля // Металлы. 2008. №. 6. С. 78—82.
16. Михайлов И.Ю., Конюхов Ю.В., Рыжонков Д.И., Костицын М.А. Получение молибденовых нанопорошков из отходов нефтехимической промышленности // Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия. 2012. №. 3. С. 51—56
17. Довбыш В.М., Забеднов П.В., Зленко М.А. Аддитивные технологии и изделия из металла // Библиотечка литейщика. – 2014. – № 9. – С. 29–30.
18. Tsantrizos P.G., Allaire F., Entezarian M. Method of production of metal and ceramic powders by plasma atomization: patent US 5707419. – Appl. date 15.08.1997; publ. date 13.01.1998.
19. Boulos M. Plasma power can make better powders // Metal Powder Report. – 2004. – Vol. 59, iss. 5. – P. 16–21
20. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977. – 184 с
21. Енчинова А.И., Зенин Б.С. Оптимизация параметров процесса напыления газотермических покрытий // Новые материалы. Создание, структура, свойства – 2013: сборник трудов XIII Всероссийской школы-семинара с международным участием. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С.180-184.
22. Tan Y., Longtin J.P., Sampath S. // Proc. of Intern. Thermal Spray Conf. Seattle, USA, 15–18 May 2006 (Electronic publication)
23. Ladru A., Reymann H., Mensing M. et al. // Proc. of Intern. Thermal Spray Conf. Seattle, USA, 15–18 May 2006 (Electronic publication).
24. Solonenko O.P., Mikhalchenko A.A., Kartaev E.V. // Proc. of Intern. Thermal Spray Conf. Basel, Switzerland, 2–4 May 2005 (Electronic publication).

Приложение А
(обязательное)

Plasma processing of metal oxide powders

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Хоцеловский Н.С.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Хан В.А.	д.т.н		

Консультант – лингвист кафедры Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯИ	Шайкина О.И.			

CONTENTS

A1.1 Metal powders and powder metallurgy

A 1.1.2 Physical characteristics

A 1.1.3 Technological characteristics

A 1.2 Processing of fine powders in an induction plasma flow

A 1.3 Obtaining powders using a magnetic field

A1.1 Metal powders and powder metallurgy

The production of various materials and finished products from metal powders by pressing and sintering is called powder metallurgy. This type of metallurgy has the following advantages:

- The possibility of obtaining materials with certain physical, mechanical and technological properties that are not possible to obtain by methods that are more common.
- The possibility to vary the chemical composition of the resulting material
- The possibility to reuse waste resources after production
- Manufacturing of products by powder metallurgy is a less resource-intensive and labor-intensive process than traditional casting and machining

A 1.1.1 Metal powders and their characteristics

The characteristics of powders obtained by powder metallurgy methods can be divided into three large categories: chemical, physical, technological.

Chemical characteristics. These properties include chemical composition, pyrophoricity and toxicity. Chemical composition - the content of the base metal in the powder, as well as contaminants. We can talk about the purity of the powder if the percentage of the base metal is 98-99%. Most often, contaminants are solid solutions or chemical compounds of the metals included in the alloy. There are also mechanical impurities; these are wear products of crushing and grinding units. Often, various gases act as a pollutant, which increase their fragility, which leads to negative compressibility.

A feature of the chemical composition as a phenomenon as a whole is its dependence on certain conditions, since oxidation usually occurs during storage in a powder mass.

Pyrophoricity is the ability of powders to ignite spontaneously in air. This phenomenon depends on the chemical properties of the metal. Most metals do not pose a danger of spontaneous combustion. The most susceptible to this phenomenon

are fine powders of such metals as, for example, iron, cobalt, nickel, chromium, manganese, titanium, vanadium, zirconium, uranium, and carbides. It should be noted that extremely fine powders are capable of spontaneous combustion. Pyrophoricity depends on the surface condition of the powders. Oxide films reduce it. The shape of the particles also has some influence. For example, powders with a larger specific surface area are more prone to spontaneous combustion than spherical powders, which have a smaller specific surface area.

Toxicity. In the initial (compact) state, most of the metals are not dangerous. Everything changes radically after they become powders. Moreover, already in this state, they are poisonous (toxic) to one degree or another. Powders have the most destructive effect for the human body when they enter the lungs or blood of a person. The finest powders are the most toxic.

A 1.1.2 Physical characteristics

Physical properties include such parameters as particle shape, size, grain size distribution, specific surface area of particles, density, microhardness.

Particle shapes (Figure 1). This property depends on the method of obtaining the powder and affects its technological properties. For example, powders with a dendritic particle shape have the lowest bulk density, the worst fluidity, but are best pressed and give the highest compact density. Lobe-shaped powders also have a low bulk density, but are very poorly compressed.



Figure A1. Particle shapes

Particle size and grain size distribution of the powder. In modern realities, it seems possible to obtain only powders consisting of particles of different sizes, in view of the methods of their preparation. At the same time, to obtain a compact with constant dimensions and characteristics, it is required that the initial powders have a certain grain size. There are several categories of powder granularity (table A1). Each of the presented categories of powders can be classified by size into fractions. By mixing powders of different fractions, it is possible to obtain uniformly distributed characteristics of finished products at the output. The content of fractions of various sizes is the granulometric composition of the powder.

Table A1. Categories of powder granularity

Categories of powder granularity	Particle size, μm
Heavy	150...500
Medium	40...150

Fine	10...40
Very Fine	0,5...10
Ultra Fine	< 0,5

Sieve microscopic analysis and sedimentation are used to determine the grain size distribution. Sieve analysis is suitable only for the identification of heavy and medium powders due to the size of the holes in the meshes, they are of the order of 40 microns.

The microscopic method is able to determine the smallest particles with a size of 0.3 ... 100 microns. Determination of the sizes of such small orders is carried out with an electron microscope. The measurement accuracy depends on the number of measurements and on the quality of the prepared product.

Specific surface of the particles. This property is the total surface area of all particles per unit mass or volume of the powder. Depends mainly on the shape and size of the particles and is a characteristic of the development of the powder surface. Information about specific surface allows the development of more efficient pressing and sintering technologies, since an increase in the specific surface area of the particles gives more contacts between particles per unit volume.

Density. When calculating the density of the powder and comparing the obtained value with the actual one, significant deviations are found. This phenomenon is explained by the presence of oxides and internal pores in the powders. Most often, density is determined using the pycnometric method.

Microhardness. Upon receipt of powders, their structure may change, thereby reducing their ability to deform. An indicator of the ability of metal powders to deform is their plasticity, conclusions about which can be made based on hardness.

A 1.1.3 Technological characteristics

Among the technological characteristics of powders are bulk density, fluidity, volume and density of the tap, compressibility.

Bulk density. This is the density of a unit volume of loose powder. The specific density of the metal powder and the actual filling of the unit of volume determine it. The maximum bulk density will appear in larger and more densely spaced particles. Within the framework of the existence of one powder, the presence of particles of the same size is impossible; therefore, when smaller particles are located between large ones, it contributes to an increase in the bulk density

Having accurate information about the bulk density of the powder, you can calculate the filling chamber of the mold. In addition, the compressibility of the powder is associated with the bulk density. The higher the bulk density, the higher the density of the briquette during pressing. Thus, the bulk density is a very useful characteristic, therefore the methods for its determination are standardized.

Fluidity. This parameter reflects the speed of passage of the powder through a hole of a certain diameter. Accurate powder flow information helps to fill the mold faster and more evenly.

Fluidity is directly related to the friction and adhesion of particles to each other. The fluidity can be reduced by reducing the specific gravity of the powder material, particle size, complicating the shape of the particles, and the presence of moisture.

Compressibility. A complex parameter that includes two components: compaction (the ability of the powder to be squeezed during pressing) and formability (the ability to retain its shape after pressing).

Compaction depends on the plasticity of the powder particles, shapeability - on their shape and surface condition. The best formability is shown for dendritic powders.

A 1.2 Processing of fine powders in an induction plasma flow

The industrial application of high-frequency induction (HFI) plasmatrons makes it possible to process fine powders with high productivity and is an urgent trend in powder metallurgy.

The high-frequency induction plasmatron allows obtaining atmospheric pressure plasma with temperatures up to 11,000 K in the center of the reaction zone.

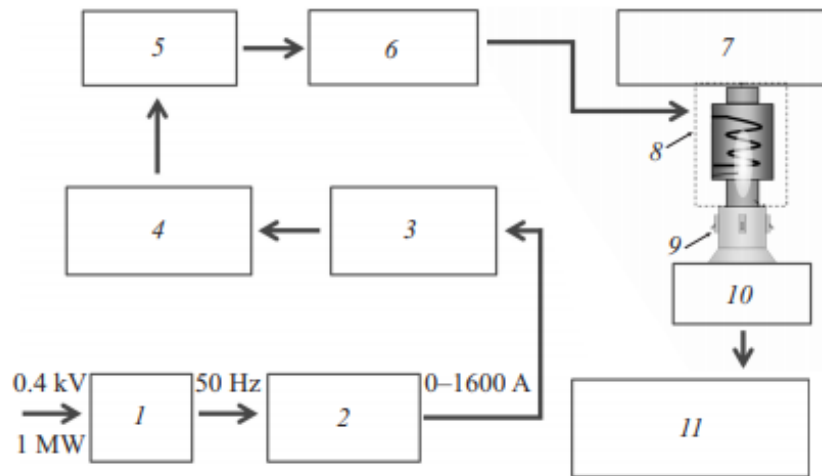


Figure A2. Block diagram of the installation: 1 - introductory cabinet; 2 - thyristor power regulator; 3 - transformer 0.4 / 10 kW; 4 - high-voltage rectifier unit; 5 - generator block; 6 - capacitor bank; 7 - supply of plasma-forming gas; 8 - discharge chamber; 9 - raw material input unit; 10 - reaction chamber; 11 - system for gas removal, filtration and product removal from the installation.

This installation uses 2 generator triodes of the Svetlana plant GU-65A with a capacity of 500 kW. The high-frequency current passes through the capacitor bank, which together with the high-frequency generator forms an oscillatory circuit. Further, a high-frequency current is fed to an inductor, with the help of which a powerful electromagnetic field is created in the working area of the HFI plasmatron.

Plasma in this zone is formed in a quartz discharge chamber 144 mm in diameter, on the outer side of which there is a three-turn water-cooled inductor with a turn height of 67 mm coaxially. A high-frequency discharge "ignition" system with a tungsten rod 4 mm in diameter is used. Argon is used as a plasma-forming gas during "ignition". After turning on the "ignition" system, a self-sustaining stationary electrodeless induction high-frequency discharge of atmospheric pressure arises in the discharge chamber of the HFI plasmatron. Subsequently, when the plasmatron is brought into operating mode, argon is gradually replaced by air. Air is also additionally supplied through a separate channel with a strong swirl to the working space of the discharge chamber as a shielding gas. Shielding gas is required to prevent overheating of the walls of the discharge chamber. Thus, a plasma jet is formed at the outlet of the plasma torch, which serves as a tool for heat treatment of the powder.

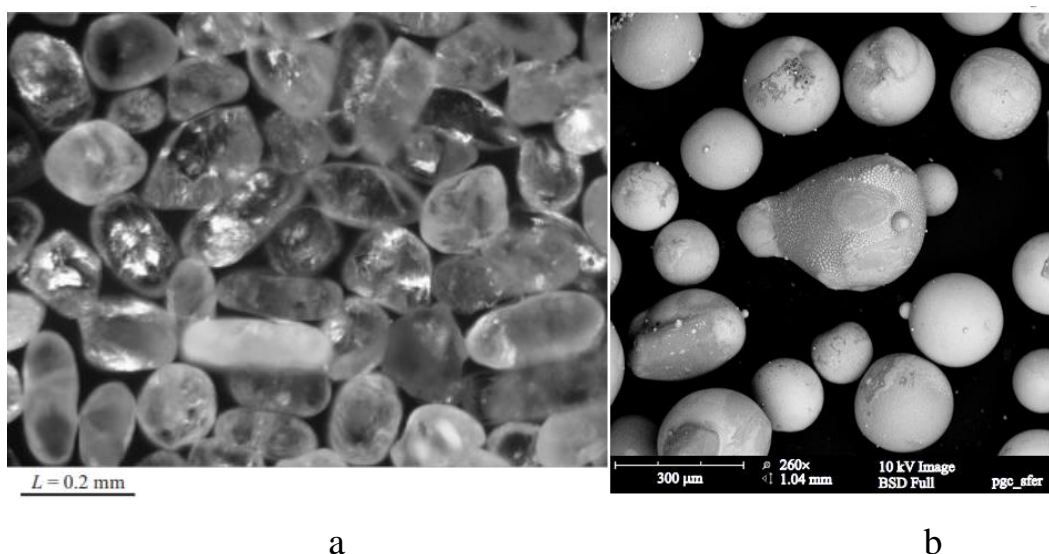


Figure A3. a – initial stock, b – cure particles

Figure A3b shows a micrograph of particles of a finely dispersed zirconium silicate powder (particle size of about 50-300 μm) obtained in an induction plasma flow.

A 1.3 Obtaining powders using a magnetic field

One of the most effective and attractive methods for obtaining highly dispersed powders is the method of electrospark dispersion. This method has several technological and physical advantages. Firstly, the hardware circuit is quite simple; it also has many important advantages in the modern world - environmental friendliness, waste-free technology, low energy consumption. Among other things, the method of electrospark dispersion is characterized by rather high temperatures (about 4000K) in the zone of powder synthesis, high dispersion of the resulting product (10-1000 nm).

The method consists in initiating and maintaining an electric spark discharge between two electrodes or particles of an electrically conductive material. As a result, local melting or evaporation of the electrode material occurs.

In reality, the phenomenon of an electric spark discharge is characterized by a set of many electrophysical processes. Therefore, when high-energy voltage pulses are applied to the electrodes and at a certain value of the arising electric field, a significant emission of electrons occurs from the cathode. Under the influence of this field in the interelectrode gap, the electrons are accelerated and ionize the molecules of the dielectric working liquid, which leads to the appearance of an additional number of electrons, which provides an avalanche-like increase in the process. As a result, a plasma channel with a diameter of about 50 μm appears. The temperature in it is estimated at about 104 K, and the pressure can reach 300 MPa. After the completion of the spark discharge (with the end of the voltage pulse), a sharp drop in pressure occurs, and the overheated areas of the liquid rapidly boil, which causes the

release of melt droplets and metal vapors into the surrounding working environment. The study of the particle size distribution function obtained by the EID method showed that it has a bimodal character. In this case, larger particles with a size of 0.5-25 microns are formed as a result of solidification of liquid droplets, and smaller ones (3-50 nm) - as a result of condensation of the vapor fraction.

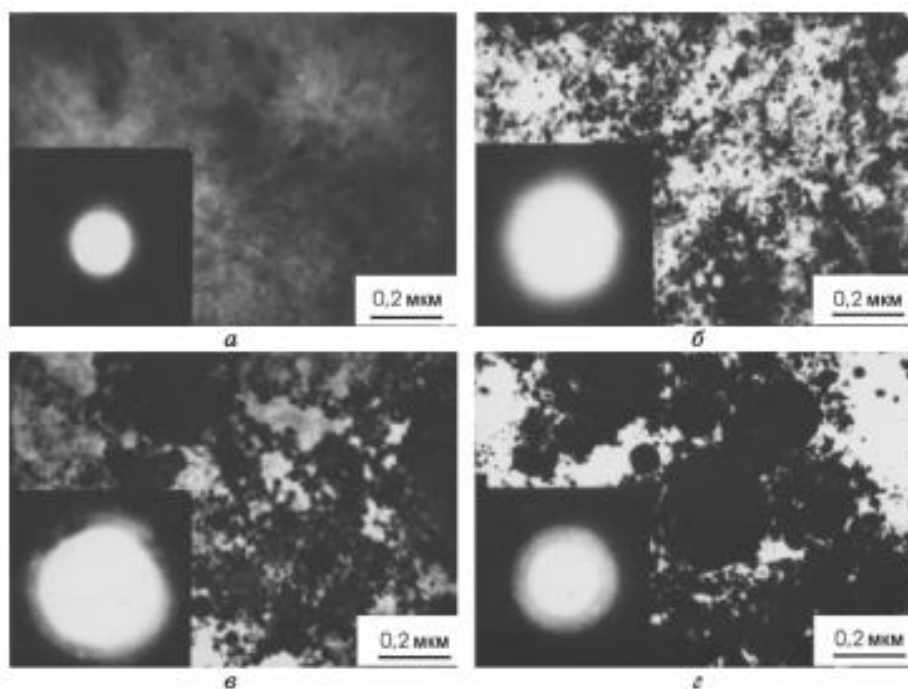


Figure A4. Electron micrographs and microdiffraction of Ni obtained in ethanol (a, Γ) and water (δ , \mathbb{B}) in the initial state (a, δ), after holding in water for 10 days (\mathbb{B}) and after drying at room temperature (Γ)



Figure 5. Installation block diagram. ТБ - technological unit; ФЭИ - electric impulse shaper; БУ - control unit; РСПН - constant voltage regulator and stabilizer; РЖ - working fluid; ТСПЖ is a technological fluid flow system.