

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния дисперсности исходных материалов на синтез оксинитрида алюминия

УДК 544.77.023.5:661.862'022'041

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Шляпкина Полина Юрьевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н. ДОЦЕНТ		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ООП 18.03.01 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических

	соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние,

	организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ДПК(У)-1	Способность проводить стандартные испытания материалов и изделий, проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку и анализ результатов

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8А	Шляпкиной Полине Юрьевне

Тема работы:

Исследование влияния дисперсности исходных материалов на синтез оксинитрида алюминия

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – оксинитридная керамика из порошков различной дисперсности.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i></p>	<p>Анализ литературных источников; постановка задач исследования; изучение методов исследования; анализ результатов экспериментов; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность; заключение по работе.</p>

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна, доцент ОСГН ШБИП, к.т.н.
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна, старший преподаватель
Экспериментальная часть	Ревва Инна Борисовна, доцент НОЦ Н.М.Кижнера, к.т.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.01.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Ревва Инна Борисовна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Шляпкина Полина Юрьевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 89 с., 18 рис., 27 табл., 24 источника.

Ключевые слова: оксинитрид алюминия, AlON, оксинитридная керамика, прозрачная керамика, дисперсность.

Объектом исследования является влияние дисперсности исходных материалов на синтез оксинитрида алюминия.

Цель работы – определить влияние дисперсности сырья на синтез оксинитрида алюминия.

В процессе исследования проводились опыты получения оксинитрида алюминия с использованием порошков различной дисперсности и изучение их влияния на физико-химические свойства керамики.

В результате исследования показано влияние дисперсности на синтез оксинитрида алюминия.

Область применения: бронекерамика, защитные стекла для гаджетов, оптические приборы.

Экономическая эффективность/значимость работы превосходит аналоговые.

В будущем планируется доработка технологии получения оксинитрида алюминия.

Нормативные ссылки

Трудовой кодекс Российской Федерации

ГОСТ 12.2.033-78. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.

ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение.

ГОСТ 12.1.003-2014. Система безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.007-2014. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.

ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

Определения, обозначения и сокращения

ИК-спектр – инфракрасный спектр

СВЧ – сверхвысокочастотное излучение

ЧС – чрезвычайная ситуация

ПДК – предельно-допустимые концентрации

Оглавление

Введение	13
1 Литературный обзор	14
1.1 Современные представления о физико-химических и технологических процессах получения ALON-керамики	14
1.2 Строение и свойства AlON керамики	17
1.3 Методы получения оксинитрида алюминия	20
1.3.1 Карботермическое восстановление-азотирование (CRN)	20
1.3.2 Микроволновое спекание	22
1.3.3 Жидкофазный синтез	24
1.3.4 Метод горячего прессования	26
1.3.5 Плазменно-искровое спекание	27
1.3.6 Реакционное спекание	29
1.4 Особенности применения материалов различной дисперсности при получении AlON	30
1.5 Свойства и области применения оксинитридной керамики	31
2 Методы исследования	33
2.1 Гидростатическое взвешивание	33
2.2 Рентгенофазовый анализ	34
2.3 Растровая электронная микроскопия	36
3 Экспериментальная часть	37
3.1 Характеристика исходного сырья	37
3.2 Технологические особенности получения AlON керамики	41
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	49
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	50

4.1.3 SWOT-анализ	51
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	53
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	53
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	55
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	55
4.2.4 Инвестиции для разработки и внедрения научно-технического исследования (НТИ)	60
4.2.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	61
4.2.5.1 Расчет материальных затрат НТИ	61
4.2.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	62
4.2.5.3 Основная заработная плата исполнителей	63
4.2.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	65
4.2.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	65
4.2.5.6 Накладные расходы	66
4.2.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	67
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	68
4.4 Выводы по разделу	71
5 Социальная ответственность	75
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства	76
5.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	77
5.2 Производственная безопасность	78
5.2.1 Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении	78
5.2.2 Недостаточная освещенность	79
5.2.3 Повышенный уровень шума	81
5.2.4 Опасность попадания химических веществ в организм человека	82

5.2.5 Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса	83
5.3 Экологическая безопасность	83
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
5.5 Выводы по разделу	85
Заключение	86
Список использованных источников	87

Введение

ALON-керамика обладает высокой прочностью и твердостью, а также устойчивостью к влажности и хорошими оптическими свойствами. Поэтому оксинитридная керамика является важным материалом и широко используется во многих областях. При высоких значениях светопропускания ALON-керамика может применяться для инфракрасной (ИК) и видимой области. Благодаря выдающимся механическим и эксплуатационным свойствам керамика на основе оксинитрида алюминия активно исследуется и улучшается.

В частности, прозрачная керамика находит применение в качестве защитного стекла для дисплеев, так как она прочная, но упругая и легкая. В России не так много производителей, поэтому тема остается актуальной.

В данной работе объектом исследования является синтез оксинитрида алюминия. Предметом исследования является влияние дисперсности исходных материалов на синтез оксинитрида алюминия.

1 Литературный обзор

Основной фазой керамики, изготавливаемой из оксинитрида алюминия, является γ -AlON кубической сингонии. Свойства этого материала можно сравнить со свойствами монокристаллического сапфира [1]. В некоторых странах производство AlON керамики идет в промышленных масштабах, однако в России ее изучают относительно недавно и активно исследуют.

1.1 Современные представления о физико-химических и технологических процессах получения ALON-керамики

Синтез оксинитридной керамики происходит при участии таких сложных процессов, как спекание в условиях отсутствия давления, горячее прессование и горячее изостатическое прессование, при этом необходимо поддерживать высокие температуры на длительное время [1]. Так как такие условия может обеспечить не каждая лаборатория, исследования, связанные с оксинитридной керамикой, остаются актуальными и сегодня.

Также стоит отметить, что такие методы получения сильно изнашивают оборудование и заставляют тратить слишком много электроэнергии. Кроме того, из-за высокотемпературного спекания происходит активная рекристаллизация. Возникает внутрикристаллическая и межкристаллическая пористость, что уменьшает показатели прочности керамики. Температуру спекания оксинитридной керамики можно уменьшить за счет оксидных спекающих добавок – они повышают интенсивность образования жидкой фазы на границах зерен [2]. Примечательно, что окончательно механизм взаимодействия добавок еще не изучен.

Если рассматривать технологию получения керамики на основе оксинитридной керамики в целом, то можно сказать, что она основана на физико-химических методах – технологических процессах, при которых в результате физико-химических превращений вещество переходит в порошкообразное

состояние [3]. Таким образом, химический состав полученного продукта может отличаться от химического состава исходного сырья.

Важным этапом является прессование, то есть придание порошкам определенной формы в результате приложения силы. На рисунке 1.1 показаны этапы прессования в закрытой форме. В итоге порошок принимает форму конечного продукта с учетом усадки в после спекания. Для подготовки к прессованию необходимые порошки смешиваются в определенных пропорциях. Физико-химические и механические свойства готовых образцов зависят от таких факторов, как давление, температура и т.д.

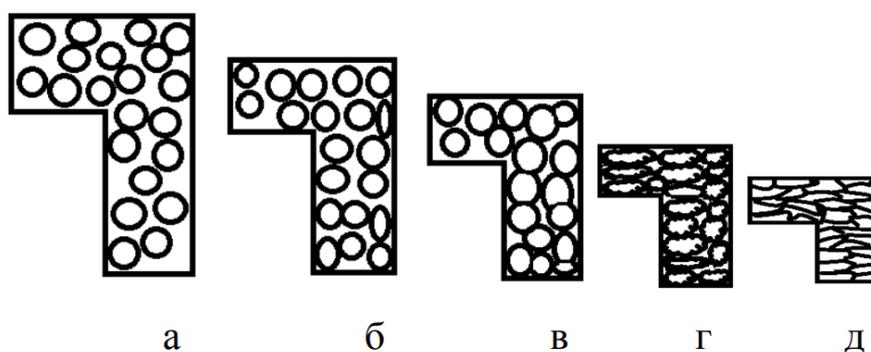


Рисунок 1.1 – Этапы прессования закрытых форм
а – засыпка порошка; б, в – разрушение лингвистики; г – начало деформации частиц; д – конец прессования

От давления прессования напрямую зависит плотность изделия. При этом увеличение давления не означает, что плотность увеличится равномерно. Больше всего материал уплотняется во время первого этапа прессования. На втором и последующих этапах при увеличении давления плотность увеличивается лишь незначительно.

Во время спекания образец, состоящий из отдельных частиц, консолидируется, чем обеспечивается высокая прочность образца [4]. Спекание проводится при высоких температурах, но более низких, чем температура плавления. Схематично процесс спекания показан на рисунке 1.2. Повышенные температуры провоцируют окисление металлов, поэтому спекание проводят в вакуумных печах, где давление четко контролируется. Также во время спекания

необходимо контролировать температурный режим, время спекания и скорость охлаждения.

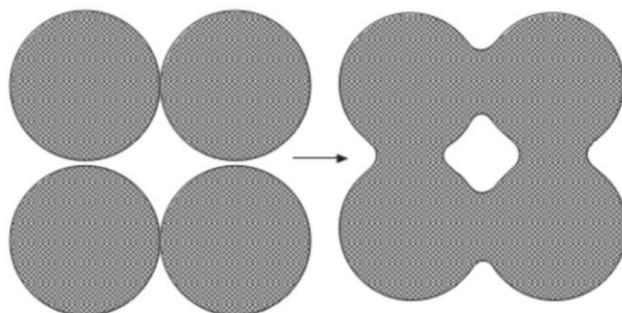


Рисунок 1.2 – Образование шеи при спекании

Условия, при которых происходит спекание, во многом определяются условиями, при которых совершалось прессование образцов. Например, чем выше было давление, тем больше в частицах остаточные напряжения. Это увеличивает дефектность структуры изделия. Кроме того, от давления прессования зависят также плотность конечного продукта и усадка [2]. Другие факторы, оказывающие влияние на плотность образцов после спекания, приведены на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Влияние факторов на плотность образцов после спекания

Во время спекания твердофазная система стремится к минимальной поверхностной энергии – это термодинамическое условие спекания. Усадка изделия происходит из-за стягивания и перегруппировки частиц под действием капиллярных сил жидкой фазы [4]. Также причиной уменьшения линейных размеров образца является перенос твердых частиц через жидкую фазу.

1.2 Строение и свойства AlON керамики

Оксинитрид алюминия (ALON) – это кристалл, состоящий из различных количеств оксида алюминия и нитрида алюминия, с содержанием нитрида алюминия от 27 до 40 мольных процентов [1]. AlON имеет кристаллическую структуру кубической шпинели, которая стабилизируется добавлением небольшого количества азота в широком диапазоне составов. ALON называют нестехиометрической шпинелью, поскольку некоторые позиции катионов заняты вакансиями. Все еще продолжаются значительные исследования по уточнению фазовой диаграммы и точного диапазона состава кубической фазы, что обусловлено некоторыми расхождениями в баллистических характеристиках компонентов AlON и необходимостью термомеханически стабильных электромагнитных окон и куполов. Например, сообщается, что состав коммерчески доступного AlON от Surmet составляет 30,98 мол. % AlN и 69,01 мол. % Al₂O₃ (т.е. 40,68 % Al, 51,59 % O, 7,72 % N, средний состав определен с помощью EDS). Он стабилен до ~2050 °C, после чего плавится инконгруэнтно [5].

Считается, что существуют четыре различные фазы AlON шпинели при молярных соотношениях примерно 10 мольных % AlN, 17 мольных % AlN, 21 мольных % AlN и 36 мольных % AlN [1]. Гамма AlON существует в самом широком диапазоне стабильности, который зависит от температуры с эвтектоидным разложением на Al₂O₃ и AlN ниже примерно 1640 °C.

Керамика из оксинитрида кремния и алюминия (β -сиалон) обладает требуемыми техническими свойствами, включая высокую прочность и твердость,

низкое тепловое расширение и хорошую стойкость к тепловому удару. Плотная керамика AlON обладает превосходными оптическими свойствами с полезным пропусканием от примерно 0,2 мкм в УФ через видимый диапазон до примерно 6,0 мкм в ближнем ИК-диапазоне [1]. Хотя AlON более плотный, чем AlN, его кубическая структура позволяет сделать его прозрачным даже при значительной толщине, сохраняя при этом хорошие механические свойства. В целом микроструктура прозрачной керамики характеризуется малым количеством пор, высокой плотностью и отсутствием вторичной фазы [5]. Следовательно, в этом отношении внешние параметры, возникающие из-за дефектов решетки, пористости, границ зерен и объединения фаз, могут быть сведены к минимуму в прозрачной керамике, что, как ожидается, приведет к более высокому коэффициенту качества.

Многие исследователи изучали приготовление порошков и спекающих добавок для изготовления высокопрозрачной керамики AlON. Так, в одном исследовании использовали 0,5 мас.% Y_2O_3 в качестве добавки для изготовления керамики AlON [6]. В одном из исследований изготовили прозрачную керамику AlON с использованием 0,25 мас. % MgO и 0,0 мас. % Y_2O_3 в качестве добавок для спекания и получили коэффициент пропускания 83 % при 2000 нм [7]. Добавки для спекания могут снизить температуру спекания и способствуют уплотнению керамики, препятствуя росту зерен и миграции границ зерен. За исключением спекающих добавок, на прозрачность керамики AlON влияют многие факторы, такие как чистота, дисперсность и размер частиц сырья, а также температура спекания.

Независимо от метода синтеза порошка AlON все методы требуют высоких температур, что приводит к агломерации порошков и росту зерен. Агломерированные порошки могут образовывать поры, которые трудно удалить в процессе спекания, что приводит к снижению прозрачности керамики [5]. Когда размер частиц сырья мал, все поры между частицами малы, и атомы могут легко диффундировать в процессе спекания. Устранение пор в большей степени способствует улучшению спекаемости сырья, что позволяет изделию иметь однородную структуру и высокую прозрачность.

В исследованиях [6] было показано, что прозрачная керамика AlON с особым составом демонстрирует превосходные диэлектрические характеристики в микроволновом диапазоне. Впоследствии в другом исследовании [7] заметили, что диэлектрические характеристики керамики AlON оставались на том же уровне и не зависели от частоты. В целом, замещение катиона считается эффективной стратегией оптимизации диэлектрических свойств в системах оксидной шпинели. Например, путем соединения Zn^{2+} или Ni^{2+} с $MgAl_2O_4$ с образованием твердого раствора можно добиться значительного улучшения диэлектрических свойств [8].

AlON является типичным твердым раствором и что стабильная однородная область идентифицирована как ~16–35 мол. % AlN. Таким образом, физические свойства керамики AlON могут эффективно регулироваться путем изменения содержания азота из-за природы твердого раствора [9].

Насколько известно, до сих пор отсутствуют отчеты о тепловых свойствах γ -AlON, связанных с составом, а также об их реакции на температуру. Кроме того, их собственная решеточная теплопроводность все еще недостаточна. Фактически, механические и термические свойства прозрачной керамики γ -AlON тесно связаны с их кристаллической структурой и характеристиками связи. В последнее время модели валентности связи (сокращенно BVM) считаются мощным и эффективным подходом к определению химических связей в твердом растворе. BVM в сочетании с точной информацией о кристаллической структуре был успешно предложен для изучения и количественного определения объемного модуля и твердости материала типа шпинели [10]. Кроме того, выдвинуты рекомендации по прогнозированию полного профиля температурной зависимости теплопроводности на основе молекулярной массы, структуры решетки и характеристик связи [11]. Получено, что с увеличением температуры теплопроводность керамики γ -AlON уменьшается. Это является результатом усиленного фонон-фононного рассеяния. Кроме того, для электроизоляционного материала решеточные фононы и объемные фонон-поляритоны в инфракрасной области дают вклад в этот показатель. Также на теплопроводность влияют плотность, длина связи, примеси и беспорядок [12].

Также недавние работы показали, что порошок AlON может диссоциировать на Al₂O₃ и AlN при нагревании в диапазоне температур ~1400–1600 °С, чтобы снова образовать AlON при ~1600–1700 °С [13]. Кроме того, кристаллическая структура преобразованного Al₂O₃ имеет тенденцию соответствовать соответствующему размеру частиц AlON, т. е. мелкие частицы AlON в порошке превращались в гексагональные α-Al₂O₃ и AlN, а крупные частицы превращались в кубические η-Al₂O₃ и AlN [14]. В результате сложный челночный фазовый переход между AlON и Al₂O₃+AlN при нагреве может существенно влиять на процесс его уплотнения, прозрачность и комплекс свойств. Поэтому необходимо тщательно исследовать фазовое превращение, эволюцию микроструктуры и процесс уплотнения AlON при нагреве, чтобы выявить корреляцию между размером частиц и количеством легирующей добавки для его безнапорного спекания.

1.3 Методы получения оксинитрида алюминия

Процесс получения оксинитридной керамики включает в себя синтез порошков, формование и обжиг. Спекание обеспечивает образцу прочность и прозрачность изделия, а также устраняет все поры.

Среди методов получения оксинитрида алюминия можно выделить следующие:

- карботермическое восстановление-азотирование(CRN);
- микроволновое спекание;
- жидкофазный синтез;
- метод горячего прессования.

1.3.1. Карботермическое восстановление-азотирование (CRN)

Карботермическое восстановление-азотирование, называемое также CRN, используется для получения композиционных нанопорошков на основе Al₂O₃,

AlN и AlON. Такую возможность дают особые свойства керамики, синтезируемой из системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-AlN-AlON}$.

Для получения композитных нанопорошков системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-AlN-AlON}$ использовались компоненты, синтезированные из водного раствора $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и вещества $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ [6]. Для этого $\text{Al}(\text{OH})_3$ смешали с водным раствором сахарозы, и затем полученную смесь сушили 5 часов в сушильном шкафу при температуре 100 °С. После этого провели пиролиз в потоке аргона, который длился 4 часа при температуре 600 °С. В итоге получился нанодисперсный порошок состава $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и аморфного углерода с размером частиц $\leq 0,1$ мкм. Далее смесь термически обработали в среде азота при температуре 1450 и 1600 °С, при этом изотермическая выдержка составляла 2-4 секунды. Продолжительность выдержки составила 2,3 и 4 часа. Из полученного продукта сформовали образцы в форме таблеток диаметром 6 мм и высотой 5 мм.

Образцы отправили на спекание. Спекание проводилось под давлением 7 ГПа при температуре 1750 °С в течение 110 минут [6]. Передача давления осуществлялась за счет твердого тела, расположенного в высоком узле давления в виде наковальни с отверстием.

Соотношение кристаллических фаз устанавливалось по интенсивностям пиков фаз, которые сравнивались с пиками стандартов. Для записи ИК-спектров был использован спектрометр Specord M 80. На компьютере спектры разной интенсивности суммировали. Сканирующим электронным микроскопом типа HU200F был проведен электронно-зондовый рентгеновский микроанализ [6].

Таким образом, в порошке, синтезированном при 1450 °С в течение 4 часов, имеются кристаллические фазы нитрида алюминия и оксида алюминия [6]. При увеличении температуры обработки и ее продолжительности интенсивность пиков глинозема уменьшается, а интенсивность пиков оксинитрида и нитрида алюминия и увеличиваются. Так, дальше исследовали порошок, полученный при температуре 1600 °С в течение 3 часов [6]. Его основными кристаллическими фазами тоже стали оксинитрид алюминия и алюмонитрид. У порошка, синтезированным при 1600 °С в течение 4 часов, больше всего оказалось фазы AlON, а интенсивность остальных пиков заметно упала.

Затем анализировалась твердость порошков. Так, средняя твердость порошка, полученного при температуре 1450 °С, составила 15,2 Гпа [6]. С увеличением температуры синтеза порошков увеличивалась и твердость. Так, твердость порошков, полученных при 1600 °С, показатель твердости достиг 19,5 Гпа. Такая динамика объясняется более сильным сцеплением между зернами и отсутствию значительного количества углерода в структуре вещества.

На рисунке 1.4 представлена общая схема карботермического восстановления глинозема:

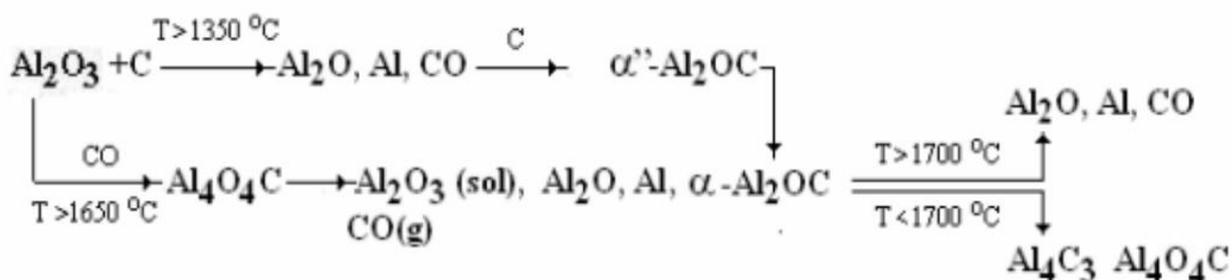


Рисунок 1.4 – Схема карботермического восстановления глинозема

Керамика, получаемая в результате карботермического восстановления-азотирования, отличается твердостью и трещиностойкостью [4]. Относительно этих параметров ее можно сравнить с огнеупорами, в которых использованы соединения титана.

1.3.2 Микроволновое спекание

Микроволновое излучение называется также сверхвысокочастотным (СВЧ). Оно представляет собой неионизирующее электромагнитное излучение с диапазоном частот от 300 МГц до 300 ГГц [7].

Диапазон состоит из трех зон:

- ультравысокочастотное излучение (300 МГц – 3 ГГц);
- сверхвысокочастотное излучение (3 ГГц – 30 ГГц);
- крайне высокочастотное излучение (30 ГГц – 300 ГГц).

В отличие от других видов излучения, как видимый свет, инфракрасное и ультрафиолетовое излучения, микроволны электромагнитного излучения имеют большую длину волны и более низкую энергию квантов излучения [7].

При микроволновом излучении материалы поглощают СВЧ излучение и преобразовывают полученную энергию в тепло, которое остается в самом образце. За счет этого ускоряется нагрев. Такой метод спекания существенно эффективнее в плане использования энергии. Также при микроволновом излучении значительно увеличивается скорость реакции и спекания. Кроме того, требуется меньше времени.

Методом микроволнового спекания успешно удалось получить образцы прозрачной керамики, синтезированной из Al_2O_3 , AlON и AlN [15]. Если сравнивать с традиционным спеканием, то можно отметить, что микроволновое излучение не требует таких высоких температур и большой продолжительности. Таким образом, образцы из прозрачной керамики могут спекаться быстрее и с меньшими затратами.

В исследованиях проводили синтез однофазного оксинитрида алюминия проводили методом микроволнового спекания при температуре $1650\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 часа [10]. При этом получившиеся образцы имели плотность всего 82 % от ожидаемой, то есть рассчитанной теоретически. К тому же образцы были непрозрачными, то есть не было достигнуто полное уплотнение даже при формировании только одной фазы оксинитрида алюминия. Чтобы образцы AlON получились прозрачными, дальнейшее спекание следует проводить при более высоких температурах.

В другом исследовании [11] было получено, что образцы керамики на основе оксинитрида алюминия с большой прозрачностью и плотностью можно получить при микроволновом спекании, проводимом при температуре $1800\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 часа. В данной работе для подготовки образцов были смешаны чистые порошки $\alpha\text{-}Al_2O_3$ и AlN. Также было получено, что использование Y_2O_3 в качестве добавки позволяет повысить плотность и прозрачность образцов. Таким образом, исследуемая смесь также содержала 67,5 мол. % Al_2O_3 , 33,5 мол. % AlN, и 0,5% 23анн. % Y_2O_3 в форме $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ [11]. В шаровой мельнице с добавлением

ацетона размолотили порошок 3 мас. % связующего вещества (акрилоид) в течение 24 часов. После сушки порошок под давлением 30 МПа спрессовали в гранулы диаметром 12,7 мм и высотой 3 мм. После этого гранулы изостатически прессовали при 250 МПа в течение 5 минут. Для микроволнового спекания использовалась самодельная печь с параметрами 1,5 кВт и 2,45 ГГц. Температуру в печи увеличивали каждую минуту на 100 °С, увеличивая мощность СВЧ. Теоретически плотность образцов должна была составить примерно 3,69 г/см³. Образцы спекали при температуре 1700 °С в течение 1 часа. В итоге их плотность составила 3,60 г/см³, что составляет 97,5 % от теоретически рассчитанного показателя [11]. Также образцы керамики сохранили непрозрачность или стали только слегка прозрачными. Другие образцы спекали при 1750 °С в течение 1 часа. Результаты были значительно ближе к теоретическим: плотность составила 3,67 г/см³, то есть 99,4 % от теоретической плотности. При этом образцы были абсолютно прозрачными. Однако при дальнейшем повышении температуры спекания до 1800 °С, но сохраняя то же время выдержка в 1 час, добиться увеличения плотности не удалось, при этом повысилась прозрачность образцов.

1.3.3 Жидкофазный синтез

Также для устранения пористости и уменьшения вторичных фаз при получении AlON керамики применяют жидкофазный синтез. Изменение этих параметров влияет на прозрачность образцов. В исследовании [14] было изучено переходное жидкофазное спекание керамики на основе оксинитрида алюминия, за счет которого планировалось получить образцы с высокими плотностью и прозрачностью.

В основе метода лежит двухэтапное нагревание в вакуумной печи в присутствии азота. На первой стадии смесь порошков нагревали до той температуры, после которой начинается гетерогенное существование жидкой фазы и твердой фазы γ -AlON. При температуре 2150 °С порошок выдерживали длительное время [14].

Вторая стадия заключалась в снижении температуры до достижения однородной фазы γ -AlON. Суть двухэтапного нагревания в том, чтобы на первом этапе получить жидкость, которая в процессе понижения температуры заполняла бы поры твердой фазы. Таким образом, в образце полностью заполняются микропоры и межкристаллические дефекты, в результате чего удалось получить образцы с высокой плотностью и прозрачностью. При достижении температуры свыше 1950 °С была зафиксирована потеря массы образца, что объясняется изменениями структурной решетки [14]. То есть масса уменьшается из-за изменений в составе, которые вызваны образованием паровой фазы при высоких температурах. В свою очередь, паровая фаза образуется как из жидкой фазы, так и твердой. Также замечено, что при повышенных температурах происходит миграция композиции к решетчатым параметрам слоя, то есть к участкам с более высоким содержанием азота.

Увеличение содержания азота и уменьшение содержания кислорода дают одинаковый эффект, влияющий на параметры структурной решетки. Однако было обнаружено снижение процентного содержания азота относительно кислорода [14]. Такое явление можно объяснить тем, что паровая фаза, выделившаяся в виде Al_2O_3 и обогатившаяся кислородом, при повышении давления подавляется. Поэтому азот не может реагировать с ним в таких условиях, из-за чего он не растворяется в AlON.

Также зафиксировано, что параметр решетки AlON уменьшился 0,7960 до 0,7926 нм. Это вызвано тем, что избыточное давление повысили с 0,11 Мпа до 0,2 Мпа [14].

Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы: параметр решетки увеличивается по мере увеличения содержания азота и уменьшается при повышении количества кислорода; при повышении давления азота или аргона система приходит в состояние стабильности, подавляя потерю кислорода.

Из преимуществ жидкофазного спекания можно выделить высокую плотность и отсутствие дефектов у образцов оксинитридной керамики. Это способствовала полученная на первом этапе нагревания жидкая фаза, которая

устранила образование пор в образцах. Однако недостатком метода является необходимость достижения высоких температур, до 2200 °С. Также необходимо точно тщательно следить за давлением азота, чтобы контролировать потери массы [7].

1.3.4 Метод горячего прессования

Этот метод объединяет в себе и спекание, и прессование. Стенки формы покрывают спиртосодержащим покрытием из нитрида бора, которое предотвращает попадание в спекаемую смесь элементов, входящих в состав самой формы [4].

Во время спекания в вакуумной камере циклично происходит «азотная промывка», то есть спекание осуществляется в атмосфере азота. При этом одновременно с нагреванием порошок также подвергается механическому прессованию, благодаря чему образец не только сформирован, но и также уже запечен. Рисунок 1.5 демонстрирует схемы установки (а) и пресс-формы (б) для горячего прессования.

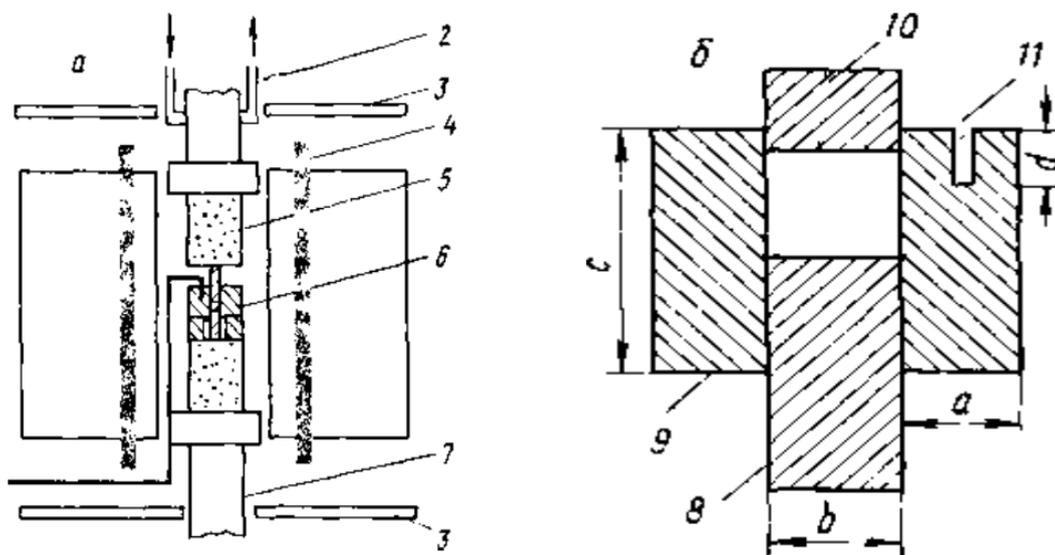


Рисунок 1.5 – Схема установки (а) и пресс-формы (б) для горячего прессования
 1 – термопара; 2 – система водного охлаждения; 3 – металлическая теплоотражающая плита; 4 – нагревательный силитовый стержень; 5 – корундовый стержень для передачи давления; 6 – прессформа; 7 – подвижный пуансон; 8 – нижний пуансон; 9 – корпус формы; 10 – верхний пуансон; 11 – щель для термопары

В исследовании материал спекали методом горячего изостатического прессования [16]. Образцы были разделены на три группы: первая спекалась при температуре 1800 °С, вторая – при 1850 °С, и третья – при 1900 °С. Все образцы изготовлены из порошка состава 67,5 мол. % Al_2O_3 , 33,5 мол. % AlN и 0,5 мас. % Y_2O_3 . Порошки смешивали в течение 12 часов и сушили при 80 °С. Спекали все образцы независимо от температуры одинаковое количество времени – 120 минут. Во время процесса спекания давление составляло 20 Мпа, также поддерживалась атмосфера азота.

В результате исследования удалось получить образцы с высокой плотностью – 3,65–3,68 г/см³ [16]. Теоретический показатель при этом составлял 3,69 г/см³. Помимо плотности у образцов из разных групп есть и другие различия. Так, если при температуре спекания 1850 °С и 1900 °С плотность образцов оказалась ниже, то механические характеристики были более высокими по сравнению с образцами, запеченными при температуре 1800 °С.

1.3.5 Плазменно-искровое спекание

Метод плазменно-искрового спекания дает возможность снизить температуру спекания до 1650 °С, что позволяет тратить на спекание меньше энергии. Кроме того, можно также уменьшить время спекания, если добавить Y_2O_3 .

Искровое плазменное спекание также носит название SPS (Spark plasma sintering). Также метод известен как технология полевого спекания (FAST) [4]. При этом методе спекание проходит очень быстро, и в результате получается плотная и мелкозернистая керамика. При этом не требуются высокая температура и длительная выдержка.

В методе искрового плазменного спекания на образец действуют сразу несколько сил: тепло, электрическое поле и плазма, получаемая с помощью импульсного тока [4]. Суммарное воздействие этих сил отличается от обычного спекания. Традиционные методы спекания основаны на воздействии на образец внешних нагревательных элементов, которые нагреваются за счет излучения и

конвекции. Технология спекания методом искрового плазменного спекания показана на рисунке 1.6.

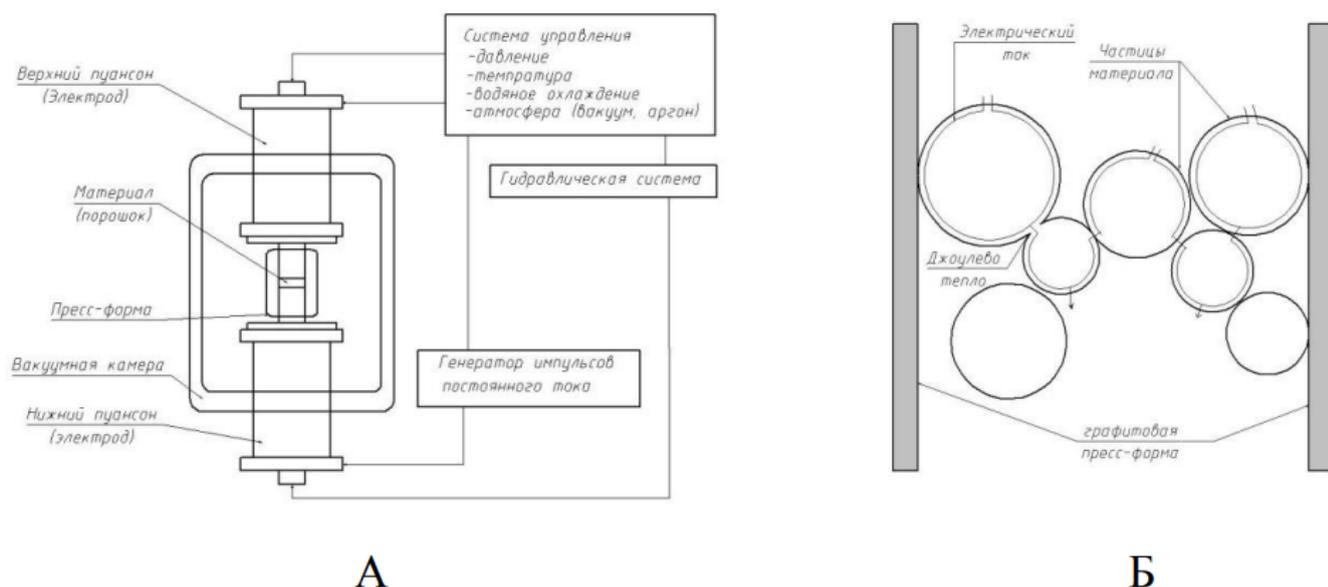


Рисунок 1.6 – Технология спекания методом искрового плазменного спекания
 А – базовая схема синтеза ИПС; Б – общая схема нагрева методом ИПС

В исследовательской работе образцы спекали при температуре 1600 °С в течение 15 минут [17]. Также на образцы оказывалось давление от 20 до 50 Мпа. Образцы различались по составу: в них было добавлено разное количество добавки Y_2O_3 . По результатам эксперимента оказалось, что чтобы максимально уменьшить энергию активации и добиться максимальной плотности образцов, необходимо добавить 0,6 мас. % Y_2O_3 .

В процессе эксперимента было получено, что в образцах с содержанием 1,2 мас. % Y_2O_3 образовывалась фаза $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG), которая оказывала отрицательное влияние на механические свойства образцов после спекания [17]. В то же время образцы, в которых содержалось менее 0,6 мас. % Y_2O_3 , не дали ожидаемых результатов, а именно высокой плотности и отсутствия пор и дефектов.

Таким образом, было получено, что оптимальное массовое содержание добавки Y_2O_3 составляет 0,6 %. Если такие образцы спекать при не очень высокой температуре и небольшой промежуток времени, то есть возможность получить

образцы с хорошими показателями. Однако главным недостатком метода является его сложность и дороговизна установки.

1.3.6 Реакционное спекание

Суть метода реакционного спекания заключается в том, что уплотнение спеченного материала достигается за счет образования нового кристаллического вещества. Оно получается, когда твердофазное вещество в спекаемом материале реагирует с другим веществом, находящимся в паровой фазе [7].

Второй компонент, то есть паровая фаза, появляется за счет пропитки пористого тела парообразным веществом. Именно это введенное дополнительно вещество и реагирует с твердой фазой в образце. При этом твердая фаза может быть в материале изначально, или же ее могут ввести специально. Тогда образование оксинитрида алюминия будет зависеть от среды, поэтому для проведения реакции камеру, где происходит спекание, продувают азотом. Отсюда следует, что на процесс образования оксинитридной керамики также влияет размер образца и сила уплотнения: чем он больше и плотнее, тем сложнее идет процесс реакционного спекания [7].

В методе реакционного спекания обычно достигаются температуры 1700-1900 °С [7]. Метод достаточно сложен: необходимо очень долго выдерживать образцы (более 12 часов), бывает трудно найти оптимальную силу прессования. Кроме того, образец должен сохранять определенную пористость, чтобы была возможна диффузия между газовой и твердыми фазами для их реакции между собой.

В исследовательской работе рассматривали, какое влияние сила прессования оказывает на получение оксинитрида алюминия в методе реакционного спекания [18]. Температура спекания находилась в пределах от 1750 до 1800 °С. При этом было различным давление, с которым проводилось прессование. Так, образцы прессовались при 20, 70, 140 и 210 Мпа.

Результаты экспериментов показали, что образцы, которые спрессовывали под давлением 70 Мпа, обладали наибольшим количеством целевой фазы. То есть

реакция в этих образцах протекала с наибольшей интенсивностью, так как они оставались достаточно пористыми, чтобы реагирующие вещества могли эффективно диффундировать [18].

1.4 Особенности применения материалов различной дисперсности при получении AlON

Свойства сырца (особенно размер частиц, плотность упаковки и однородность) влияют на то, насколько легко (и дорого) уплотнить материал. Порошки микронного размера обычно необходимо агломерировать в гранулы размером приблизительно 100 мкм, чтобы получить сыпучий порошок [15]. Хотя он обычно используется для изготовления плоской плитки, он может использоваться для производства слегка изогнутых плиток (таких как нагрудники), хотя кривизна создает трудности при равномерном заполнении формы. Основным ограничением сухого прессования является низкая и неравномерная плотность неспеченного материала, возникающая в результате адгезионного трения между частицами, вызванного Ван-дер-ваальсовым притяжением. Типичная плотность сырца составляет 45–50% от теоретической плотности. Влажная обработка порошка является альтернативой сухому прессованию, которая обеспечивает механизм для получения более плотной и однородной упаковки частиц [19]. Погружая частицы в жидкость, Ванн-дер-ваальсовое притяжение уменьшается, и имеется несколько вариантов создания отталкивания между частицами (т. е. диспергирования), что уменьшает трение между частицами и обеспечивает более высокую и равномерную упаковку частиц в сыром теле.

Дисперсная или слабофлоккулированная суспензия с содержанием твердых частиц обычно около 30–50 объемных процентов требуется для метода формования шликерным литьем [1]. Предпочтительны хорошо диспергированные суспензии, поскольку они дают однородные неспеченные тела высокой плотности, но для увеличения скорости разлива можно использовать слабофлоккулированные суспензии. При таком подходе получают сырые тела с

высокой и однородной плотностью сырца. Типичная плотность сырца, достигаемая этим процессом, находится в диапазоне от 55 до 65 % от теоретической плотности.

В методе горячего прессования превращение частиц микронного размера в зерна размером порядка 100 мкм способствует равномерному заполнению формы.

1.5 Свойства и области применения оксинитридной керамики

Прозрачная керамика – новая категория материалов, которые можно использовать при разработке высокотемпературных технологий [20]. Прозрачная керамика имеет различные потенциальные применения, такие как инфракрасные (ИК) окна/купола, оболочки ламп, оптоэлектрические компоненты/устройства, композитная броня и экраны для смартфонов, и она могут использоваться в качестве исходных материалов для твердотельных лазеров [21].

Первоначально прозрачная керамика была разработана для замены монокристаллов из-за ее простого способа обработки, изменчивости состава, высокой производительности и контроля формы, среди других факторов [21]. Оптическая прозрачность является одним из важнейших свойств прозрачной керамики.

Сначала прозрачная керамика в основном использовалась в твердотельных лазерах, но недавний обзор показал, что потенциальное применение прозрачной керамики включает твердотельное освещение, сцинтилляционные приложения, композитную броню, оптические компоненты, электрооптические устройства и даже биомедицинские материалы [22].

С быстрым развитием цифровых камер и мобильных телефонов, компактные и миниатюрные системы объективов пользуются большим спросом. Прозрачная керамика может играть важную роль в этих системах из-за ее высоких показателей преломления и высоких чисел Аббе. Как правило, показатели преломления стекол находятся в диапазоне $n = 1,50–1,85$, в то время

как показатели преломления поликристаллической керамики обычно > 2 . Кроме того, керамика демонстрирует гораздо более высокую механическую прочность, чем ее стеклянные аналоги, что особенно важно, когда материалы должны быть устойчивыми к царапинам и ударопрочными [23].

Прозрачная броня из прозрачной керамики намного тоньше и легче, чем броня из других материалов. Прозрачная броня используется для защиты персонала, например, лицевые щитки, козырьки, иллюминаторы военной техники и смотровые окна в самолетах. Стеклянные прозрачные окна, которые доступны в настоящее время, очень толстые, чтобы выдерживать многократные баллистические удары. Чтобы соответствовать требуемым ограничениям по весу без ущерба для баллистической стойкости, для таких применений все чаще рассматривается прозрачная керамика. Более того, некоторые многорежимные системы вооружения, которые должны выдерживать суровые условия окружающей среды, также требуют относительно больших окон и куполов [24].

2 Методы исследования

2.1 Гидростатическое взвешивание

Гидростатическое взвешивание позволяет измерить плотность, основываясь на силе Архимеда. При погружении тела в воду давление на него увеличивается, в результате чего на нижние элементы оказывается большая сила, чем на верхние. Если сложить все силы, которые действуют на тело, то можно получить равнодействующую силу.

Методом гидростатического взвешивания можно определить кажущуюся плотность, водопоглощение и открытую пористость образца. Для этого поочередно определяется масса насыщенного водой образца на воздухе, а потом в жидкости известной плотности. В нашем случае была использована вода. Перед этим необходимо взвесить в воздухе сухой образец.

Как и другие керамические материалы, AlON-керамика также имеет поры. Они бывают закрытые (не сообщающиеся с окружающей средой) и открытые (сообщающиеся с окружающей средой). Открытую пористость можно посчитать по формуле:

$$P_0 = \frac{m_1 - m}{m_1 - m_2} \cdot 100, \%$$

где m – масса сухого образца, взвешенного на воздухе, г;

m_1 – масса насыщенного жидкостью образца, взвешенного на воздухе, г;

m_2 – масса насыщенного жидкостью образца, взвешенного в жидкости, г.

Так как у образцов есть поры, они могут удерживать в себе воду. Водопоглощение рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \%$$

За счет взвешивания, измерения линейных размеров и объема образца можно определить только кажущуюся плотность. Она рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{m\gamma_{\text{ж}}}{m_1 - m_2}, \text{ г/см}^3$$

где $\gamma_{ж}$ – плотность использованной жидкости, г/см³.

Если известна истинная плотность материала, из которого сделаны образцы, то можно определить истинную пористость и относительную плотность образца. Закрытая пористость находится как разность между истинной пористостью и открытой.

В некоторых случаях аналитические весы оснащаются поддонным крючком, который может быть как в стандартной комплектации, так и идти в качестве опции. Он необходим, если надо измерить массу больших образцов или образцов, чья масса больше допустимой.

2.2 Рентгенофазовый анализ

Метод рентгенофазового анализа позволяет определить фазовый состав образца с помощью дифракции рентгеновских лучей. Для анализа подходят образцы минерального сырья, порошков и другие.

В основе метода лежит получение дифракционной картины и ее анализ, которая получается за счет интерференции рентгеновских лучей. В свою очередь, это явление возникает благодаря рассеиванию электронами атомов при облучении образца.

Рентгенофазовым анализом можно определить, какие фазы присутствуют в исследуемом образце. Метод основан на качественном и количественном анализе, который можно провести с помощью рентгеновского дифрактометра. Это оборудование дает возможность быстро и точно провести анализ.

При соблюдении условия Вульфа-Брэгга при попадании рентгеновского излучения на образец на рентгенограмме появятся интенсивные пики. Чем больше интенсивность отраженного луча, тем больше будет интенсивность максимума на рентгенограмме. Другими словами, высота пика зависит от количества атомов на семействе плоскостей. Таким образом, интенсивность отраженного луча может характеризовать исследуемый образец.

Условием для возникновения максимума является следующее соотношение:

$$2 \cdot d \cdot \sin 2\theta = n\lambda$$

где d – расстояние между соседними кристаллографическими плоскостями, м;

θ – угол, под которым наблюдается дифракция, град.;

n – порядок дифракции;

λ – длина волны монохроматических рентгеновских лучей, падающих на кристалл, м.

Данное уравнение позволяет рассчитать межплоскостные расстояния, которые зависят от самой кристаллической решетки. Угол θ и длина волны λ определяются в процессе эксперимента.

На рисунке 2.2 показана схема отражения рентгеновских лучей в кристалле.

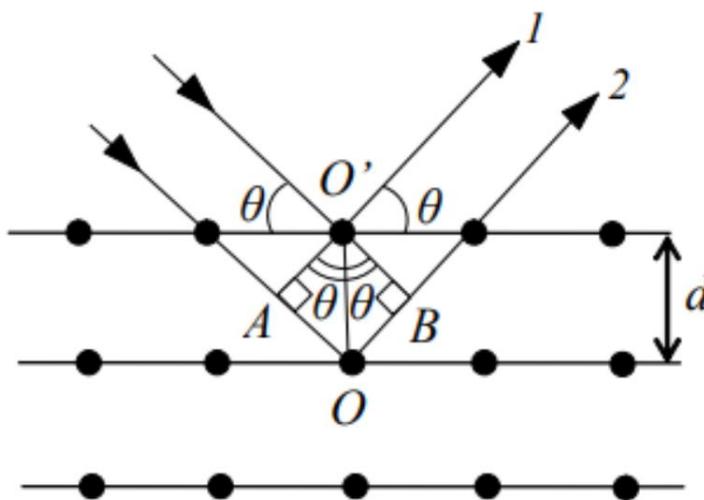


Рисунок 2.2 – Отражение рентгеновских лучей

Среди достоинств метода можно выделить отсутствие косвенного сравнения с эталоном, то есть метод – прямой, и результат сразу характеризует кристаллическую структуру вещества. Также стоит отметить высокую точность и скорость проведения анализа. Кроме того, нет необходимости тратить на анализ большое количество исследуемого вещества – достаточно лишь небольшого образца. При этом он не разрушается в процессе исследования. Причем анализировать можно как чистое вещество, так и смесь.

2.3 Растровая электронная микроскопия

Растровая электронная микроскопия позволяет увидеть форму каждого кристалла образца, зерен, частиц. Так, можно определить их размер, пористость структуры.

Поверхность образца облучается пучком электронов – электронным зондом, который может совершать возвратно-поступательное движение или развертываться в растр. Растр представляет собой параллельные близко расположенные линии, вдоль которых пучок электронов обегает определенный участок поверхности образца.

Когда пучок электронов попадает на материал, образуется ряд эффектов, которые показаны на рисунке 2.3.

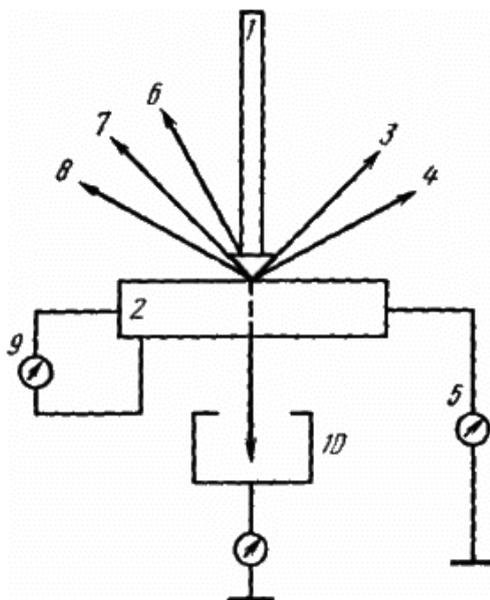


Рисунок 2.3 – Взаимодействие электронного пучка с веществом
1 – электронный пучок; 2 – образец; 3 – отраженные электроны; 4 – вторичные электроны; 5 – ток поглощенных электронов; 6 – катодолюминесценция; 7 – рентгеновское излучение; 8 – Оже-электроны; 9 – наведенный ток; 10 – прошедшие электроны

Каждый эффект дает определенную информацию о веществе. Например, можно увидеть рельеф поверхности, химический состав и кристаллографическую ориентацию объемов, прилегающих к поверхности.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г8А	Шляпкина Полина Юрьевна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИИ с учетом затрат на оборудование, материалов, заработную плату, отчислений во внебюджетные фонды и накладных расходов.</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>«Портрет» потребителя</i> 2. <i>Оценка конкурентоспособности ИР</i> 3. <i>Матрица SWOT</i> 4. <i>График разработки и внедрения ИР</i> 5. <i>Бюджет ИП</i> 6. <i>Основные показатели эффективности ИП</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

28.01.2022

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук И.В.	к.т.н. доцент		28.01.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8А	Шляпкина Полина Юрьевна		28.01.22

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Проблемы эффективного ресурсопотребления и ресурсосбережения всегда являлись достаточно актуальными. Формирование и реализация стратегии ресурсосбережения на всех уровнях управления - один из важнейших вопросов стратегического менеджмента, так как ресурсоемкость является второй стороной товара, когда первой является его качество. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью исследовательского проекта является разработка технологии получения AlON керамики, повышение прозрачности и удешевление производства.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основным продуктом научно-исследовательской работы исследования является оксинитрид алюминия. ALON - прозрачный материал, который обладает уникальными химическими, оптическими и механическими свойствами, поэтому его активно используют в производстве прозрачной брони, инфракрасных окон, иллюминаторов и защитных пленок для гаджетов.

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

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица), необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: размер компании и вид производства. В таблице 4.1 приведена карта сегментирования рынка по отношению выпускаемой продукции из ALON- керамики.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования

Размер компании	Вид деятельности		
	Бронестекло	Инфракрасные окна	Защитные стекла
Крупные			
Средние			
Малые			

На приведенной выше карте сегментирования показано, какие ниши на рынке услуг по производству оксинитрида алюминия не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок. На карте видно, что изделия из оксинитрида алюминия производят в большей степени крупные

компания. Мелкие и средние компании не берутся за столь крупное производство. Следовательно, в данном случае, среди мелких и средних компаний конкуренция мала.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Наиболее успешной в мире компанией производства прозрачной АІОН-керамики является SurmetCorporation, Бирлингтон, Массачусетс, США.

В результате выхода продукта на рынок России, разработка будет конкурентоспособной по отношению к другим защитным стеклам. Это обуславливается благодаря таким техническим характеристикам продукта, как материалоемкость, энергоемкость, т.к. прозрачная керамика имеет меньшую толщину изделия, при этом имея улучшенную прочность, а это влечет уменьшению расхода материалов и энергии. Также этот материал является более надежным и безопасным из-за своей высокой прочности и ударостойкости.

В таблице 4.2 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства прозрачной керамики.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Выход продукта	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
2. Энергоемкость процессов	0,2	5	3	4	1,0	0,6	0,8
3. Надежность	0,2	4	5	3	0,8	1,0	0,6
4. Безопасность	0,2	4	5	3	0,8	1,0	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							

5. Цена	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
7. Финансирование научной разработки	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
Итого	1				4,2	4,6	3,8

B_{ϕ} – оксинитрид алюминия, полученный путем проведения исследовательской работы;

B_{K1} – оксинитрид алюминия, полученный компанией «SurmetCorporation»;

B_{K2} – защитные стекла, полученные российской компанией «Red Line».

Коэффициент конкурентоспособности: $K_{\phi}/K_{K1} = 4,2/4,6 = 0,91$

Коэффициент конкурентоспособности: $K_{\phi}/K_{K2} = 4,2/3,8 = 1,1$

В первом случае, полученный коэффициент меньше 1, что свидетельствует о том, что продукт исследовательской работы является не конкурентоспособным для компании «SurmetCorporation».

Во втором случае полученный коэффициент больше 1, что говорит о том, что продукт исследовательской работы является конкурентоспособным на рынке защитных стекол в России.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 4.3 – SWOT-анализ.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Уменьшение пористости, увеличение твердости С2. Наличие необходимых установок для проведения испытаний; С3. Более низкая стоимость производства по сравнению</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложность придания необходимых свойств керамике Сл2. Большие энергозатраты на обжиг</p>
--	--	--

	с другими технологиями.	
	С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл3. Высокая стоимость оборудования
Возможности: В1. Возникновение спроса на новый продукт. В2. Возможность использования во многих практических отраслях. В3. Поиск инвесторов, которые покроют затраты.	Выбрав оптимальную дисперсность, можно создать улучшенные прозрачные, беспористые материалы. При производстве продукты будут обладать высокой конкурентоспособностью	Допустив увеличение спроса на конечный продукт, есть вероятность, что будет нехватка времени производственных сил для ее реализации. Правильный выбор и подбор исходного сырья способны снизить время обжига образцов и придать продукту необходимые свойства, а также уменьшатся энергозатраты
Угрозы: У1. Отсутствие спроса и быстрый рост конкуренции У2. Ограничение на экспорт технологии; У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции	Можно произвести сертификацию продукции; изучить законодательную базу; Продвижение новой технологии с целью появления спроса. Своевременное государственное обеспечение исследования	Главной угрозой проекта является возможное увеличение цены на оборудование. Продвижения новой технологии с целью появления спроса.

Таблица 4.4 – Связь сильных сторон с возможностями

	С1	С2	С3	С4
В1	+	-	+	+
В2	+	-	+	+
В3	+	-	-	-

Таблица 4.5 – Связь слабых сторон с возможностями

	Сл1	Сл2	Сл 3
В1	+	-	+
В2	-	-	-
В3	-	-	-

Таблица 4.6 – Связь сильных сторон с угрозами

	С1	С2	С3	С4
У1	-	-	-	-
У2	-	-	-	-
У3	-	-	-	-

Таблица 4.7 – Связь слабых сторон с угрозами

	Сл1	Сл2	Сл3
У1	-	+	-
У2	+	-	-
У3	+	+	+

По результатам SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, а также угрозы и возможности. Так же было выявлены способы, как компенсировать слабые стороны проекта за счет его возможностей и нейтрализовать угрозы с помощью сильных сторон проекта.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение участников каждой работы;
- 3) установление продолжительности работ;
- 4) построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в ее состав входят: инженер проекта; научный руководитель. В данном разделе представлен перечень этапов работ в рамках научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Проведение научно-исследовательской работы			
Выбор направлений исследований	2	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	Научный руководитель, инженер
	3	Составление плана исследования	Научный руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Изучение методик по работе с оборудованием, необходимого для проведения исследования	Научный руководитель, инженер
	5	Изготовление и подготовка образцов для исследования	Инженер
	6	Исследование образцов: открытая пористость, кажущаяся плотность, водопоглощение, усадка	Инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов научно-исследовательской работы	Научный руководитель, инженер
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
Составление документации	9	Написание отчета о выполненной работе	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

При проведении научных исследований основную часть затрат составляют заработные платы (порядка 65%), поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы. Определение ожидаемой величины трудоёмкости проводится по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{min\ i} + 2 \cdot t_{max\ i}}{5}$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. -дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

По всем выполняемым работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 4.9.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма состоит из блоков, расположенных на двух осях: по вертикали располагаются задачи, из которых состоит проект, а время, запланированное на их выполнение, служит горизонтальной осью диаграммы Ганта. Для построения графика Ганта следует длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

где $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}$$

$T_{вых}$ – где общее количество календарных дней в году;

$T_{кал}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел. -дн}$$

$$T_{pi} = \frac{2,4}{1} = 2,4 \text{ раб. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели для инженера:

$$k_{кал.инж} = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,48$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы:

$$T_{ki.инж} = 3,5 \cdot 1,48 = 5,18 \approx 5 \text{ календ. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели руководителя:

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{366}{366 - 67 - 14} = 1,28$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы:

$$T_{\text{ки.рук}} = 2,5 \cdot 1,28 = 3,2 \approx 3 \text{ календ. дн.}$$

Все рассчитанные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научно-исследовательского проекта

№	Название работы	Трудоемкость работ						T _{pi} , раб.дни		T _{ki} , раб. дни _i	
		t _{min i} , чел.-дни		t _{max i} , чел.-дни		t _{ож i} , чел.-дни					
		Науч. рук.	Инж.	Науч. рук.	Инж.	Науч. рук.	Инж.	Науч. рук.	Инж.	Науч. рук.	Инж.
1	Составление и утверждение технического задания на ВКР	2	0	3	0	2,4	0	2,4	0	3	0
2	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	5	5	10	10	5	7	2,5	3,5	3	5
3	Составление плана исследования	3	3	5	5	5	5	2,5	2,5	3	4

4	Изучение методик по работе с оборудованием, необходимо для проведения исследования	3	3	15	15	9	9	4,5	4,5	6	7
5	Изготовление и подготовка образцов для исследования	0	10	0	15	0	12	0	12	0	18
6	Исследование образцов: твердость, пористость, плотность, структура	0	10	0	20	0	14	0	14	0	21
7	Анализ полученных результатов научно-исследовательской работы	3	3	9	9	5,4	5,4	2,7	2,7	3	4
8	Оценка эффективности полученных результатов	4	4	9	9	6	6	3	3	4	4
9	Написание пояснительной записки о выполненной работе	0	8	0	16	0	11,2	0	11,2	0	16

После произведенных расчетов, представленных в таблице 4.9, строится диаграмма Ганта, представленная в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Календарный план график проведения НИП

№ ра б.	Название работы	Исполнители	Т _{кi} , дней	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	3	■												
2	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	Научный руководитель инженер	3 5	■	■											
3	Составление плана исследования	Научный руководитель инженер	3 4		■	■										
4	Изучение методик по работе с оборудованием, необходимого для проведения исследования	Научный руководитель инженер	6 7		■	■										
5	Изготовление и подготовка образцов для исследования	Инженер	18			■	■	■								
6	Исследование образцов: твердость, пористость, плотность, структура	Инженер	21				■	■	■	■						
7	Анализ полученных результатов научно-исследовательской работы	Научный руководитель инженер	3 4								■	■				
8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель инженер	4 4									■	■			
9	Написание отчета о выполненной работе	Инженер	16									■	■	■		

■ -Научный руководитель

■ -Инженер

Таблица 4.11 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	82
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	79
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	22

В результате выполнения данного подраздела разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из участников проекта.

4.2.4 Инвестиции для разработки и внедрения научно-технического исследования (НТИ)

Для разработки и реализации исследования необходимы денежные средства, которые не всегда есть в наличии в начале работы. Помочь развитию проекта могут инвесторы, которыми могут являться представители компаний или частное лицо, заинтересованное в разработке. Инвесторы рассчитывают в будущем на выручку, получаемую с продаж продукции, поэтому проект должен представлять собой выгодное вложение.

В данном случае инвестиции включают:

- вложения на приобретение оборудования;
- затраты на материалы;
- затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки.

Величина инвестиций зависит от ожидаемой нормы прибыли в результате реализации инвестиционного проекта, наличия альтернативных вариантов вложения средств, уровня налогообложения, уровня и динамики инфляции.

4.2.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

4.2.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

В данную статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты.

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу,руб.	Сумма, руб.
Оксид алюминия	г	250	600	150
Нитрид алюминия	г	50	1000	50
Изопропиловый спирт	мл	1000	200	200
Всего за материалы				400
Транспортно-заготовительные расходы (3-5 %)				20
Итого по статье С _м				420

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 4.13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Время использования, раб.дни	Срок службы	Цена единицы оборудования, руб.	Амортизация оборудования, руб.
1	Высокотемпературная печь	1	5	4	4990070	3418
2	Гидравлический пресс	1	20	16	2600	89
3	Планетарная мельница	1	2	9	1410000	858
4	Сушильный шкаф	1	2	13	40000	17

5	Весы	1	24	9	60000	438
6	Пресс-форма	1	20		6000	-
Итого						10820

Амортизация рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{C}{n} \cdot t$$

где С – первоначальная стоимость оборудования, руб.; n - количество лет использования;

t – время использования для исследования, года.

Приведем расчет амортизации для высокотемпературной печи:

$$A = \frac{4990070}{4} \cdot \frac{5}{365} = 3418 \text{ руб.}$$

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для выполнения конкретной темы, сводятся в таблице 5.13

4.2.5.3 Основная заработная плата исполнителей

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_p$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя)

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 11,2}{246} = 2147,3 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей,

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

При отпуске в 28 раб. дня – $M=11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

При отпуске в 56 раб. дней – $M=10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{19291 \cdot 10,3}{213} = 933 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_M = Z_{тс} (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 26300 (1 + 0,3 + 0,2) 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_M = 9893 (1 + 0,3 + 0,2) 1,3 = 19291 \text{ руб}$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

В таблице 4.14 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
1) выходные дни		
2) праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
1) отпуск		
2) невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	Тр, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	–	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	18	38651,4
Инженер	–	9893	0,3	0,2	1,3	19291	933	69	64377
Итого $Z_{осн}$									103028,4

4.2.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 38651,4 = 5797,7 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot 64377 = 9656,6 \text{ руб.}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

4.2.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Нами рассматриваются обязательные установленные законодательством РФ нормы отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3(38651,4 + 5797,7) = 13334,7 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{внеб} = 0,3(64377 + 9656,6) = 22210,1 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование).

Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

- 1) 22 % – на пенсионное страхование;
- 2) 5,1 % – на медицинское страхование;
- 3) 2,9 % – на социальное страхование.

Таблица 4.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	38651,4	5797,7
Инженер	64377	9656,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	0,3
Итого:		35544,8

4.2.5.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на электроэнергию. Рассчитываются по формуле:

$$C = W \cdot t \cdot P$$

где W – мощность электроприбора, выраженная в киловаттах;

t - время использования оборудования, час;

P – стоимость электроэнергии, на сегодняшний день составляет 2,45 руб/кВт

$$C_{\text{печь}} = 40 \cdot 24 \cdot 5 \cdot 2,45 = 11760 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{мельница}} = 1,1 \cdot 10 \cdot 2,45 = 26,95 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{суши.шкаф}} = 4 \cdot 26 \cdot 2,45 = 254,8 \text{ руб.}$$

Итого:

$$C_{общ} = 11760 + 26,95 + 254,8 = 12041,75 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИТИ разработки технологии получения АІОН.

4.2.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 5.17 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
10820	420	103028,4	15454,3	35544,8	155549,5

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = \frac{\text{сумма статей}}{5} \cdot k_{нр}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проекта. В таблице также представлено определение бюджета затрат аналогичных научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.18 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	
		Текущий Проект (исп 1)	Исп.2
1	Материальные затраты НИР	420	462
2	Затраты на специальное оборудование	10820	10820
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	103028,4	103028,4
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15454,3	15454,3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	35544,8	35544,8
6	Накладные расходы	12041,75	12041,75
Бюджет затрат НИР		177309,25	177351,25

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), 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: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}1} = \frac{177309,25}{177351,25} = 0,997$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}2} = \frac{177351,25}{177351,25} = 1,0$$

где $I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах (значение меньше единицы, но больше нуля). Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводится в форме таблицы 4.18.

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1.Надежность	0,2	5	4
2.Безопасность	0,25	4	3
3.Материалоемкость	0,15	5	5
4.Энергоемкость	0,25	4	4
5.Удобство в эксплуатации	0,15	3	4
Итого	1	4,2	3,9

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,9$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 4,2$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.исп.2}} = \frac{4,2}{0,997} = 4,2$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.исп.1}} = \frac{3,9}{1} = 3,9$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (таблица 4.19).

Таблица 4.19 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,997	1,0
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,2	3,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,0	0,93

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Из полученных данных можно сказать, что для приготовления ALON керамики, предпочтительнее вариант исполнения 1. Также в работе были рассчитаны материальные затраты, амортизационные отчисления используемого оборудования, накладные расходы, затраты на заработную плату исполнителей, отчисления во внебюджетные фонды, а также общий бюджет научного проекта.

Планирование бюджета было распределено главным образом на материальные затраты, оборудование, зарплаты, а также на накладные расходы. Измерение характеристик, описывающих качество и перспективность новой разработки на рынке, помогло принять целесообразное решение, о том, что данная разработка является перспективной.

4.4 Выводы по разделу

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

В результате научного исследования была разработана технология получения ALON керамики, с помощью которой были получены образцы с различной дисперсностью.

Анализируя результаты данного исследования, были выявлены слабые и сильные стороны разработки технологии синтеза оксинитрида алюминия с использованием порошков разной дисперсности. К слабым сторонам можно отнести высокую стоимость оборудования, а также большие энергозатраты на обжиг. Но правильный выбор и подбор исходного сырья способен снизить время обжига образцов, соответственно уменьшаются энергозатраты. Существуют возможности использования инновационной технологии, появление дополнительного спроса на новый продукт, используя данные возможности можно разработать новые технологии синтеза алюмооксинитридной керамики. Но есть и угрозы производства оксинитрида, такие как отсутствие спроса и быстрый рост конкуренции, своевременное государственное обеспечение исследования может значительно снизить угрозы потери рынка. Несмотря на угрозу отсутствия спроса на рынке, цель проекта была достигнута. Таким образом, разработана технология получения оксинитридной керамики с возможностью снизить затраты на обжиг.

При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и

спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 82 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 79 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 22.

Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 177309,25 руб.