



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 Физика

ООП/ОПОП Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Исследование поддержек из оксида алюминия, полученных с применением прекерамических бумаг, для мембранных элементов

УДК 666.3.017

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Ван Цзынин		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий лабораторией	Кашкаров Е.Б.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

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 реализовать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
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.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен применять естественно-научные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
ОПК(У)-4	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.
ОПК(У)-5	Способен использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.
ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных

	требований информационной безопасности.
ОПК(У)-7	Способен использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
ОПК(У)-8	Способен критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
ОПК(У)-9	Способен получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК(У)-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК(У)-3	Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований
ПК(У)-4	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК(У)-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК(У)-6	Способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
ПК(У)-7	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме
ПК(У)-8	Способность понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования



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 (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика

Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

Лидер А.М.

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б95	Ван Цзынин

Тема работы:

Исследование поддержек из оксида алюминия, полученных с применением прекерамических бумаг, для мембранных элементов	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	142-11/с от 22.05.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объектом исследования являются образцы керамики из оксида алюминия, полученные с применением прекерамических бумаг.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников 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, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<p>Введение 1. Литературный обзор по мембранным материалам 2. Материалы и методы исследования 3. Экспериментальная часть 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность Заключение Список литературы</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Сечин А.И.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.

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

Задание выдал руководитель/ консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий лабораторией	Кашкаров Е.Б.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Ван Цзынин		

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б95	Ван Цзынин

Тема работы:

Исследование поддержек из оксида алюминия, полученных с применением прекерамических бумаг, для мембранных элементов

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.11.2022	Литературный обзор по теме ВКР	15
30.04.2023	Методы исследования	5
01.06.2023	Результаты экспериментальных исследований. Обработка результатов.	50
01.06.2023	Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение	15
01.06.2023	Социальная ответственность	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий лабораторией	Кашкаров Е.Б.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Ван Цзынин		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 105 с., 19 рис., 17 табл., 88 источников литературы.

Ключевые слова: оксид алюминия, прекерамическая бумага, искровое плазменное спекание, пористость, газопроницаемость, микроструктура.

Объектом исследования являются образцы пористые керамические материалы на основе оксида алюминия.

Цель работы – установить закономерности формирования микроструктуры в материалах на основе оксида алюминия, получаемых из прекерамических бумаг методом искрового плазменного спекания.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Получение образцов пористых керамических поддержек из прекерамических бумаг при различных температурах спекания.
2. Анализ кристаллической структуры образцов методом рентгеновской дифракции.
3. Анализ микроструктуры образцов методом сканирующей электронной микроскопии.
4. Анализ пористости и газопроницаемости образцов.

В результате исследования установлено, что в результате исследования установлено, что получены пористые материалы на основе оксида алюминия из прекерамических бумаг методом искрового плазменного спекания. Проанализировано влияние температуры спекания на микроструктуру, пористость и газопроницаемость полученных материалов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: открытая пористость от 0,4 до 38 %, плотность от 2,15 до 2,22 г/см³, газопроницаемость от 0,1 до 1,0 мольН₂/м²/с.

Область применения: результаты исследований могут быть использованы для разработки поддержек мембран для разделения и очистки водорода.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в определении оптимальных режимов получения керамических поддержек с целью обеспечения высокой производительности и снижения затрат на их производство.

Содержание

Введение	13
1 Литературный обзор по мембранным материалам.....	15
1.1 Теоретические основы разделения газов с применением мембран	15
1.2 Мембраны на основе палладия	19
1.3 Пористые керамические поддержки	20
1.4 Формирование буферного и диффузионного промежуточного слоя	21
1.5 Получение керамических поддержек.....	22
1.5.1 Метод прессования порошка	23
1.5.2 Метод коллоидной обработки	26
1.5.3 Шликерное литье	28
1.5.4 Гелевое литье.....	29
1.5.5 Литье замораживанием.....	30
1.5.6 Ленточное литье	31
1.5.7 Подготовка макропористых структур.....	33
1.5.8 Метод экструзии.....	34
1.6 Прекерамическая бумага	36
2 Материалы и методы исследования	41
2.1 Получение прекерамических бумаг	41
2.2 Спекание прекерамических бумаг.....	43
2.3 Анализ кристаллической структуры образцов.....	45
2.4 Анализ микроструктуры образцов	47
2.5 Анализ пористости образцов	47
2.6 Исследование газопроницаемости	48

3	Экспериментальная часть.....	50
3.1	Микроструктура керамики на основе Al_2O_3	50
3.2	Пористость керамики на основе Al_2O_3	52
3.3	Кристаллическая структура керамики на основе Al_2O_3	53
3.4	Газопроницаемость керамики на основе Al_2O_3	55
	«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	56
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования	57
4.2	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	60
4.2.1	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	60
4.2.2	SWOT – анализ	61
4.3	Планирование научно-технического исследования	64
4.3.1	Определение трудоемкости выполнения работ	65
4.3.2	Разработка графика проведения научного исследования	67
4.4	Бюджет научного исследования	69
4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	69
4.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	70
4.4.3	Основная заработная плата исполнителей темы	70
4.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды	72
4.4.5	Формирование бюджета затрат НТИ	73
4.4.6	Ресурсоэффективность	74
4.5	Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	75
5	Социальная ответственность	76

5.1 Введение.....	78
Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	80
5.2 Обоснование мер по защите исследователей от опасных и вредных факторов.....	81
5.2.1 Организационные меры.....	81
5.2.2 Требования безопасности при выполнении работ с использованием персональных электронно-вычислительных машин.....	82
5.2.3 Технические мероприятия.....	83
5.3 Производственная безопасность.....	85
5.4 Экологическая безопасность.....	88
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
5.5.1 Электробезопасность.....	88
5.5.2 Пожаро- и взрывобезопасность.....	90
Заключение.....	93
Список литературы.....	94

Введение

Фильтрующие водородные мембраны применяются в технологиях выделения водорода из газовой смеси. Эффективная фильтрация водорода с использованием мембран обеспечивает высокую чистоту водорода, а также производительность систем, пригодных при получении водорода промышленными методами, например конверсией природного газа. Некоторые практические применения включают следующее:

1. Водородные автомобили: мембраны позволяют использовать чистый водород в автомобилях в топливных элементах с высокой стабильностью.

2. Химическая промышленность: все большее число химических реакций требует использования водорода высокой чистоты, а качество и безопасность могут быть обеспечены только с помощью систем фильтрации.

3. Научные и производственные исследования: в некоторых методах получения и анализа материалов требуется использование чистого водорода.

В целом, водородные мембраны очень практичны не только для повышения чистоты и более безопасного использования водорода, но и для расширения границ исследования во многих современных промышленных и научных приложениях.

С широким распространением технологий водородной энергетики все большее внимание уделяется водородным мембранам как ключевому технологическому решению для обеспечения чистоты и качества водорода. Металлические палладиевые и беспалладиевые мембраны на пористых керамических подложках являются перспективными благодаря высокой селективности, высокой пропускной способности, стабильности и коррозионной стойкости. Ввиду малой толщины палладиевых мембран, основные механические свойства фильтров обеспечиваются за счет пористых керамических подложек. Таким образом, подложки должны обладать высокой газопроницаемостью и прочностью, так как транспортировка водородсодержащего газа и его получение в основном проводится при высоком давлении.

Керамические поддержки в основном изготавливаются из оксида алюминия методами прессования порошка, коллоидной обработки, шликерным литьем и др. В настоящей работе предлагается альтернативный подход для получения керамических поддержек с применением прекерамических бумаг. Такой подход может обеспечить возможность управления микроструктурой (создание градиента пористости) керамических поддержек и гибкость формования изделий перед или в процессе спекания. До настоящего времени исследований формирования керамических поддержек из прекерамических бумаг с порошковым наполнителем на основе оксида алюминия на базе метода искрового плазменного спекания не проводилось.

Целью работы: установить закономерности формирования микроструктуры в материалах на основе оксида алюминия, получаемых из прекерамических бумаг методом искрового плазменного спекания.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Получение образцов пористых керамических поддержек из прекерамических бумаг при различных температурах спекания.
2. Анализ кристаллической структуры образцов методом рентгеновской дифракции.
3. Анализ микроструктуры образцов методом сканирующей электронной микроскопии.
4. Анализ пористости и газопроницаемости образцов.

1 Литературный обзор по мембранным материалам

1.1 Теоретические основы разделения газов с применением мембран

Мембраны для фильтрации водорода делятся на три основные категории, включающих органические, неорганические и гибридные мембраны. В настоящей работе основной акцент сделан на неорганические мембраны. Неорганические мембраны делятся на плотные мембраны и пористые мембраны. Плотные мембраны состоят из металлических и керамических протонпроводящих мембран. Пористые мембраны можно разделить на пористый диоксид кремния, цеолитные мембраны и мембраны на основе углеродных молекулярных сит. Характеристики различных типов мембран для фильтрации водорода приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики различных типов мембран для фильтрации водорода

Параметры	Тип мембраны		
	Полимерная	Микропористая	Плотная металлическая
Типичный состав	полиимид; Ацетат целлюлозы	кремнезем; цеолиты; металлоорганические каркасы	палладий; ниобий; никель; сплавы
Механизм диффузии	Диффузия раствора	Молекулярное сито	Диффузия раствора
Движущая сила	Разница парциального давления		
Рабочая Температура	$\leq 100^{\circ}\text{C}$	$\leq 1000^{\circ}\text{C}$	$\sim 400^{\circ}\text{C}$
Относительная проницаемость	Низкая-умеренная	Умеренно-высокий	Низкая-умеренная
Типичная селективность	Умеренный	Низкая-умеренная	Очень высоко

Механизм диффузии через различные мембраны показаны на рисунке 1.

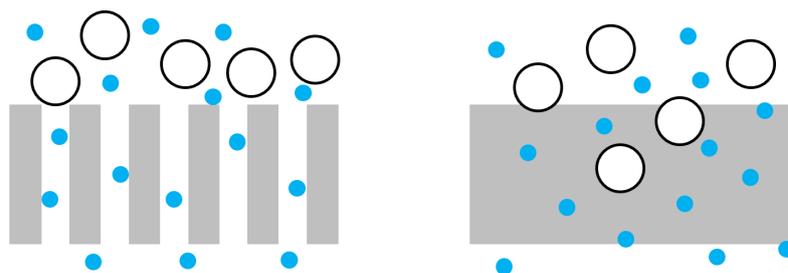


Рисунок 1 – Механизм диффузии различных мембран (молекулярное сито; диффузия через плотный металл)

Диффузионный механизм для мембран фильтрации водорода заключается в использовании металлов с особой микроструктурой, например палладия, у которого отсутствуют два электрона в 4d-слое, что позволяет ему создавать нестабильную химическую связь с водородом. В ходе химической реакции водород ионизируется до протона и электроны с радиусами меньшими, чем решетка палладия, что позволяет проникать сквозь металл, где протоны, в свою очередь, соединяются с электронами и вновь образуют молекулу водорода. Металлы с этим особым свойством относятся к группе VIII - рутений (Ru), родий (Rh), палладий (Pd), осмий (Os), иридий (Ir) и платина (Pt), которые обладают способностью обеспечивать диффузию водорода. через решетку металла, избегая при этом проникновения других молекул [1, 2]. Таким образом, механизм диффузии, изображенный на рисунке 2, используется для описания процесса транспортировки водорода в этих селективных мембранах.

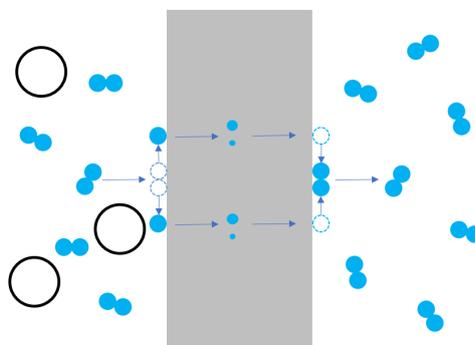


Рисунок 2 – Диффузионный механизм проникновения водорода через

кристаллическую решетку плотной мембраны

Эта одновременная химическая реакция и отделение водорода объединяются в один уникальный этап, который лежит в основе получения водорода высокой чистоты.

Ионизация и рекомбинация молекул водорода, происходящие в среде, по существу являются обратимыми реакциями и, следовательно, могут принести пользу с точки зрения улучшения конверсии за счет изменения равновесия реакции, поскольку один из продуктов, водород, селективно отделяется от реакционной среды [3-5]. Поэтому были предложены плотные мембраны на основе металлов из-за их способности переносить водород с теоретически максимальной селективностью [6, 7].

Металлы палладиевой группы инертны и трудно вступают в реакцию с другими веществами, что приводит к образованию примесей. Более толстый металлический палладий имеет почти идеальную проницаемость для водорода и, следовательно, обеспечивает исключительно высокую чистоту водорода. Однако он редко используется не только из-за его высокой стоимости, но и из-за увеличения толщины пленки металлического палладия, что снижает его проницаемость и, безусловно, не выгодно для высокоэффективного производства водорода. Тем не менее, производство бездефектных палладиевых мембран микронного или меньшего размера очень сложно. Соответственно, мембраны из чистого палладия используются редко, и добавление тонкой металлической пленки с высокой проницаемостью для водорода поверх высокопористой поддержки представляется лучшим вариантом.

Несмотря на высокую стоимость пленок чистого металлического палладия, он также сталкивается с проблемами - отравлением палладия, которое можно разделить на два типа.

1) Временное отравление: это в основном связано с длительными условиями работы при высоких температурах (450 °C), углерод реакционной среды может оказывать дезактивирующее действие на пленку металлического палладия,

снижая концентрацию эффективного активного центра и приводя к отравлению [8-10]. Это обратимое отравление может быть реактивировано окислением.

2) Постоянное отравление: эта необратимая дезактивация вызвана тем, что сульфиды, попадающие в реакционную среду, реагируют с металлическим палладием с образованием сульфида палладия, а реагенты восстанавливаются водородом до крупных частиц металлического мономера палладия (гораздо менее активного, чем высокодисперсное состояние микрокристаллического палладия).

Другими неблагоприятными свойствами пленок чистого металлического палладия для применения являются возможный фазовый переход (фаза α в β) чистого палладия при наличии водорода в окружающей среде при температурах ниже 300 °С, соответственно увеличение размера решетки, что также приводит к короблению и охрупчиванию. при поглощении водорода [11, 12]. Легирование металлического палладия для снижения критической температуры T_c (α , β), при которой сосуществуют α - и β -фазы, поможет избежать эффектов, вызываемых определенными температурами [13, 14]. Палладий в настоящее время является широко используемым металлическим материалом мембран для фильтрации водорода из-за его высокой эффективности в отношении адсорбции, диссоциации и рекомбинации водорода. Несмотря на то, что некоторые тугоплавкие металлы ниобий, ванадий и тантал не только намного дешевле, но и на порядок более проницаемы для водорода, чем палладий, их трудно применять непосредственно в качестве металлических пленок для фильтрации водорода из-за легкости формирования оксидных слоев на их поверхности [15, 16]. Эту проблему можно решить, нанеся на поверхность очень тонкий слой палладия.

Из-за высокой стоимости пленок из чистого металлического палладия и трудностей, описанных в предыдущем разделе, внимание было привлечено к палладиевым сплавам, которые, помимо эффективного снижения затрат, могут придавать мембранному материалу другие свойства. В частности, сплавы Pd–Ag с содержанием серебра 23–25 ат. % проявляют очень высокую химическую стойкость к водороду [5].

1.2 Мембраны на основе палладия

Мембраны на основе палладия сосредоточены на свойствах материала с точки зрения проницаемости, отравления, термостойкости, механической стойкости и экономической эффективности, которые обсуждаются далее.

Плотные мембраны на основе Pd можно разделить на две основные группы: без поддержки и с поддержкой, в котором тонкая селективная пленка наносится на пористую поддержку. Мембраны без поддержки обычно изготавливают из относительно толстых палладиевых (или сплавов на основе Pd) фольг, требующих трубчатой геометрии, подвергают холодной прокатке и сварке [17, 18]. Типичная толщина составляет от 50 до 150 мкм. Как упоминалось ранее, толстый слой Pd сильно снижает проницаемость для водорода и увеличивает стоимость мембран, поэтому основное внимание уделяется минимизации толщины слоя палладия, что означает разработку ультратонких слоев Pd [19-21]. Чем тоньше палладиевая пленка, тем легче поставить под угрозу ее механическую прочность.

Подготовка ультратонких слоев палладия сталкивается с двумя основными трудностями:

- 1) Ограничение механической прочности мембраны
- 2) Сложность получения пленки без дефектов.

Существуют узкие места в решении этих проблем с точки зрения изготовления слоев металлического палладия, но эти свойства могут быть компенсированы внешними поддержками с нанесением на поверхность тонкого слоя Pd [22-26].

Материал мишени должен обеспечивать необходимую механическую стойкость тонкой палладиевой пленки, нанесенной на поверхность, и в то же время иметь достаточную пористость, позволяющую проникать водороду, поэтому внимание уделяется пористым опорным поддержкам [27-30]. Исследования на эту тему очень многочисленны и сложны из-за разнообразия пористых поддержек и

селективных слоев. Кроме того, совместимость между ними будет в значительной степени определять механическую прочность мембран, которые очень подвержены образованию трещин при высоких температурах из-за различных коэффициентов теплового расширения, как это будет подробно обсуждаться позже.

1.3 Пористые керамические поддержки

В настоящее время доступны многочисленные типы пористых материалов, такие как стекло [31, 32], спеченные металлы [27, 28, 33], широкий спектр керамики [27, 34-36] и даже полимеры [37-39], могут применяться в качестве материала поддержки для селективного к водороду слоя. Среди такого большого разнообразия материалов свойства, на которые обращают особое внимание, включают пористость (в основном среднюю пористость и распределение пор по размерам), шероховатость поверхности и механическую, химическую и термическую стабильность [40].

С точки зрения пористости материала поддержки требуется высокая пористость (как правило, пористость поддержки должна быть больше, чем пористость выбранного слоя) и связь между порами для обеспечения газопроницаемости [41]. Кроме того, размер радиуса пор и шероховатость также сильно влияют на морфологический отбор и непрерывность селективного слоя, что делает благоприятным свойством плотное распределение пор малого размера. По этому вопросу, например, указывалось, что для изготовления химико-палладиевых пленок на пористых подложках минимальная толщина требует примерно в три раза больше среднего размера самых больших пор [42].

Из многочисленных пористых материалов поддержки мы сосредоточимся на керамике, из которой конечный продукт мембраны может быть получен путем нанесения тонкой пленки палладия или палладиевого сплава (примерно 10 мкм) на пористую керамическую трубчатую поддержку. Этот подход позволяет не только уменьшить толщину металла, что приводит к увеличению потока проникновения, но и снизить стоимость при одновременном повышении эффективности [43]. В

дополнение к прямому повышению эффективности, использование керамических материалов обеспечивает более гладкую поверхность поддержки, точный контроль пористости и узкое распределение пор по размерам до нескольких нанометров, что облегчает нанесение малотолщинных бездефектных материалов слоя палладия [34, 35, 42, 44].

В основном используют глинозем (Al_2O_3) в качестве основного компонента, обычно в сочетании с частицами $\alpha-Al_2O_3$ и $\gamma-Al_2O_3$ для изготовления асимметричных поддержек с крупными порами в сердцевине для обеспечения большей проницаемости при наличии мелких пор в верхнем слое для облегчения осаждения палладий или палладиевые сплавы [27, 45, 46].

К сожалению, коэффициент теплового расширения керамических материалов значительно отличается от палладия, и в сочетании с низкой механической стойкостью керамических материалов работа в условиях высоких температур может представлять потенциальную опасность для целостности мембраны и подвергать мембрану опасности [41].

1.4 Формирование буферного и диффузионного промежуточного слоя

Независимо от материала, используемого для поддержки, при разработке мембран изменение коэффициента теплового расширения между селективным слоем и пористой поддержкой является проблемой, которую нельзя упускать из виду, поскольку образование термического напряжения внутри вызовет отслоение селективного слоя от поддержки. Чтобы предотвратить прямое влияние на стабильность мембраны, вызванное различными коэффициентами теплового расширения, в качестве буфера добавляется промежуточный слой. Если поддержка изготовлена из металла, то также появляется проблема с диффузией атомов между пленкой слоя сплава Pd/Pd и металлической поддержкой, а промежуточный слой также можно использовать в качестве диффузионного барьера для предотвращения прямого контакта между слоем палладия или сплава палладия и металлической поддержкой [47-49]. Поэтому решающим моментом для термической и

механической стабильности мембраны является необходимость наличия термически и механически стабильного диффузионного барьерного слоя между поддержкой и селективным слоем.

Промежуточный слой должен быть инертным по отношению к металлам и фильтрующим газам, но при этом быть одинаково высокопористым и тонким, чтобы увеличить площадь поверхности мембраны и улучшить проникновение водорода.

Для нашего интереса к мембранам с селективными слоями на основе палладия, нанесенными на керамическую поддержку, обычно используемыми материалами промежуточного слоя являются Al_2O_3 , ZrO_2 , оксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия (YSZ) [36]. Обычно используемые методы нанесения промежуточного слоя представляют собой покрытие погружением с использованием золь-гель метода, покрытие распылением с использованием керамической суспензии и напыление с использованием керамических мишеней [47].

1.5 Получение керамических поддержек

Изготовление мембран обычно делится на два этапа: сначала изготавливают поддержки, а затем наносят на поверхность селективный слой с промежуточным слоем.

Производство керамических поддержек состоит из трех основных этапов: подготовка сырья, формование и термообработка. В современном производстве мембран для фильтрации водорода керамические поддержки привлекают все больше внимания из-за их характеристик.

Существует три основных категории методов производства керамических поддержек, а именно прессование порошка, коллоидная обработка и обработка пастой, и различные производственные процессы могут придавать керамическим поддержкам различные свойства. Некоторые характеристики различных методов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики различных методов производства пористых керамических поддержек

Основные процедуры		Методы производства		
		прессование порошка	коллоидная обработка	обработка пасты
подготовка материала	Главный компонент	α -оксид алюминия	α -оксид алюминия	α -оксид алюминия
	Вспомогательный	органические связующие вещества, неорганические спекающие добавки (карбонаты)	поверхностно-активные вещества и диспергаторы	связующее вещество, пластификатор, деформирующий агент и порообразующий агент
формование		нажатие	консолидация	экструдирование
термическая обработка		спекание	спекание	спекание
Размер пор		0,1~1 мкм	0,3~1,2 мкм	4,5 мкм

1.5.1 Метод прессования порошка

Подготовка сырья и спекание являются критическими процедурами в этом методе прессования порошков, которые по существу тесно взаимосвязаны и сильно влияют на характеристики пористых поддержек. Основным компонентом, используемым для изготовления поддержки, является α -оксид алюминия высокой чистоты (α -Al₂O₃) из-за его стабильности и экономичности. Для дальнейшего снижения производственных затрат искали альтернативы высокочистому оксиду алюминия, например, используя недорогие разнообразные материалы из природной

глины (каолин, бентонит и смектит) для керамики на основе муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). Среди них муллитовые керамические поддержки на основе каолина обладают лучшими характеристиками с точки зрения низкой теплопроводности, низкого теплового расширения, отличного сопротивления ползучести и выдающейся термической, химической и механической стабильности, что позволяет сохранять пористость при обработке при высоких температурах. Вспомогательные компоненты в основном используются для модификации поддержки во время спекания, что будет обсуждаться позже в соответствующем процессе спекания.

Целью процесса прессования является придание поддержке необходимой формы для нанесения. Существует две основные категории методов прессования, используемых для производства, а именно осевое прессование и изостатическое прессование.

1) Осевое прессование: подразделяется на сухое и мокрое, одноосное и двухосное прессование. Следует отметить метод мокрого прессования, при котором к исходному порошковому материалу добавляют жидкости, обычно воду, что облегчает формование. Таким образом, это недорогой метод для крупносерийного производства поддержек с простой геометрией.

2) Изостатическое прессование: подразделяется на холодное и горячее изостатическое прессование. Они отличаются тем, что обеспечивают изостатическое давление, которое формирует форму поддержки. При холодном изостатическом прессовании давление воздействует на жидкость, обычно воду или масло, тогда как при горячем изостатическом прессовании инкапсулированная жидкость, обычно аргон, нагревается до определенной температуры для обеспечения изостатического давления. Таким образом, к керамическому порошку можно равномерно приложить изостатическое давление, чтобы сформировать пленочную поддержку требуемой формы. Отличие от метода осевого уплотнения также в основном отражается в способности оказывать давление с нескольких направлений для достижения более равномерного эффекта уплотнения.

Добавление органических связующих в процессе прессования не только

облегчает формование, но и улучшает связность пор, что является результатом когерентности органического материала. В то же время полностью сгорает во время последующего процесса спекания, не оставляя следов в керамической поддержке.

Процесс спекания керамики оказывает наибольшее влияние на характеристики поддержки, что в основном отражается на ее проницаемости, обусловленных пористостью, усадкой и средним размером пор. [50]. На размер пор и пористость также влияет размер частиц сырья, а также давление уплотнения, они также представляют собой взаимосвязь, увеличение размера частиц сырья может увеличить размер пор, но при уплотнении требуется более высокое давление, в целом пористость будет значительно уменьшаться по мере увеличения давления и уменьшения радиуса частиц [50, 51]. Механическая прочность поддержки зависит от температуры спекания. Механическую прочность можно повысить за счет повышения температуры спекания, но это приведет к возврату уплотнения поддержки, что приведет к снижению проницаемости. Чтобы не разрушить структуру поддержки, ее необходимо спекать с регулируемой скоростью нагрева. Поддержка для фильтрующей мембраны требует не только проницаемости, но и определенной механической прочности, поэтому температуру спекания необходимо регулировать в соответствии с требованиями. Высокотемпературное спекание также увеличивает производственные затраты, поэтому очень важно, как снизить стоимость спекания.

Исследования показали, что увеличение размера частиц приводит к более высокой температуре спекания, что отрицательно сказывается на снижении затрат [52]. Чтобы обеспечить рабочие характеристики поддержки при снижении температуры, необходимой для спекания, все больше внимания уделяется неорганическим добавкам для спекания. Неорганические спекающие добавки не только снижают температуру спекания, но и улучшают поровые свойства (извилистость и шероховатость), пористость и прочность поддержки, приводят к повышению водопроницаемости, замещая тем самым органические вяжущие. Ключевую роль в обеспечении пористости играют карбонаты, обычно

используемыми добавками являются карбонат кальция (CaCO_3), карбонат магния (MgCO_3) и карбонат натрия (NaCO_3) [53]. Карбонат кальция, который широко используется, может образовывать большие поры при более низких температурах ($<1000^\circ\text{C}$), а более высокие температуры уменьшают их [50]. Использование волластонита при спекании керамических поддержек также повышает прочность [54]. Механизм спекания на керамических порошках показан на рисунке 3.

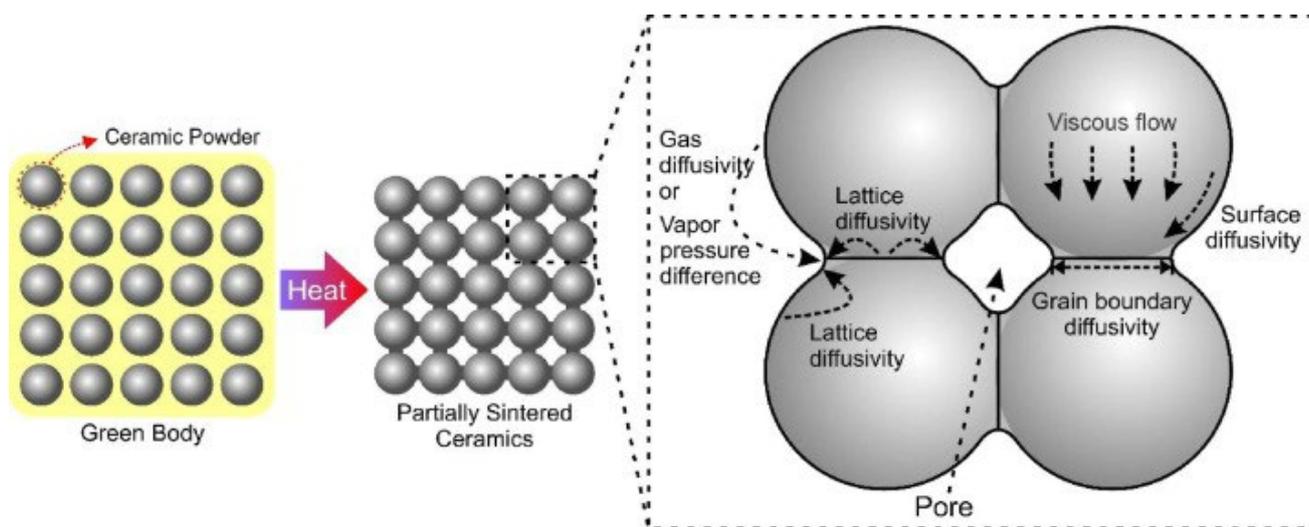


Рисунок 3 – Механизмы спекания на керамических порошках

Неорганические добавки также имеют недостатки: одномодальное или мультимодальное распределение пор по размерам в зависимости от выбранного размера частиц может быть вызвано карбонатом кальция (CaCO_3) или кремнеземом (SiO_2) и т. д. Также необходимо учитывать разницу в размере частиц. между сырьем и неорганическими добавками большие различия приведут к широкому распределению пор по размерам, что приведет к снижению селективности мембраны. Кроме того, неравномерное распределение пор по размерам будет влиять на осаждение селективного слоя, поэтому легко образуются трещины.

Приготовление пористых поддержек прессованием обычно имеет средний размер пор в диапазоне от 0,1 до 1 мкм [50, 55].

1.5.2 Метод коллоидной обработки

Тысячи лет назад в Китае глина, тип коллоида, обычно использовалась для изготовления фарфора, который также известен как керамика. Коллоиды

отличаются от предыдущих материалов чрезвычайно малым размером от 0,001 до 1 мкм. Следовательно, площадь контакта между частицами и средой велика, что также приводит к сильному влиянию поверхностных или межчастичных сил на свойства суспензии. Метод коллоидной обработки состоит из следующих процедур: синтез и очистка порошка, приготовление коллоида/суспензии, консолидация в желаемую форму компонента, удаление фазы растворителя и термообработка для получения поддержек для мембран. Основываясь на механизме консолидации, методы коллоидной обработки подразделяются на пять основных категорий: шликерное литье, ленточное литье, гель-литье, литье замораживанием и центробежное литье.

Коллоидные процессы формообразования. Эта группа методов обработки позволяет формировать плотные и пористые керамические компоненты. Суспензии керамических порошков с добавками (диспергаторы, мономеры, сшиватели, связующие, ПАВ, криопротекторы) готовят в соответствующем растворителе для регулирования межчастичных сил. Полученная суспензия в целом должна соответствовать следующим требованиям:

- 1) стабильность во избежание сегрегации и осаждения керамических частиц на стадии консолидации;
- 2) низкая вязкость, позволяющая легко течь и заполнять форму;
- 3) однородность для обеспечения однородного сырого тела с высокой плотностью частиц, что приводит к получению плотного спеченного материала;
- 4) дисперсное состояние, когда частицы присутствуют в виде «индивидуальных» частиц, свободных от агломератов и агрегатов, чтобы свести к минимуму дефекты в сыром теле.

Существует множество методов формования, основанных на методе коллоидной обработки. Некоторые из наиболее распространенных маршрутов показаны на рисунке 4.

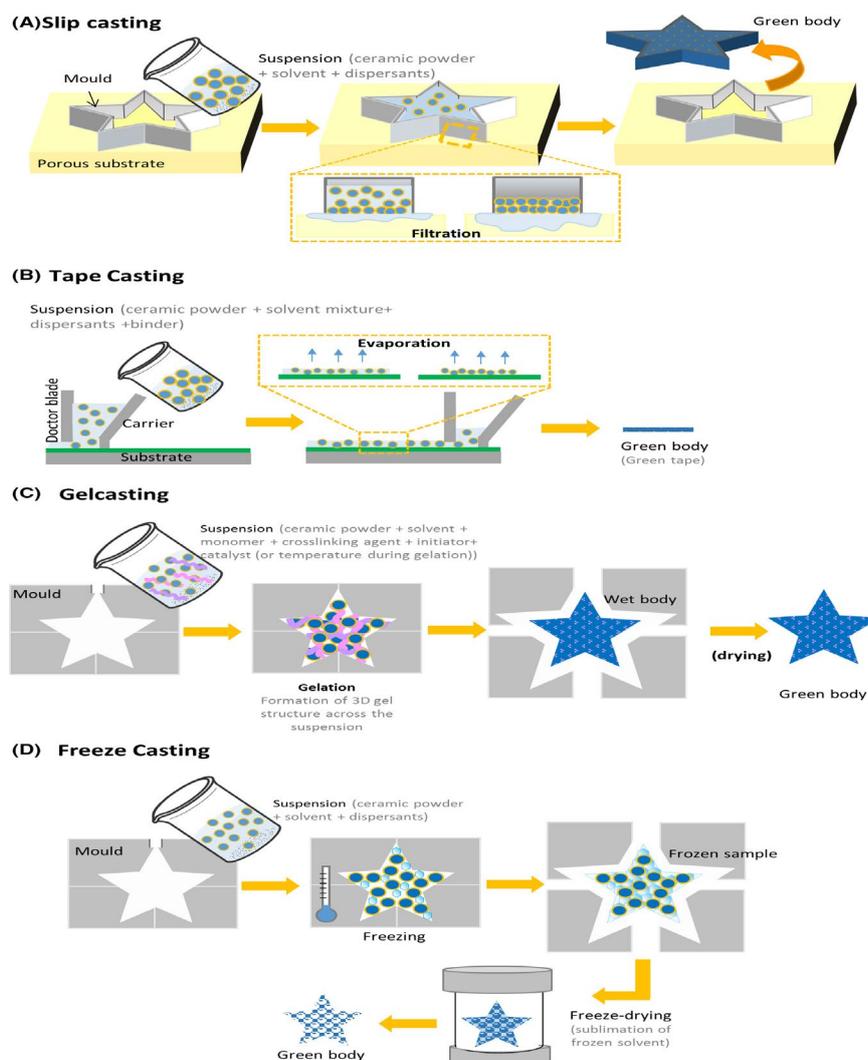


Рисунок 4 – Механизмы консолидации следующие: (А) фильтрационно-шликерное литье; (В) испарительно-ленточное литье; (С) гелеобразование – гелевое литье; (D) замораживание – литье замораживанием

Другие методы, такие как электрофоретическое осаждение, центрифугирование, литье под давлением, литье с прямой коагуляцией и аддитивное производство, также основаны на принципах коллоидной обработки. Большинство из этих методов позволяют формировать как плотные, так и пористые керамические компоненты почти в чистоте [56].

1.5.3 Шликерное литье

Шликерное литье подразумевает отливку шликера в пористых формах или на непористых поверхностях, а сама суть формирования субстрата заключается в

осаждении, процесс фильтрации под давлением или в вакууме [57-59]. Наиболее важной задачей в этом подходе является стабилизация препарата коллоидного шликера, на который влияет размер частиц и поверхностный заряд сырья. Наиболее важными свойствами желаемой поддержки являются проницаемость и механическая прочность, определяемые характеристиками пор и распределением пор по размерам, которые в значительной степени зависят от скользящего раствора. Пористые свойства субстрата зависят от размера и концентрации частиц в шликере, а распределение пор по размерам зависит от агрегатного состояния частиц, которое можно контролировать добавками (ПАВ и диспергаторы), а также их кислотностью или щелочностью. Гомогенный шликер можно получить путем перемешивания, измельчения, обработки ультразвуком и дегазации [59]. Как и в предыдущем описании, узкий размер частиц приводит к узкому распределению пор по размерам и лучшей селективности. но снижает проходимость. Чтобы иметь высокую селективность при сохранении высокой проницаемости, мембранная поддержка разработана с функциональным градиентом размера пор и показала превосходные характеристики [57]. Стерические эффекты могут быть обеспечены добавлением $\text{NH}_4^+ \text{PMA}^-$, а pH регулировали растворами HCl.

1.5.4 Гелевое литье

Особенностью гелевого литья является образование прочного сшитого полимера после заливки суспензии в форму [60]. Общий процесс заключается в заливке суспензии, содержащей керамический порошок, катализатор и инициатор, в форму желаемой формы для образования прочного гидрогеля, который фиксирует керамические частицы на месте под действием химической реакции сшивания, затем извлечение из формы, сушка и окончательно спекают для получения пористой керамики. При использовании этого метода пористость обычно составляет менее 50 процентов.

Пористые керамические поддержки изготавливаются путем комбинирования литья геля с методами вспенивания или методами дублирования или добавления

расходуемой фазы [61]. Было обнаружено, что подходящее значение рН для стабильной коллоидной суспензии α -оксида алюминия составляет около 7–9.

Бабалуо и др. (2004) изготовили керамические поддержки с использованием α -оксида алюминия (средний диаметр частиц = 10 мкм) методом литья геля для получения мембранной поддержки со средним диаметром пор 0,7 мкм (диапазон распределения пор по размерам = 0,3–1,16 мкм) [62].

1.5.5 Литье замораживанием

Замораживание представляет собой новую технологию, состоящую из постепенного иерархического замораживания суспензии, как правило, из нижнего слоя, где начинается рост кристаллов растворителя вдоль направления замораживания и связанное с этим отбрасывание керамических частиц между этими кристаллами (рисунок 5). Затем кристаллы растворителя сублимируют сушкой вымораживанием как при низкой температуре, так и при высокой температуре, чтобы получить сырое тело из пористой керамики. Наконец, после консолидации путем спекания получают слоистые и вертикально ориентированные поры, соответствующие исходной кристаллизации из растворителя [63].

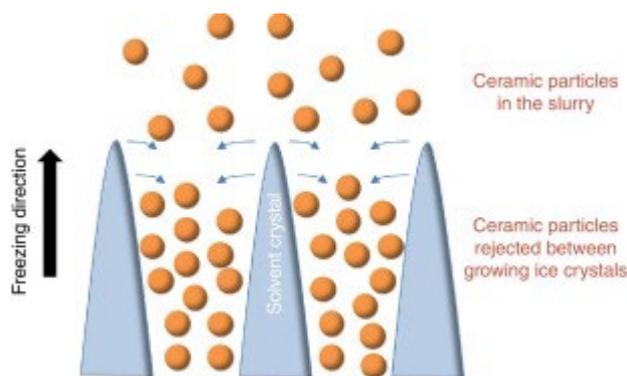


Рисунок 5 – Схема роста кристаллов льда на этапе замораживания и связанное с этим распределение керамических частиц, отбрасываемых между кристаллами льда [63]

Шламы для литья замораживанием содержат как минимум три компонента (керамический порошок, растворитель и добавки) [64–66]. Одним, в частности,

является растворитель, который в настоящее время существует трех типов (вода [67, 68], камфен [69] и трет-бутиловый спирт [70]), каждый из которых приводит к различной форме пористости. Наиболее часто используемым растворителем является вода, которая имеет пластинчатую пористость. Камфен как растворитель может давать дендритные поры, его затвердевание происходит при 44–48 °С [71]. Однако на его летучесть можно повлиять во время стадии замораживания, что препятствует получению гомогенной пористой структуры [72]. Менее распространенный растворитель трет-бутиловый спирт может обеспечить пористость призматической формы [70].

Добавки в суспензию состоят из диспергатора (предотвращающего седиментацию и градиентную концентрацию на этапе замораживания), связующего вещества (придающего достаточную механическую прочность структуре сырца на этапе сушки вымораживанием и, таким образом, предотвращающего его разрушение [73] и каплепеногаситель (обеспечивает хорошую однородность и отсутствие пузырьков воздуха при замораживании [74])

1.5.6 Ленточное литье

Этот метод характеризуется отливкой ленты из суспензии с псевдопластичностью для получения плоских керамических пленок толщиной от 10 мкм до 1 мм [75]. Подготовленная суспензия отливается на движущуюся полимерную ленту, чтобы сформировать ленту, а толщина сырой ленты контролируется выравнивающим лезвием (шаберным лезвием). После сушки зеленую ленту можно разрезать в соответствии с требованиями и ламинировать, чтобы получить более толстую и механически устойчивую ленту, и, наконец, спекать для удаления органических веществ и повышения уплотнения [76, 77]. Причина такого процесса мокрого формования без формования связана с небольшим отличием органических добавок от суспензии по сравнению с предыдущим (дополнительные пластификаторы и связующие вещества), что помогает формированию и увеличивает гибкость сырой ленты. Среди всех методов

коллоидного производства керамики наиболее важными факторами являются: производство суспензии, такие как концентрация твердого вещества, порядок добавления добавок, количество и свойства связующего и другие параметры процесса — все это влияет на конечные свойства керамической поддержки [78]. В этом методе ожидаемые свойства немного отличаются от предыдущих, мы не ожидаем дефектов при сушке; сцепление, позволяющее манипулировать высушенными листами; микроструктурная однородность; хорошая возможность термопрессования (ламинирования); легкий пиролиз (удаление вяжущих). Обычно используют диспергатор для диспергирования металлического порошка в растворителе, а затем добавляют связующее, пластификатор, пеногаситель и другие добавки. В частности, использование пластификатора может придать суспензии псевдопластичность, а вязкость будет снижаться в процессе литья из-за усилия сдвига лопасти с последующим быстрым увеличением, таким образом достигается подавление случайного течения и предотвращение осаждения керамики. частицы [79].

Процесс сушки необходимо точно контролировать, чтобы избежать трещин, в зависимости от состава толщина зеленой ленты после сушки может быть уменьшена до половины первоначальной толщины [80]. Структурная стабильность может быть улучшена за счет увеличения толщины ленты посредством ламинирования, процесса, требующего приложения давления к уложенной друг на друга ленте при температурах выше температуры размягчения системы клея и пластификатора [81]. Однако процесс термопрессования усиливает взаимопроникновение соседних частиц, что приводит к снижению проницаемости [82]. В дополнение к методу ламинирования также можно наливать суспензии поверх слегка подсушенной сырой ленты, что известно как оклейка ленты [83].

Завершающим этапом производственного процесса является обжиг формованной неспеченной ленты, при котором путем сжигания удаляются добавки (диспергатор, пластификатор, пеногаситель, связующее).

1.5.7 Подготовка макропористых структур

Среди методов формирования поддержки наиболее значительным преимуществом коллоидной обработки является возможность создавать и проектировать легко контролируемые пористые керамические структуры, сохраняя при этом почти чистую способность пор к формированию. Механизм производства макропористой керамики показан на рисунке 6.

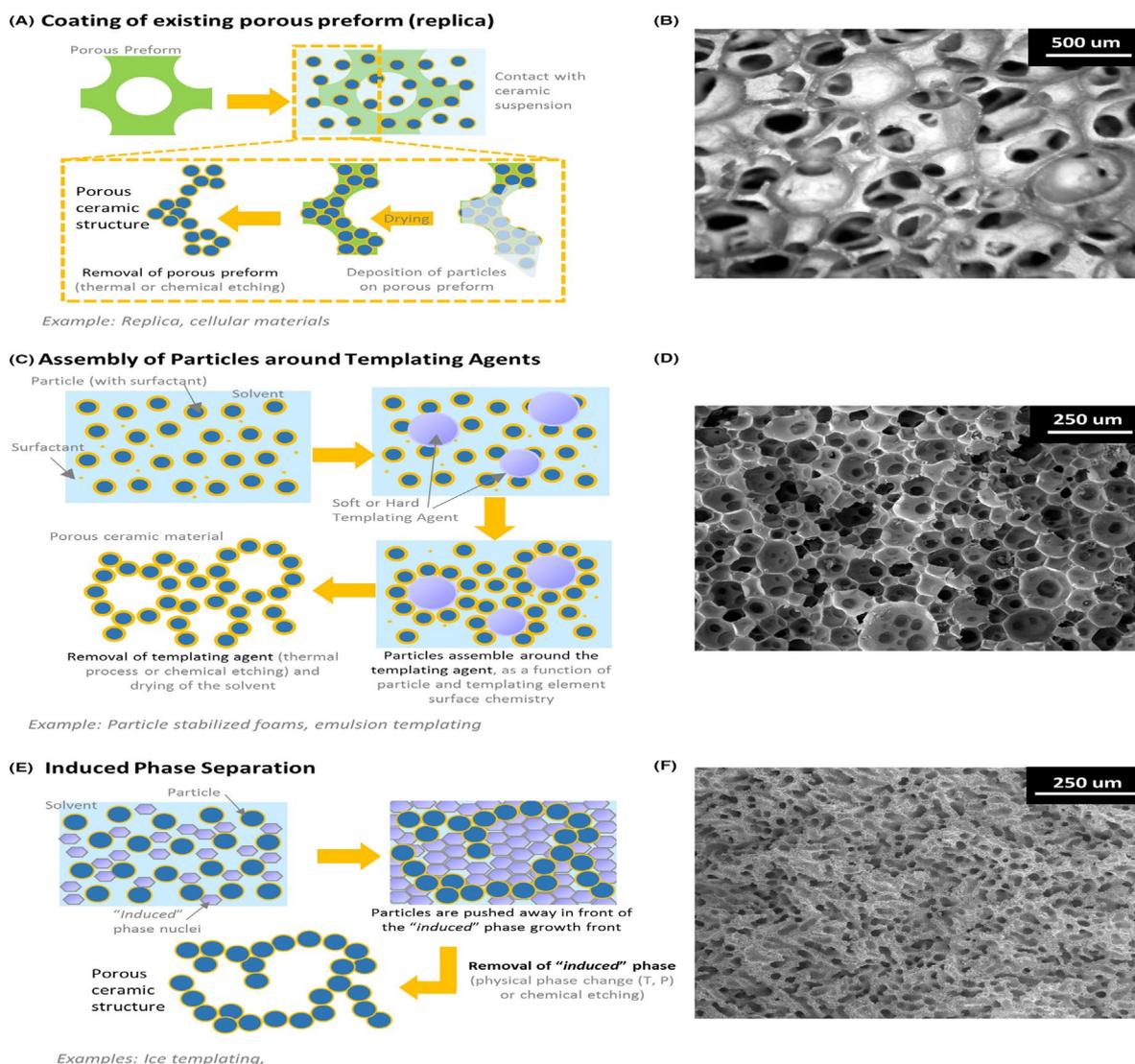


Рисунок 6 – Обзор различных механизмов, используемых для создания макропористой керамики с использованием методов коллоидной обработки

(А) Метод реплик включает покрытие пористой заготовки, т.е. полимерных губок или СС-структур, суспензией с последующей сушкой.

(В) Пример пористого диборида циркония (ZrB_2), полученного методом

реплик с пористостью 85%.

(C) Метод жертвенного шаблона включает сборку частиц вокруг шаблонных агентов (пузырьков воздуха, капель эмульсии, полимерных сфер или углеродных волокон) с последующей сушкой.

(D) Пример пористого оксида алюминия (Al_2O_3), полученного методом стабилизированной частицами пены с пористостью 80%.

(E) Подход к индуцированному фазовому разделению основан на фазовом разделении, таком как переходы замороженного растворителя или жидкости в гель, чтобы выталкивать частицы в одну фазу, оставляя свободную от частиц фазу в качестве порообразователя.

(F) Пример пористого TiB_2 , полученного методом ледяного шаблона с пористостью 75%.

Для большинства этих методов требуется стадия удаления преформы, шаблонного агента или «индуцированной» фазы для создания пористой структуры. Этот этап удаления обычно представляет собой термическую обработку (прокаливание), физическое преобразование (сублимацию) или химическое травление. Наконец, зеленые тела обжигают, чтобы укрепить и/или уплотнить стойки.

1.5.8 Метод экструзии

Техника клеевой обработки представляет собой обычный метод изготовления керамических пленок, при котором желаемая форма достигается путем экструзии глины. Глина обладает пластичностью, что позволяет формировать желаемую конфигурацию при более низком давлении экструзии. На результирующие свойства мембраны также влияют давление и скорость экструзии. Смешивание керамических порошков со связующими, смазочными материалами и другими добавками обеспечивает необходимые пластические свойства, необходимые для отличной способности формообразования без потери сцепления.

Как правило, производные целлюлозы, включая метилцеллюлозу,

карбоксиметилцеллюлозу и гидроксиэтилцеллюлозу, используют в качестве связующих, а органические полимеры, такие как ПВС, ПАК и ПЭГ, действуют как пластификаторы или смазывающие вещества. Используются также порообразователи, в частности кукурузный крахмал [53].

В методе экструзии шнек или поршень (в лаборатории) помогают проталкивать однородную пасту через отверстие матрицы. Изменяя геометрию матрицы, можно изготавливать керамические мембраны с различными характеристиками, например внешним диаметром трубок, количеством и диаметром каналов. Этот метод имеет широкое применение и позволяет увеличить скорость подачи благодаря высокому соотношению площади поверхности к объему модулей, что делает его особенно подходящим для промышленного применения. На средний размер пор и пористость, определяющие свойства мембраны, влияют несколько факторов, в том числе размер частиц керамического порошка, природа и доля органических добавок, старение пасты, выдавливание, давление экструзии и скорость.

Ларбот и его коллеги [84] изготовили трубчатую опору методом экструзии, используя в качестве исходного сырья алжирскую глину (аттапульгит) и порошок кордиерита. Они использовали метилцеллюлозу (Methocel) в качестве связующего и пластификатора, Amigel в качестве деформирующего агента и кукурузный крахмал в качестве порообразователя. Бенито и др. (2005) [85] изготовили мембранную поддержку, используя реактивную смесь α -оксида алюминия или кордиерита с ПЭГ в качестве пластификатора. Как правило, в большинстве методов изготовления для приготовления пасты используются органические связующие вещества или пластификаторы; однако в нескольких работах сообщалось об изготовлении поддержек с использованием неорганических прекурсоров для приготовления пасты.

Мохаммади и др. (2005) [86] изготовили каолиновую поддержку для мембраны, используя глинозем в качестве добавки для спекания и карбонат натрия в качестве порообразователя и кондиционера для пасты. Они также следовали

процедуре Тагучи, чтобы сократить количество экспериментов, что сокращает затраты и время. Их основное намерение состоит в том, чтобы разработать муллитовую поддержку, поскольку она обладает выдающимися свойствами, такими как низкая теплопроводность и расширение, превосходное сопротивление ползучести и превосходная термическая, химическая и механическая стабильность. Кроме того, он сохраняет пористость при повышенных температурах. Их исследование показало, что добавление оксида алюминия усиливает образование муллита, а увеличение количества карбоната натрия увеличивает пористость из-за образования CO_2 во время спекания. Кроме того, образование стекловидной фазы во время спекания блокирует поры, что приводит к снижению пористости и проницаемости. Бузерара и др. (2006) [53] приготовили мембранную поддержку, используя смеси каолина и доломы, чтобы снизить стоимость мембран. Опоры были изготовлены четырьмя различными способами, а именно: валковым прессованием, сухим прессованием, вклеиванием в трубчатую форму и плоской компоновкой. Их исследование показало, что структура пор (модальное распределение размера пор, общая пористость и средний размер пор) в основном зависит от температуры спекания, добавок и способов обработки и может контролироваться путем контроля этих параметров. Недавнее исследование Jedidi et al. (2009) [87] показали, что поддержка мембраны с хорошей пористостью (51%) и средним размером пор 4,5 мкм может быть успешно изготовлена с использованием недорогой золы-уноса в качестве исходного материала с использованием метода экструзии. Во многих работах сообщалось об использовании каолина при изготовлении недорогих мембранных носителей, что связано с его уникальными характеристиками для применения в мембранах [53, 84, 86].

1.6 Прекерамическая бумага

Одним из которых является формирование листа из низкоконцентрированной суспензии (0,5-5 масс. % твердых веществ). Приоритетом является сохранение как

можно большего количества наполнителя и волокон в бумажном листе. Для этого бумагоделательная суспензия, состоящая из волокон, наполнителей, удерживающих агентов и связующих веществ, подается в бумагоделательную машину, где она подвергается обезвоживанию для формирования непрерывного листа бумаги. Затем бумажный лист подвергается прессованию для снижения содержания влаги перед его сушкой с последующим каландрированием в конце бумагоделательной машины. Это позволяет полировать керамические заготовки между двумя валками, что приводит к получению более гладких поверхностей.

Удержание является важнейшим аспектом эффективного производства бумаги, и химические методы могут помочь увеличить удержание. Коагуляция и флокуляция являются двумя процессами, участвующими в этом методе.

Коагуляция является начальным этапом и включает нейтрализацию поверхностных зарядов частиц и уменьшение электростатического отталкивания за счет увеличения электропроводности раствора. Этот шаг подготавливает частицы к эффективной флокуляции, сближая их. Во время коагуляции катионный источник или коагулянт нейтрализует электростатический заряд, окружающий мелкие частицы. Сульфат алюминия, также известный как квасцы для изготовления бумаги, является наиболее распространенным неорганическим коагулянтом для кислых (pH 4,0–5,5) систем производства бумаги. Органические полимеры также могут использоваться в качестве коагулянтов и предназначены для эффективной работы в широком диапазоне pH.

Флокуляция является вторым этапом, когда добавляются полимерные флокулянты с высокой молекулярной массой (HMW), чтобы связать нейтрализованные частицы вместе и удержать их в листе. Эти флокулянты включают полимеры на основе полиакриламида, полиэтилена и полиэтиленimina с молекулярной массой от 500 000 до десятков миллионов. в отличие от коагулянтов флокулянты могут быть катионными, анионными или неионогенными.

Механизмы прикрепления высокомолекулярного полимера к поверхности частиц не совсем понятны, но важными считаются водородные связи и ионное

спаривание. катионные полиакриламиды могут присоединяться к противоположно заряженным частицам посредством ионного спаривания, в то время как акриламидные полимеры прикрепляются к поверхностям посредством водородных связей.

Для мониторинга уровней удерживания использовались как измерения дзета-потенциала, так и соотношения коллоидного титрования между анионной и катионной потребностью суспензий пульпы. рекомендуется, чтобы степень ретенции (DR) превышала 90% для достижения высокой загрузки наполнителя и однородной прекерамической микроструктуры бумаги. Пористость обычно составляет от 35% до 55%.

Механические свойства прекерамической бумаги существенно влияют на различные аспекты ее обработки, такие как обработка, механическая обработка (тиснение, каландрирование и резка), формование и соединение бумажных листов. Поскольку преобразование бумаги представляет собой процесс, который включает формообразование (сжатие, изгиб или их комбинацию) и фиксацию формы (пластическую деформацию или соединение), материал должен демонстрировать упруго-пластические свойства наряду с высокой механической стабильностью для достижения и поддержания желаемого качества. форму заготовки при преобразовании в керамический компонент путем спекания и/или пропитки при повышенных температурах. Один бумажный лист, многослойный ламинат и гофрированный картон представляют собой широкий спектр методов изготовления тонкостенных легких керамических компонентов сложной формы или большого объема, как схематично показано на рисунке 7. эlegantный и гибкий подход к производству трехмерных компонентов под управлением САПР. Кроме того, укладка прекерамической бумаги различного состава позволяет изготавливать компоненты с градиентным изменением состава и свойств, например, функционально-градиентные материалы.

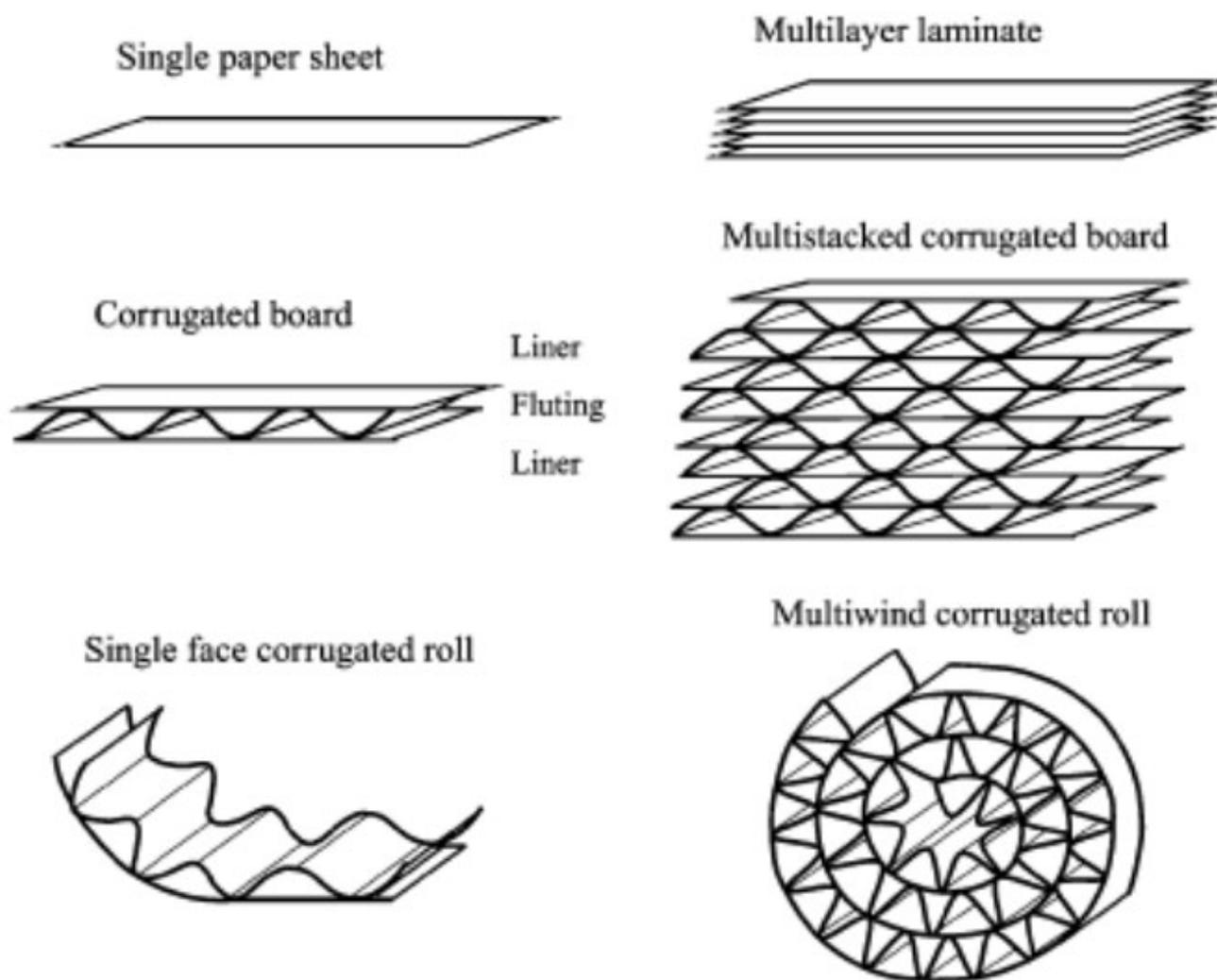


Рисунок 7 – Многослойные и гофрированные заготовочные конструкции из листовой и гофрированной бумаги

Преобразование предварительно керамической бумажной заготовки в керамический продукт включает два ключевых этапа: удаление волокон биоорганической целлюлозы и уплотнение компактного порошка неорганического наполнителя. в зависимости от типа наполнителей и желаемого фазового состава продукта были исследованы три основных технологических маршрута:

1. оксидную керамику получают отжигом предварительно керамической бумажной заготовки, наполненной оксидом, на воздухе для разложения и окисления волокон в диапазоне температур от 300 до 800°C. далее заготовка спекается при повышенных температурах от 1200 до 1600°C.

2. карбидную керамику получают после пиролиза в инертной атмосфере

при 300—800°C. при этом образуется заготовка из биоуглеродного шаблона, которая затем реагирует с карбидообразующими наполнителями, такими как кремний, титан или интерметаллиды, при температурах ниже точки плавления фазы наполнителя.

3. неоксидная композитная керамика предполагает формирование высокопористой биоуглеродной преформы-шаблона. в заготовку проникает жидкая или газовая фаза, а окончательное уплотнение происходит при охлаждении (в случае расплава) или разложении (в случае газовой фазы). поскольку инфильтрат жидкости заполняет оставшееся поровое пространство без изменения общих размеров преформы, можно получить композит почти сетчатой формы с низкой остаточной пористостью.

Недавние исследования каолиновой и муллитовой керамической поддержки показали хорошую механическую стабильность и хорошие поверхностные свойства. В сочетании с низкой стоимостью в ближайшем будущем можно ожидать, что мембраны на основе каолина и муллита будут коммерциализированы для различных промышленных применений.

2 Материалы и методы исследования

2.1 Получение прекерамических бумаг

Изготовление прекерамической бумаги проводилось с использованием бумагоделательной машины D-7 (Sumet Technologies GmbH, Германия). Внешний вид установки показан на рисунке 8. Эта машина идеально подходит для производства лабораторных прямоугольных листов размерами 300 x 900 мм, в условиях, имитирующих работу промышленных бумагоделательных машин. Этот механизм позволяет изменять ориентацию волокон благодаря модифицированным соплам и различным скоростям вращения барабана. Кроме того, он облегчает производство многослойной бумаги. Бумагоделательная машина позволяет изготавливать различные виды бумаги с разной плотностью и характеристиками, достигаемыми за счет изменения параметров её получения.

Толщина одного слоя прекерамической бумаги составляла порядка 300 мкм. В качестве материалов наполнителя использовался оксид алюминия двух разных фракций: наноразмерный порошок и бимодальный (микро и нанопорошок).

Прекерамическая бумага представляет собой многослойный композиционный материал. Изготовление прекерамической бумаги производится с использованием бумагоделательной машины и включает следующие этапы:

1. Приготовление водной суспензии, содержащей наполнитель и древесную массу или целлюлозное волокно,
2. Коагуляция волокна и наполнителя в суспензии с использованием полимерных добавок;
3. Формирование бумажного листа путем обезвоживания исходного сырья.

Свойства прекерамической бумаги, такие как гладкость, пористость, однородность, плотность, жесткость, прочность и сжимаемость, в значительной степени зависят от связей между волокнами. Эти связи в основном представляют собой водородные связи. Высокое содержание неорганических наполнителей оказывает влияние на соединение (связи) волокон и, следовательно, свойства

прекерамической бумаги.

Производство прекерамической бумаги заключается в том, что суспензия, состоящая из волокон, неорганического наполнителя, удерживающих добавок и связующих, переносится в бумагоделательную машину, где формирование листа прекерамической бумаги осуществляется путем дегидратации (обезвоживания), как показано на рисунке 8. Изготовление суспензий низкой концентрации (содержание твердых веществ 0,5–5 масс. %) является важным этапом в производстве прекерамической бумаги. А в сухом состоянии весовое соотношение наполнителя и волокна составляет 5:1–10:1, что позволяет сохранять больше наполнителя и волокна в листе.

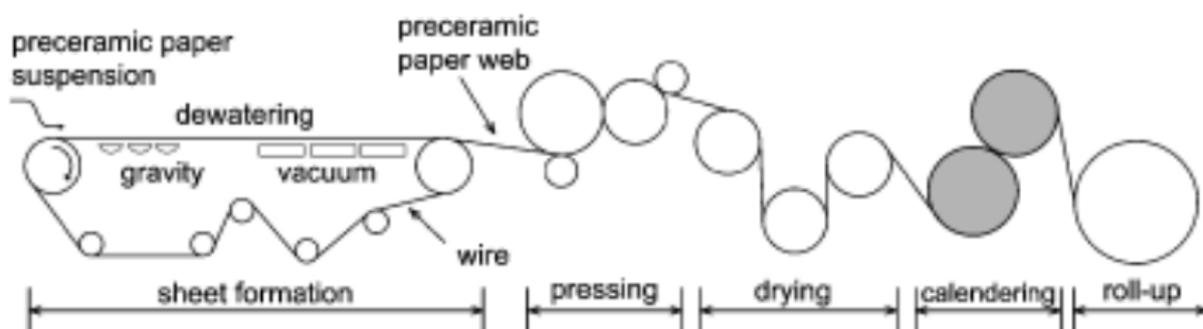


Рисунок 8 – Схематическое изображение производства прекерамических бумажных листов

Вода удаляется дренажом через пустоты в перфорированном барабане путем создания вакуума. В результате образуется влажное полотно, состоящее из волокон целлюлозы и частиц наполнителя. После начального обезвоживания полотно затем передается в прессовальную часть бумагоделательной машины, где содержание воды дополнительно снижается за счет механического прессования полотна между металлическими вальками. После механического прессования бумажное полотно передается в сушильную часть бумагоделательной машины, где оно перемещается между металлическими цилиндрами и сушится теплым воздухом. После стадии сушки в бумажном листе обычно остается содержание воды около 5 масс.%. Кроме того, в сухом состоянии прекерамическая бумага может быть разглажена и

отполирована между наборами валков. Этот этап называется каландрированием. Затем бумажный лист сматывается в рулоны для дальнейшей обработки/транспортировки и хранения. В промышленных масштабах бумагоделательные машины работают на высоких скоростях до 35 м/с. Типичная толщина обычной бумаги колеблется от 100 до 300 мкм, а плотность бумаги, характеризуемая удельным весом колеблется от 20 до 300 г/м² (например, типичная писчая бумага имеет плотность 70–80 г/м²). По сравнению с писчей бумагой прекерамическая бумага может содержать значительно более высокую долю наполнителя >80 масс. % неорганического порошка, что обеспечивает плотность >300 г/м². Для изготовления оксидной керамики выбирают волокна целлюлозы с низким содержанием золы, чтобы свести к минимуму попадание примесей в изготавливаемую инженерную керамику. В зависимости от процесса изготовления бумаги, например, прокатки и прессования, пористость обычно составляет от 35 % до 55 %.

2.2 Спекание прекерамических бумаг

Для спекания прекерамических бумаг применялся метод искрового плазменного спекания (ИПС), реализованный на установке SPS 10-4 (GT Advanced Technology, США). Внешний вид установки приведен на рисунке 9. Метод ИПС дает ряд преимуществ при обработке материалов. Он обеспечивает равномерное распределение тепла по всему образцу, позволяя последовательно спекать как однородные, так и неоднородные материалы. Метод исключает необходимость предварительной обработки давлением или связующими веществами, что означает большее удобство и меньшие затраты времени на подготовительные работы. Процесс также облегчает испарение примесей, в результате чего получается продукт с минимальным ростом зерен и минимальным изменением микроструктуры. Эти преимущества достигаются при низких производственных затратах, что делает метод в целом высокоэффективным.

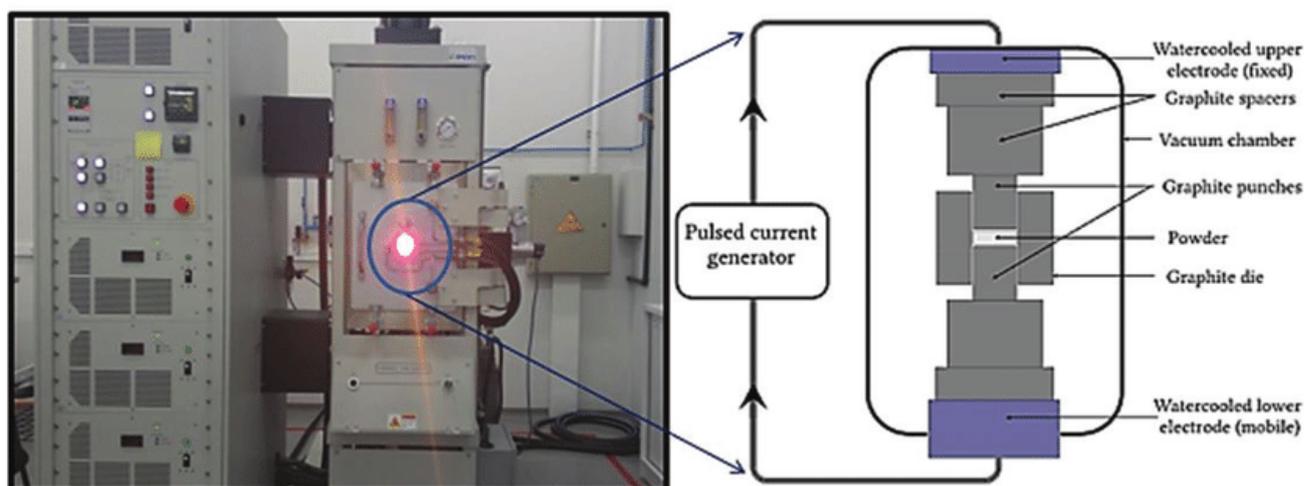


Рисунок 9 – Внешний вид установки 10-4 GT и схематическое изображение метода ИПС

Эта технология позволяет значительно изменить микроструктуру глиноземной керамики, что приводит к ряду важных структурных изменений.

Повышенная пористость: при плазменно-искровом спекании для производства пористой глиноземной керамики в глиноземной керамике образуется высокая плотность газовых каналов из-за интенсивного воздействия высокотемпературного плазменного разряда. Эти каналы соединяются между собой, придавая всему материалу большую пористость и площадь поверхности и образуя непрерывную кавернозную сетевую структуру от поверхности к внутренней части.

Уменьшение размера зерна: Высокотемпературный плазменный разряд, которому подвергается процесс плазменно-искрового спекания, сильно расплавляет мельчайшие частицы в глиноземной керамике, заставляя их связываться и агломерироваться друг с другом, что приводит к уменьшению размера зерна и, таким образом, улучшает механические свойства пористой глиноземной керамики.

Образцы в настоящей работе были изготовлены методом ИПС в вакууме при температурах 1200°C, 1300°C и 1400°C; скорость нагрева 100 °/мин и давлении 10 МПа в течение 5 мин.

2.3 Анализ кристаллической структуры образцов

Фазовый состав образцов был определен с помощью рентгеноструктурного анализа (РСА). Изменения в интенсивности дифрагированного рентгеновского излучения могут быть измерены, зарегистрированы и построены в зависимости от угла поворота образца, что дает рентгеновскую дифракционную картину образца. С помощью компьютера можно проанализировать положение и интенсивность пиков, связанных с этой картиной, что позволяет провести качественный анализ, определить напряжение и постоянную решетки образца. Качественный анализ может проводиться на основе высоты или площади пика. Кроме того, по углам и профилям пиков можно определить размер кристалла, степень кристаллизации и использовать для проведения точного рентгеноструктурного анализа.

Дифракция рентгеновских лучей, явление, при котором атомы кристалла, в силу их равномерного расположения, вызывают интерференционную картину волн, присутствующих в падающем пучке рентгеновских лучей. Атомные плоскости кристалла воздействуют на рентгеновские лучи точно так же, как равномерно расположенная дифракционная решетка на пучок света. Пучок рентгеновских лучей падает на кристалл под углом падения θ . Он отражается от атомов кристалла под тем же углом θ . Рентгеновские лучи отражаются от атомных плоскостей в кристалле, находящихся на расстоянии d друг от друга. Для образования интерференционной картины рентгеновские лучи, отражающиеся от двух разных плоскостей, должны конструктивно взаимодействовать; в противном случае рентгеновские лучи будут взаимодействовать деструктивно и не образуют никакой картины. Для конструктивной интерференции разница в длине пути между лучами, отражающимися от двух атомных плоскостей, должна составлять целое число (n) длин волн (λ), или $n\lambda$.

Наблюдая интерференционную картину, можно определить внутреннюю структуру кристалла.

Связь между расстоянием между атомными плоскостями в кристаллах и углами падения, при которых эти плоскости производят наиболее интенсивное

отражение электромагнитных излучений, таких как рентгеновские и гамма-лучи, и волн частиц, таких как волны, связанные с электронами и нейтронами. Для максимальной интенсивности отраженных волн они должны оставаться в фазе, чтобы возникла конструктивная интерференция, при которой соответствующие точки волны (например, ее гребни или впадины) приходят в точку одновременно. Закон Брэгга был впервые сформулирован Лоуренсом Брэггом, английским физиком.

На рисунке 10 показаны волны 1 и 2, находящиеся в фазе друг с другом, отражающиеся от атомов А и В кристалла с расстоянием d между атомными плоскостями, или плоскостями решетки.

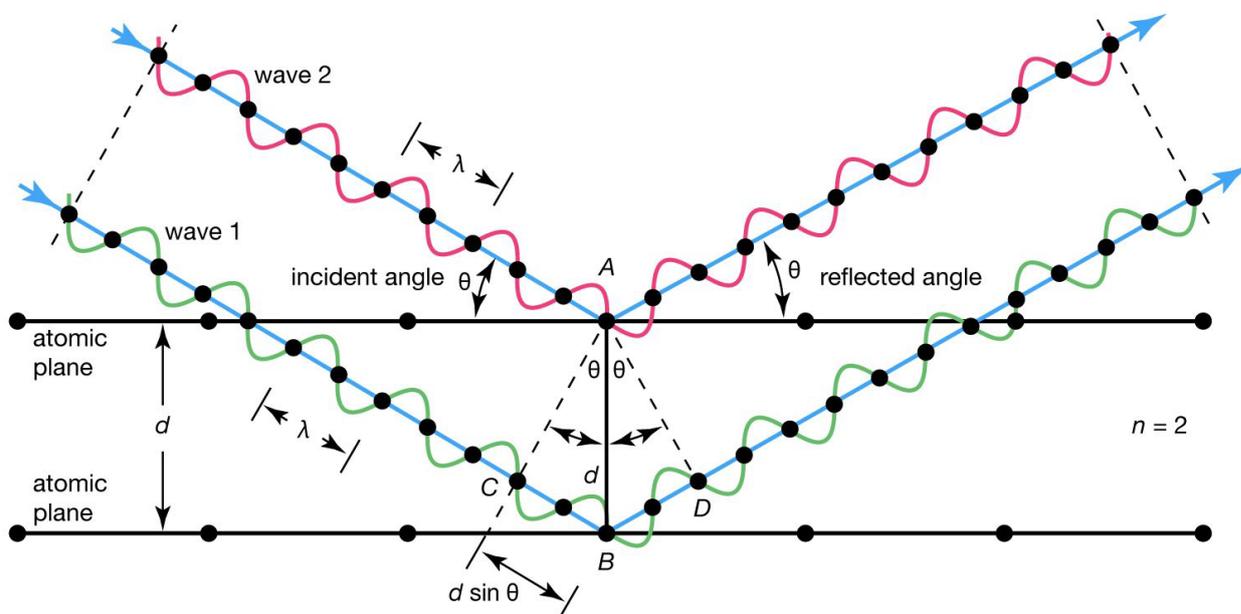


Рисунок 10 – Дифракция Брэгга

Угол отражения θ , как показывает эксперимент, равен углу падения θ . Условием того, что две волны останутся в фазе после отражения, является то, что длина пути $СВД$ равна целому числу (n) длин волн (λ), или $n\lambda$. Но, исходя из геометрии, $СВ$ и $ВД$ равны друг другу и расстоянию d , умноженному на синус отраженного угла θ , или $d \sin\theta$. Таким образом, законом Брэгга является:

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

Как видно из диаграммы, при $n = 2$ вдоль пути $СВ$ проходит только одна длина волны; кроме того, угол отражения будет меньше, чем, скажем, при $n = 3$. О волнах,

отраженных под углом, соответствующим $n = 1$, говорят, что они имеют первый порядок отражения; угол, соответствующий $n = 2$ - второй порядок, и так далее. При любом другом угле (соответствующем дробному n) отраженные волны будут находиться вне фазы, и произойдет деструктивная интерференция, в результате которой они аннигилируют.

Закон Брэгга применяется для измерения длин волн и определения расстояний между атомными плоскостями в кристаллах. Для измерения определенной длины волны пучок излучения и детектор устанавливаются под некоторым произвольным углом θ . Затем угол изменяется до получения сильного сигнала. Угол Брэгга, как его называют, дает длину волны непосредственно из закона Брэгга. Это основной способ точного измерения энергии рентгеновских лучей и низкоэнергетических гамма-лучей.

В данном исследовании использовался прибор XRD-7000. Измерения проводились с использованием излучения $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 0,154$ нм) при 40 кВ и 30 мА в геометрии Брэгга-Брентано с шагом сканирования 0,0143 град и скоростью сканирования образца 10 град/мин, в диапазоне углов 2θ 20-90 град.

2.4 Анализ микроструктуры образцов

Анализ микроструктуры проводился с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3, оснащенного приставкой для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Данный микроскоп оснащен вольфрамовой нитью накаливания. Исследования образцов проводились в режимах обратно отраженных электронов и вторичных электронов, ускоряющее напряжение составляло 20 кВ. Увеличения варьировались от $\times 200$ до $\times 5000$.

2.5 Анализ пористости образцов

Метод гидростатического взвешивания применяется для определения плотности твердых объектов, которые невозможно взвесить с помощью обычных весов. Определяется масса объекта и объем жидкости, в которую он полностью

погружен. Используя принцип Архимеда, можно точно рассчитать плотность твердого тела по следующему соотношению:

$$\rho_{\text{эксперимент}} = \frac{m}{v_{\text{погр}}} - \rho_{\text{жидк}} \quad (2)$$

Где ρ - плотность тела, m - масса тела, $v_{\text{погр}}$ - объем жидкости, в которой погружено тело, $\rho_{\text{жидк}}$ - плотность жидкости, в которой погружено тело (обычно используют воду).

Общую пористость образцов оценивали по следующей формуле:

$$\text{Пористость} = \frac{\rho_{\text{эксперимент}}}{\rho_{\text{теория}}} \times 100\% \quad (3)$$

Открытая пористость образцов оценивали по следующей формуле:

$$\text{Открытая пористость} = \frac{(M-m)\rho_{\text{жидк}}}{(M-M_{\text{в жидк}})\rho_{\text{общий}}} \times 100\% \quad (4)$$

Где M - масса образца насыщенной жидкости, $M_{\text{в жидк}}$ - масса образца в жидкости, $\rho_{\text{общий}}$ - плотность образца насыщенной жидкости.

2.6 Исследование газопроницаемости

Тесты на проницаемость водорода были проведены с использованием автоматизированной установки по Gas Reaction Automated Machine (GRAM, ТПУ, Россия), оборудованной ячейкой для газопроницаемости. Для проведения теста на проницаемость, образцы поместили в испытательную камеру с резиновой уплотнительной прокладкой. Величина остаточного давления перед экспериментом составляла 1×10^{-3} Па. Испытание проводилось при комнатной температуре (25°C). Со стороны подачи газа, установили давление водорода в диапазоне от 0,1 до 0,5 МПа, с измерением падения давления газа в предварительно калиброванном объеме. На рисунке 11 показана схематическая диаграмма установки [88].

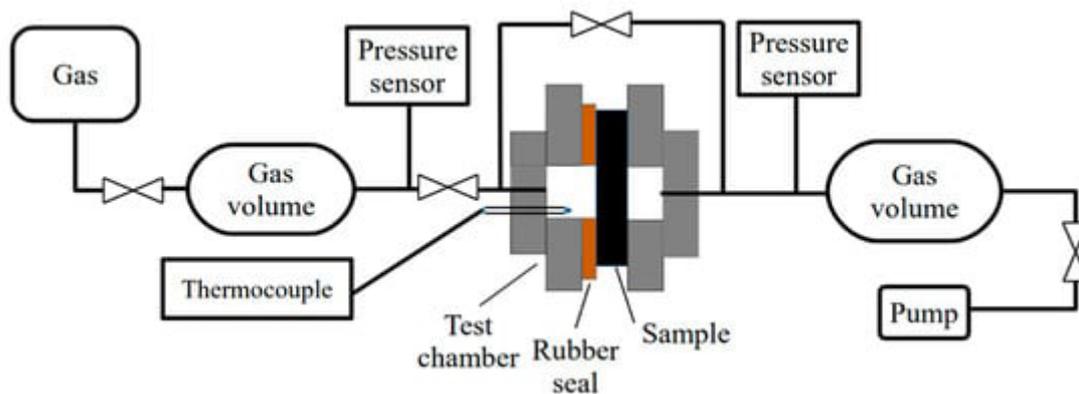


Рисунок 11 – Схематическую диаграмму установки [88]

Основными характеристиками поддержек и мембранных материалов в целом являются их газопроницаемость и производительность. Поток (Φ), который представляет собой общий транспорт вещества через мембрану, может быть выражен в массовой или молярной концентрации на единицу площади по времени. Проницаемость (j) описывает скорость потока на единицу разности давления между входом и выходом из мембраны:

$$j = \Phi \times \frac{d}{\Delta P} \quad (5)$$

где Φ – поток газа (моль/ ($\text{м}^2 \times \text{с}$)), j – газопроницаемость (моль/ ($\text{м} \times \text{с} \times \text{Па}$)), d – толщина образца (м), ΔP – разница давлений на входе и выходе образца (Па).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б95	Ван Цзынин

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Затраты на сырьё, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. Налоговый кодекс Российской Федерации 2. ФЗ №212 от 24.07.2009 в ред. от 19.12.2016

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Расчет инновационного потенциала НТИ</i>	– SWOT-анализ; – оценка научного уровня исследования.
<i>2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта</i>	– расчет материальных затрат; – расчет основной и дополнительной заработной платы: – расчет отчислений во внебюджетные фонды; – расчет бюджета проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Матрица SWOT 2. График проведения НТИ 3. Диаграмма Ганта; 4. Бюджет затрат научно-технического исследования 5. Основные показатели эффективности НИ 	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская.М.В	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Ван Цзынин		

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы

Целью данной работы заключается в экономическом планировании и оценке ресурсоэффективности создания материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований:

- Провести SWOT – анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;

- Провести планирование научно – исследовательской работы;

- Определить бюджет научного проекта;

- Определить ресурсоэффективность проекта;

На сегодняшний момент данный раздел является одним из значимых в проектировании в различных областях, как технических, так и гуманитарных наук. В контексте данной работы необходимо рассмотреть не только технические характеристики рабочего оборудования, применяемого для изготовления керамических композитов, но и провести экономическую оценку, из которой будет показана выгодность данного метода.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследований являются производства водорода, нефтепереработка и химическая промышленность. В каждой сфере необходимо изготовление материалов менее затратными способами, добиваясь новых свойств и качеств. Это означает, что потребители – крупные коммерческие и некоммерческие организации отраслевой принадлежности.

Для определения группы потребителей, которых может заинтересовать результаты данных научных исследований, необходимо провести сегментирование рынка.

Выбранные основные характеристики потребителей сегмента:

Месторасположение – производства водорода, нефтепереработка и химическая промышленность.

Отношение к услуге – готовность внедрять новые технологии в технологический процесс.

Закупочные принципы – компании, проводящие централизованный закуп услуг.

Так как исследования представленных в работе представлены технологии получения новых композиционных материалов, которые ранее никем не производились, результаты будут интересны большинству организаций, вне зависимости от их месторасположения. Для определения группы потребителей, которых может заинтересовать данные композиционные материалы, необходимо провести сегментирование рынка. Карта сегментирования рынка по модификации поверхностей представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Карта сегментирования рынка услуг в области АТ

	Вид услуги		
	Фильтрующие мембраны для очистки водорода могут быть использованы в производстве водорода из сингаза и природного газа для удовлетворен ия	Фильтрующие мембраны для очистки водорода могут повысить качество нефтепродукто в за счет удаления газов примесей в процессе гидрокрекинга и	Фильтрующие мембраны для очистки водорода позволяют получать водород высокой чистоты для использования в реакциях химического синтеза. Они используются для контроля уровня примесей в газе и улучшения

		потребностей различных областей.	гидрокрекинга тяжелой нефти.	качества и характеристик готового продукта, например, при производстве полимеров, красок и электронных устройств.
Сфера услуг	Производства водорода			
	Нефтепереработка			
	Химическая промышленность			
	Hydrogenius		Royal dutch shell	Wanhua chemical

Промышленность по производству водорода:

Hydrogenius - немецкий производитель, специализирующийся на оборудовании для производства водорода методом мембранного электролиза.

Plug power - американская компания, производящая топливные элементы и системы хранения водорода для промышленного и автомобильного применения.

Нефтеперерабатывающая промышленность:

Royal dutch shell - голландская транснациональная нефтяная компания, одна из вторых по величине в мире.

Химическая промышленность:

Wanhua chemical - китайская химическая компания, специализирующаяся на производстве полиуретана, покрытий и пленкообразующих материалов.

4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.2.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Продукт: композитные мембраны для фильтрации водорода на основе пористых керамических поддержек.

Целевой рынок: водородная энергетическая компания, компания по подготовке водорода.

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, для этого были отобраны 2 конкурентные разработки. Расчет показателя конкурентоспособности производился по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot V_i,$$

где B_i – бал i -го показателя, V_i – вес показателя (в долях единицы).

Таблица 6 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

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. Классы материалов для использования	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6

2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	5	3	1,25	1,25	0,75
3. Уровень шума работы установки	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,2
4. Качество изделий	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
5. Простота в эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Скорость создания изделий	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена изготавливаемой продукции	0,15	4	3	2	0,6	0,45	0,3
Итого:	1	31	28	17	4,55	4,1	2,75

4.2.2 SWOT – анализ

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

Сильные стороны – это факторы, которые характеризуют конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Указывают на отличительное преимущество проекта или ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Возможности включают в себя предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза – это любая нежелательная ситуация, тенденция или изменение в условиях окружающей среды проекта, которая имеет разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

SWOT-анализ можно осуществить и представить в виде интерактивной матрицы работы, таблица 7, а также результирующих таблиц возможностей и угроз НИР, таблицы 8.

Каждый фактор таблицы 7 помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» / «-».

Таблица 7 – Интерактивная матрица сильных сторон с учетом возможностей

Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	+
	B2	+	-	-

Таблица 8 – SWOT – анализ

	Сильные стороны научно - исследовательского проекта C1 Использование нового метода изготовления композита снижает использование дорогостоящего материала палладия C2 Высокие технологические свойства материала C3 Применение для создания деталей сложных геометрических форм	Слабые стороны научно – исследовательского проекта Сл1. Высокие требования к исходным материалам для изготовления Сл2. Необходимость изготовления большого количества оборудования для промышленных нужд Сл3. Требования к расчету параметров для получения необходимых свойств
Возможности B1 Высокая потребность современных отраслей промышленности в новых материалах B2 Сокращение	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Использование нового метода изготовления композита, который снижает использование дорогостоящего материала палладия, является сильной	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. слабой стороной проекта является необходимость изготовления большого

<p>затрат на производство</p>	<p>стороной проекта и может помочь в сокращении затрат на производство. 2. Также высокие технологические свойства материала и возможность использования его для создания деталей сложных геометрических форм представляют собой потенциальные преимущества проекта в высоко потребительских отраслях промышленности.</p>	<p>количества оборудования для промышленных нужд, что может потребовать дополнительных затрат на разработку и производство. 2. Проект имеет возможности в виде высокой потребности современных отраслей промышленности в новых материалах, что позволяет увеличить спрос на продукцию. 1. Еще одной возможностью проекта является сокращение затрат на производство, что может помочь увеличить его конкурентоспособность на рынке.</p>
<p>Угрозы У1 Развитая конкуренция технологий производства.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. Благодаря возможностям системы своевременному финансированию продвижение на рынок может стать успешным. 2. Повышение конкурентоспособности после модернизации разработки.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Относительно высокая начальная стоимость, и ограниченный круг потребителей может вызвать низкий спрос со стороны заказчиков.</p>

В результате рассмотрения матрицы SWOT – анализа можно сделать вывод, что основные угрозы проекту следует ожидать со стороны внешнего вида. Он имеет ряд преимуществ, связанных с физическими свойствами заданного композита, что позволяет ему занять место на рынке по сравнению с другими. Однако новое производство требует нового дорогостоящего оборудования для его производства, что и является основной трудностью его реализации.

4.3 Планирование научно-технического исследования

Данный раздел посвящен планированию научного исследования на данную тематику. Правильное распределение рабочего времени и производственных возможностей позволяет сократить время научного исследования и дать четкое определение зон ответственности каждого из членов научной группы. Для выполнения данной цели сформирована рабочая группа, задача которой определить основную цель и задачи проекта, а также уточнить порядок выполнения работ и содержательную часть каждого действия. Результаты работы представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Распределение исполнителей и этапы выполняемых работ

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Лаборант
	3	Выбор методов исследования	Руководитель
			Лаборант
4	Календарное планирование работ	Лаборант	
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для исследования	Лаборант
	6	Проведение синтеза материалов из	Руководитель

		исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования	Лаборант
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Руководитель
			Лаборант
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
			Лаборант
Разработка технической документации и проектирование	9	Составление пояснительной записки	Лаборант

Данная таблица отображает вклад каждого участника исследовательской работы. Наибольшая часть работы приходится на лаборанта (дипломника).

4.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используем следующую формулу:

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

где $t_{ож}$ – 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.

Проведем расчет ожидаемой трудоемкости для научного руководителя:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 20 + 2 \cdot 30}{5} = 24 \text{ чел. -дн.},$$

И для инженера:

$$t_{\text{ожи}} = \frac{3 \cdot 70 + 2 \cdot 155}{5} = 88 \text{ чел. -дн.},$$

Из этих расчетов видно, что предполагаемые трудозатраты инженера превышают предполагаемые трудозатраты научного руководителя больше, чем в 3,5 раза.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i}$$

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

$t_{\text{ожи}}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Произведём расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i} = 24 \text{ раб. дн.}$$

Произведём расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для инженера:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i} = 88 \text{ раб. дн.}$$

4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой

$$T_{k_i} = T_{p_i} * k_{\text{кал}},$$

где T_{k_i} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{p_i} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Для построения графика проектных работ необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28$$

Предполагается что и руководитель, и инженер работают по 6-дневной рабочей неделе. По производственному календарю на 2021 год суммарное количество выходных и праздничных дней составляет: при шестидневной рабочей неделе – 66 дней.

где $T_{\text{кал}}$ – число календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – число выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – число праздничных дней в году.

$$T_{k_i} = T_{p_i} * k_{\text{кал}} = 3,72 \approx 4 \text{ кал. дн.}$$

Календарный план-график проведения НИОКР по теме представлен в

таблице 10.

Таблица 10 – Распределение исполнителей и этапы выполняемых работ

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	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 технического задания	Руководитель	8	■														
		Инженер	8	■														
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Инженер	26		■	■	■											
3	Выбор методов исследования	Руководитель,	5					■										
		Инженер	5					■										
4	Календарное планирование работ	Руководитель	4						■									
		Инженер	4						■									
5	Подготовка образцов для исследования	Инженер	26						■	■	■							
6	Проведение синтеза	Инженер	27									■	■	■				
7	Анализ полученных результатов, выводы	Руководитель	7												■			
		Инженер	9												■			
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	8													■		
		Инженер	10													■		
9	Составление пояснительной записки	Инженер	20														■	■
<i>Итого календарных дней</i>			135															

■ – Инженер ■ – Руководитель

В результате выполнения подраздела был разработан план-график

выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

4.4 Бюджет научного исследования

4.4.1 Расчет материальных затрат НИИ

Работа полностью теоретическая, поэтому в материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Таблица 11 – Материальные затраты

Материал	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Предварительная керамическая бумага из оксида алюминия	грамм	250	25000	25000
Итого				25000

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Для осуществления исследования по тематике данной ВКР необходимо наличие персонального компьютера или ноутбука.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер (ноутбук)	1	35	35
Итого:			35

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Расчет основной заработной платы:

$$З_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ - основная заработная плата; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (20 % от $З_{осн}$).

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника; T_p – продолжительность работ.

Среднедневная заработная плата рассчитывалась по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} \quad (4.8)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot k_p, \quad (9)$$

где $Z_{ТС}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	39 000	0,3	0,2	1,3	76050	3476	24	83437
Студент-инженер	17500	-	-	1,3	22750	965	88	84982
Итого $Z_{осн}$								168419

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (4.9)$$

где, $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0.12-0.15).

Дополнительная заработная плата руководителя:

$$Z_{доп} = 0.13 \cdot 88289.79 = 11477.67 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата сотрудника-техника:

$$Z_{\text{доп}} = 0.13 \cdot 9545.15 = 1240.87 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера (магистранта):

$$Z_{\text{доп}} = 0.13 \cdot 29334.1 = 3813.43 \text{ руб.}$$

Суммарная дополнительная заработная плата равна 16532.09 рублей.

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Данные расходы включают обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС(2.9%)), пенсионного фонда (ПФ(22%)) и медицинского страхования (ФФОМС(5.1%)), и отчисления в фонд обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве (0.2%), от затрат на оплату труда работников. Таким образом коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 30.2 % от заработной платы.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot (168419 + 33683.8) = 61035$$

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

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы определяются:

$$З_{\text{накл.}} = k \cdot (З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп.}} + З_{\text{внеб.}}) = 42102 \text{руб.},$$

где k – коэффициент, учитывающий накладные расходы ($k = 0,16$).

4.4.5 Формирование бюджета затрат НТИ

Расчет бюджета затрат в результате проведения НТИ представлен в таблице

14.

Таблица 14 – Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты	25000
Затраты на специальное оборудование для научных работ	35000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	168419
Затраты по доп. заработной плате исполнителей темы	16532.09
Отчисления во внебюджетные фонды	61035
Накладные расходы	42102
Бюджет затрат	347556.23

По данным таблицы видно, что большую часть бюджета потребляет основная заработная плата исполнителей. Это характерно для теоретического исследования, в которое не вовлечены дорогостоящие установки и образцы. На втором месте по потреблению бюджета находится: «Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ». Однако, в ней заключены затраты на приобретение персонального компьютера. Такую закупку производит университет при комплектации помещения оборудованием и этот компьютер используется на

протяжении всего срока эксплуатации при проведении большого числа исследований.

4.4.6 Ресурсоэффективность

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность автоматизированной системы. Формула для его определения имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 15 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,25	5
3. Удобство в эксплуатации	0,20	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,20	4
5. Ремонтопригодность	0,10	3
Итого:	1,00	4

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 3 = 4,4$$

Полученное значение интегрального показателя свидетельствует о достаточно хорошей эффективности реализации технического проекта.

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

1. Были определены потенциальные потребители итогового продукта. Наиболее заинтересованными оказались фирмы по производству электроники и научно-исследовательские центры.

2. Проведен SWOT-анализ продукта. Анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований.

3. Помимо прочего, продемонстрировано, что в календарных днях длительность работ для руководителя составляет 26 дней, а для студента – 82 дней. Временные показатели в календарном плане-графике показывают, что наиболее продолжительной работой является «Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования» После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 347556.23 рублей.

4. Таким образом, капиталовложения в размере 347556.23 рублей дают возможность провести исследования полученного композитного соединения, а также проведения всего перечня необходимых тестов.

5 Социальная ответственность

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
150Б95		Ван Цзынин	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики ИЯТШ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Тема ВКР:

Исследование поддержек из оксида алюминия, полученных с применением прекерамических бумаг, для мембранных элементов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

*Объект исследования: поддержек из оксида алюминия, полученных с применением прекерамических бумаг, для мембранных элементов.
Область применения: водородная энергетика, химическая промышленность и научные и производственные исследования.
Рабочая зона: офис/лаборатория/производственное помещение.
Размеры помещения: 20*30м.
Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 1. бумагоделательной машины D-7 (Sumet Technologies GmbH, Германия); 2. SPS 10-4 (GT Advanced Technology, США); 3. прибор XRD-7000; 4. сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3; 5. Gas Reaction Automated Machine (GRAM, ТПУ, Россия).
Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: 1. изготовление прекерамической бумаги проводилось с использованием бумагоделательной машины D-7 (Sumet Technologies GmbH, Германия); 2. спекания прекерамических бумаг применялся метод искрового плазменного спекания (ИПС), реализованный на установке SPS 10-4 (GT Advanced Technology, США); 3. фазовый состав образцов был определен с помощью рентгеноструктурного анализа (РСА), использовался прибор XRD-7000; 4. анализ микроструктуры проводился с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3; 5. метод гидростатического взвешивания применяется для определения плотности твердых объектов, которые невозможно взвесить с помощью обычных весов; 6. тесты на проницаемость водорода были проведены с использованием автоматизированной установки по Gas Reaction Automated Machine (GRAM, ТПУ, Россия).*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

*Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда;
Санпин 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарноэпидемиологические правила и нормативы «гигиенические требования к пэвм и организации работы»;
СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.*

2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:

Опасные факторы:
– 1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов

<p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p><i>производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – 2. <i>Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов.</i> – 3. <i>Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений;</i> – 4. <i>Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</i> <p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 1. <i>Повышенный уровень общей вибрации;</i> – 2. <i>Повышенный уровень локальной вибрации;</i> – 3. <i>Повышенный уровень шума;</i> – 4. <i>Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</i> – 5. <i>Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</i> – 6. <i>Монотонность труда, вызывающая монотонию;</i> – 7. <i>Длительное сосредоточенное наблюдение.</i> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>тепловая изоляция трубопроводов, использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы, перчатки, виброизолирующая обувь, беруши, наушники, защитные ограждения.</i> <p>Расчет: <i>расчет системы искусственного освещения.</i></p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: нет влияния. Воздействие на литосферу: нет влияния. Воздействие на гидросферу: нет влияния. Воздействие на атмосферу: нет влияния.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (нарушения в обращении с инструментами) Наиболее типичная ЧС: Неправильное обращение с инструментами, приводящее к травмам оператора.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 27.02.2023 г.</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Ван Цзынин		

5.1 Введение

Одним из основных путей снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Одновременно должны постепенно повышаться качество и эффективность всех коллективных и индивидуальных мер защиты от вредных и опасных производственных факторов, а объемы производства должны соответствовать потребностям народного хозяйства при рациональном их использовании. Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности людей в процессе труда. Вредные производственные факторы – это производственные факторы, воздействие которых на работников в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности. Опасные производственные факторы – это производственные факторы, воздействие которых в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья. Сложность этих задач требует использования достижений многих научных дисциплин, прямо или косвенно связанных с созданием безопасных условий труда. При разработке санитарно-гигиенических требований к процессу работы используются результаты исследований ряда медико-биологических дисциплин. Успех в решении проблем охраны труда во многом зависит от качества подготовки специалистов в этой области и их умения принимать правильные решения в сложных и меняющихся

условиях современного производства. Правила по охране труда и технике безопасности вводятся с целью предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда и обязательны для исполнения рабочими, служащими, инженерно-техническими работниками и руководством.

Лаборатории играют важнейшую роль в научных исследованиях, поскольку предоставляют широкие возможности для проверки гипотез, формулирования выводов и составления прогнозов. Физические эксперименты, проводимые в лабораториях, часто связаны с опасными материалами и оборудованием, такими как радиоактивные вещества, газ под высоким давлением и химические реактивы, что делает необходимыми строгие профилактические меры и бдительность во избежание несчастных случаев. Поскольку работа в таких условиях сопряжена с потенциальными рисками, обеспечение безопасности в лаборатории имеет первостепенное значение. Несчастные случаи в лаборатории не только ставят под угрозу безопасность исследователей, но и приводят к огромным потерям ресурсов.

В то время как бесперебойная работа лабораторий крайне важна для всего академического сообщества, которое полагается на вклад этих объектов, регулирование и внедрение мер безопасности должно оставаться главным приоритетом для минимизации возможности экспериментальных аварий. В данной статье представлены фундаментальные принципы и меры, необходимые для обеспечения безопасности в лабораториях, чтобы способствовать созданию безопасной и надежной лабораторной среды.

Анализ опасных и вредных производственных факторов

Таблица 16 – основные элементы производственного процесса,
формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного	Факторы Гост 12.0.003-74 ссбт		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
НИ ТПУ ФТИ кафедра «техническая физика», работа с ЭВМ		Электрически й ток	ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
	Воздействи е радиации (вч,увч,свч и т.д.)		Санпин 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарноэпидемиологическ ие правила и нормативы «гигиенические требования к пэвм и организации работы».
		Пожарная опасность	Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – фз. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

При работе на ЭВМ, на студента могут воздействовать следующие факторы:

Физические:

— Температура и влажность воздуха;

— Шум;

- Статическое электричество;
- Электромагнитное поле низкой частоты;
- Освещённость;
- Наличие излучения;

Психофизиологические:

- Физические перегрузка (статическая, динамическая);
- Нервно-психические перегрузки (умственные перегрузки, перегрузки анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки)

5.2 Обоснование мер по защите исследователей от опасных и вредных факторов

5.2.1 Организационные меры

Сотрудники обязаны:

Соблюдать требования охраны труда и техники безопасности.

Правильно применять индивидуальные и коллективные средства защиты.

Проходить обучение безопасным методам работы и процедурам оказания первой помощи пострадавшим от производственных травм, инструктаж по охране труда, обучение на рабочем месте и проверку знаний требований охраны труда.

Немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя о любой ситуации, угрожающей здоровью и жизни людей, о каждом несчастном случае на производстве, об ухудшении собственного здоровья, включая признаки острого профессионального заболевания (отравления).

Проходить обязательные предварительные при поступлении на работу медицинские осмотры и периодические медицинские осмотры в процессе профессиональной деятельности, другие обязательные медицинские осмотры, а также специальные медицинские осмотры по направлению работодателя в случаях, предусмотренных настоящим кодексом и иными федеральными законами.

Все сотрудники обязаны знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала по технической безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

После обучения на рабочем месте квалификационная комиссия проводит проверку знаний правил техники безопасности. Проверяемому лицу в соответствии с его знаниями и опытом работы присваивается соответствующая квалификационная группа по технической безопасности и выдается специальное удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки, не должны иметь травм и заболеваний, препятствующих работе. Состояние их здоровья определяется при медицинском освидетельствовании.

5.2.2 Требования безопасности при выполнении работ с использованием персональных электронно-вычислительных машин

Организация и охрана труда при работе на пэвм, регулируется: – санпин 2.2.2/2.4.1340-03 «гигиенические требования к пэвм и организации работы»;

5.2.3 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 19.

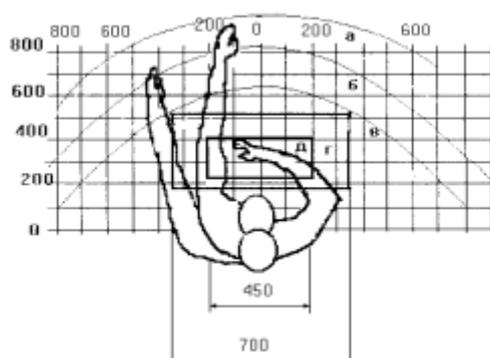


Рисунок 19 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

Где 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 размещается 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° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. 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°. 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. 82 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.

Оконные проемы в помещениях, где используются персональные компьютеры, должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

5.3 Производственная безопасность

Продолжительность и организация рабочего дня сотрудников, работающих с персональными компьютерами (пк), определяется правилами внутреннего распорядка университета. в особых случаях продолжительность рабочего дня

может быть изменена администрацией в установленном порядке, однако работа высокой интенсивности и эмоционального напряжения свыше 12 часов в сутки не допускается. При работе с ПК сотрудники могут подвергаться воздействию вредных факторов, таких как:

Таблица 17 – Вредные факторы при работе с персональными компьютерами

Период года	Температура, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

Меры по улучшению качества воздуха на производстве включают в себя надлежащую вентиляцию и кондиционирование воздуха, а также системы отопления. Вентиляция может осуществляться естественным или механическим путем. подача наружного воздуха в помещение должна соответствовать или превышать 30 м^3 в час на человека, если объем помещения на человека меньше или равен 20 м^3 , в то время как естественная вентиляция может быть разрешена в помещениях, имеющих объем более 40 м^3 на человека и при отсутствии выделения вредных веществ. система отопления должна обеспечивать эффективное, последовательное и равномерное распределение тепла по всему объекту. Для помещений с повышенными требованиями к чистоте воздуха следует использовать гидравлическое отопление. параметры микроклимата в лаборатории регулируются системой центрального отопления и поддерживаются на следующих значениях: влажность - 40%, скорость воздушного потока - 0,1 м/с, температура летом - 20-

25 °С, зимой - 13-15 °С. естественная вентиляция происходит в лаборатории, где воздух поступает и выходит через щели в окнах, дверях и вентиляционных отверстиях. основным недостатком естественной вентиляции является поступление в помещение нефильтрованного и необогретого воздуха.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, в частности на органы слуха и весь организм в целом через центральную нервную систему. в результате ослабляется внимание, ухудшается память, снижается время реакции, увеличивается количество ошибок во время работы. шум может создаваться рабочим оборудованием, системами кондиционирования, лампами дневного света, а также проникать извне.

Экраны и системные блоки излучают электромагнитное излучение. Основная его часть исходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей не должна превышать:

В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц - 25 в/м;

В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц - 2,5 в/м.

Плотность магнитного потока не должна превышать:

В диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц - 250 нтл;

В диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц - 25 нтл. для защиты от ЭМП

существуют Следующие методы:

Увеличить расстояние от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

Использовать экранные фильтры, специальные экраны и другие средства индивидуальной защиты. При работе с компьютером дисплей является источником ионизирующего излучения. Воздействие ионизирующего излучения может привести к нарушениям свертываемости крови, повышенной хрупкости сосудов, снижению иммунитета и др. Доза излучения на расстоянии 20 см от дисплея составляет 50 мкзв/ч. Конструкция компьютера должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 7,7-10 а/кг, что соответствует эквивалентной дозе 100 мкр/ч.

Усталость глаз может быть связана как с недостаточным, так и с избыточным освещением, а также с неправильным направлением света.

5.4 Экологическая безопасность

В ходе данного исследования не образуются промышленные отходы.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Электробезопасность

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

Анализ опасности электрических сетей обычно включает в себя определение величины тока, проходящего через тело человека в различных условиях, в которых

могут оказаться люди при эксплуатации электрических сетей. Когда электрический ток проходит через тело человека, это может привести к значительному ущербу. Действие тока на организм человека может носить местный или общий характер. Общее (рефлекторное) поражение - электрический удар представляет наибольшую опасность для человека, так как нарушает работу центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, приводя к фибрилляции, параличу сердца и остановке дыхания.

Безопасные значения для переменного тока составляют до 10 мА, для постоянного тока - до 50 мА, а безопасное напряжение колеблется в пределах 12 в.

Для предотвращения травм необходимо придерживаться следующих рекомендаций при эксплуатации оборудования:

Ознакомьтесь с инструкциями к оборудованию и проводить осмотр рабочего места перед каждым использованием.

Внимательно следить за последовательностью включения и выключения питания отдельных компонентов.

Заземляйте все компоненты системы через контур заземления.

Периодически проверяйте цепь заземления на наличие электрического сопротивления.

Меры первой помощи зависят от состояния пострадавшего, которое определяется путем выполнения следующих действий:

1. Уложите пострадавшего на спину на твердую поверхность.
2. Проверьте пульс и дыхание.
3. Оцените состояние зрачков пострадавшего.

Если пострадавший находится в сознании, но ранее пережил обморок, создайте условия для полного покоя, следите за дыханием и пульсом, при необходимости обратитесь за медицинской помощью. Если пострадавший без сознания, но есть признаки пульса и дыхания, оживите его, предложив нюхательные соли, распылив воду и обеспечив искусственное дыхание, а при необходимости - массаж сердца.

Характер и последствия травмы зависят от величины, частоты и пути тока, а также его продолжительности. Поэтому помощь должна быть оказана немедленно. Оказывая помощь пострадавшему, отделите его от токоведущей части, одновременно оградив себя от контакта с токоведущими частями.

Источник напряжения должен быть отключен первым. Если пострадавший получил легкие повреждения, эвакуируйте его в хорошо проветриваемое помещение. Если пострадавший испытывает сильную дыхательную недостаточность, сделайте искусственное дыхание. Если пульс и дыхание отсутствуют, прибегните к искусственному дыханию и компрессии грудной клетки до госпитализации.

5.5.2 Пожаро- и взрывобезопасность

Пожар – это неконтролируемый процесс горения, который развивается во времени и пространстве, создавая угрозу жизни людей и причиняя материальный ущерб.

Пожарная и взрывная безопасность - система организационных мероприятий и технических средств, направленных на предупреждение и ликвидацию пожаров

и взрывов на производстве.

Противопожарные мероприятия подразделяются на организационные, технические, эксплуатационные и нормативные.

Организационные меры включают в себя правильную эксплуатацию оборудования, надлежащее содержание зданий и территорий, инструктаж работников по пожарной безопасности, обучение производственного персонала правилам пожарной безопасности, выпуск инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Технические меры включают соблюдение правил и норм пожарной безопасности при проектировании зданий, устройстве электропроводки и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильном размещении оборудования.

Нормативные меры включают в себя установление правил организации труда и соблюдение мер пожарной безопасности.

Запрещается пользоваться электронагревательными приборами, эксплуатировать провода электроприборов с поврежденной изоляцией, использовать поврежденные розетки, выключатели, вилки и другое электрооборудование, оборачивать или закрывать лампы, бытовые приборы бумагой, тканью или другими легковоспламеняющимися материалами, пользоваться открытым огнем, курить в помещении, оставлять электронные приборы, компьютеры, оргтехнику, бытовые приборы, работающую и не заземленную аппаратуру, нарушать инструкции по эксплуатации компьютеров, оргтехники и других средств технического обеспечения, действующие в институте,

подключать бытовые приборы и другое компьютерное оборудование, не связанное с работой, к сетевым фильтрам, источникам бесперебойного питания и специализированным розеткам, расположенным в боксах.

По окончании работ необходимо обесточить все электроприборы и осмотреть помещение на наличие признаков возможного возгорания. Если в помещении имеется выделенная сеть электропитания для компьютеров, имеющихся в институте, необходимо выключить рубильник на распределительном щите.

В чрезвычайных ситуациях необходимо выполнить следующие действия:

Уведомить руководство (дежурного).

Вызвать соответствующую аварийную службу или службу спасения - тел. 112.

Принять меры по устранению аварийной ситуации в соответствии с инструкциями.

Заключение

В ходе работы были получены пористые материалы на основе оксида алюминия из прекерамических бумаг методом искрового плазменного спекания. Проанализировано влияние температуры спекания на микроструктуру, пористость и газопроницаемость полученных материалов.

1. Установлено, что микроструктура образцов представлена зернами α - Al_2O_3 и углеродом, расположенным в основном в продолговатых порах, образующихся в результате разложения целлюлозных волокон.

2. Показано, что увеличение температуры спекания от 1200 до 1300 °С приводит к незначительному уплотнению материала (от 2,15 до 2,22 г/см³), при этом открытая пористость уменьшается от 38 до 37 %. Дальнейшее увеличение температуры до 1400 °С приводит к формированию плотных образцов с открытой пористостью 0,4 %.

3. Пористые образцы, сформированные при температурах 1200 и 1300 °С, обеспечивают высокие потоки водорода (0,1-1 моль H_2 /м²/с) при давлениях 0,1-0,5 МПа и могут рассматриваться в качестве поддержек для мембран.

Список литературы

1. Adhikari S., Fernando S. Hydrogen membrane separation techniques //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2006. – Т. 45. – №. 3. – С. 875-881.
2. Rahimpour M. R. et al. Palladium membranes applications in reaction systems for hydrogen separation and purification: A review //Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. – 2017. – Т. 121. – С. 24-49.
3. Yin H., Yip A. C. K. A review on the production and purification of biomass-derived hydrogen using emerging membrane technologies //Catalysts. – 2017. – Т. 7. – №. 10. – С. 297.
4. Dittmeyer R. et al. Micro and micro membrane reactors for advanced applications in chemical energy conversion //Current Opinion in Chemical Engineering. – 2017. – Т. 17. – С. 108-125.
5. Shu J. et al. Catalytic palladium-based membrane reactors: A review //The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 1991. – Т. 69. – №. 5. – С. 1036-1060.
6. Al-Mufachi N. A., Rees N. V., Steinberger-Wilkens R. Hydrogen selective membranes: A review of palladium-based dense metal membranes //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Т. 47. – С. 540-551.
7. Deveau N. D., Ma Y. H., Datta R. Beyond Sieverts' law: a comprehensive microkinetic model of hydrogen permeation in dense metal membranes //Journal of membrane science. – 2013. – Т. 437. – С. 298-311.
8. Paglieri S. N. et al. A new preparation technique for Pd/alumina membranes with

- enhanced high-temperature stability //Industrial & engineering chemistry research. – 1999. – T. 38. – №. 5. – C. 1925-1936.
9. Yeung K. L. et al. Metal composite membranes: Synthesis, characterization and reaction studies //Studies in Surface Science and Catalysis. – Elsevier, 1996. – T. 101. – C. 1349-1358.
 10. Collins J. P. et al. Catalytic dehydrogenation of propane in hydrogen permselective membrane reactors //Industrial & engineering chemistry research. – 1996. – T. 35. – №. 12. – C. 4398-4405.
 11. Alefeld G., Völkl J. Hydrogen in metals I-Basic properties //Berlin and New York. – 1978. – T. 28.
 12. Maruno T., Tsuji H., Otsuka R. Hydrogen embrittlement of Pd-Ag binary alloys //Nippon Kinzoku Gakkaishi (1952). – 1983. – T. 47. – №. 9. – C. 768-775.
 13. Feenstra R. et al. Absorption of hydrogen in Pd-Co and Pd-U alloys //Journal of the Less Common Metals. – 1987. – T. 130. – C. 375-386.
 14. Maeland A., Flanagan T. B. Lattice Constants and Thermodynamic Parameters of the Hydrogen—Platinum—Palladium and Deuterium—Platinum—Palladium Systems //The Journal of Physical Chemistry. – 1964. – T. 68. – №. 6. – C. 1419-1426.
 15. Buxbaum R. E., Kinney A. B. Hydrogen transport through tubular membranes of palladium-coated tantalum and niobium //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 1996. – T. 35. – №. 2. – C. 530-537.
 16. Buxbaum R. E., Marker T. L. Hydrogen transport through non-porous membranes

- of palladium-coated niobium, tantalum and vanadium //Journal of Membrane Science. – 1993. – T. 85. – №. 1. – C. 29-38.
17. Tosti S. et al. Production of hydrogen in a Pd-membrane reactor via catalytic reforming of olive mill wastewater //Chemical Engineering Journal. – 2015. – T. 275. – C. 366-373.
 18. Tosti S. et al. Catalytic reforming of olive mill wastewater and methane in a Pd-membrane reactor //International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – T. 41. – №. 12. – C. 5465-5474.
 19. Tosti S., Bettinali L., Violante V. Rolled thin Pd and Pd–Ag membranes for hydrogen separation and production //International Journal of Hydrogen Energy. – 2000. – T. 25. – №. 4. – C. 319-325.
 20. Tosti S. et al. Sputtered, electroless, and rolled palladium–ceramic membranes //Journal of Membrane Science. – 2002. – T. 196. – №. 2. – C. 241-249.
 21. Tosti S. et al. Characterization of thin wall Pd–Ag rolled membranes //International journal of hydrogen energy. – 2003. – T. 28. – №. 1. – C. 105-112.
 22. Fernandez E. et al. Palladium based membranes and membrane reactors for hydrogen production and purification: An overview of research activities at Tecnalia and TU/e //international journal of hydrogen energy. – 2017. – T. 42. – №. 19. – C. 13763-13776.
 23. Guo Y. et al. Palladium composite membrane fabricated on rough porous alumina tube without intermediate layer for hydrogen separation //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – T. 42. – №. 15. – C. 9958-9965.

24. Nayebossadri S. et al. Hydrogen permeation through porous stainless steel for palladium-based composite porous membranes //Journal of Membrane Science. – 2016. – T. 515. – C. 22-28.
25. Itoh N., Suga E., Sato T. Composite palladium membrane prepared by introducing metallic glue and its high durability below the critical temperature //Separation and Purification Technology. – 2014. – T. 121. – C. 46-53.
26. Calles J. A. et al. Influence of the selective layer morphology on the permeation properties for Pd-PSS composite membranes prepared by electroless pore-plating: Experimental and modeling study //Separation and Purification Technology. – 2018. – T. 194. – C. 10-18.
27. Alique D. et al. Hydrogen permeation in composite Pd-membranes prepared by conventional electroless plating and electroless pore-plating alternatives over ceramic and metallic supports //International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – T. 41. – №. 42. – C. 19430-19438.
28. Calles J. A. et al. Thermal stability and effect of typical water gas shift reactant composition on H₂ permeability through a Pd-YSZ-PSS composite membrane //International journal of hydrogen energy. – 2014. – T. 39. – №. 3. – C. 1398-1409.
29. Sanz R. et al. H₂ production via water gas shift in a composite Pd membrane reactor prepared by the pore-plating method //International journal of hydrogen energy. – 2014. – T. 39. – №. 9. – C. 4739-4748.
30. Sanz R. et al. Hydrogen production in a Pore-Plated Pd-membrane reactor: Experimental analysis and model validation for the Water Gas Shift reaction

- //International Journal of Hydrogen Energy. – 2015. – T. 40. – №. 8. – C. 3472-3484.
31. Masuda H., Nishio K., Baba N. Preparation of microporous metal membrane using two-step replication of interconnected structure of porous glass //Journal of materials science letters. – 1994. – T. 13. – C. 338-340.
 32. Cheng Y. S., Yeung K. L. Palladium–silver composite membranes by electroless plating technique //Journal of Membrane Science. – 1999. – T. 158. – №. 1-2. – C. 127-141.
 33. Augustine A. S. et al. Durability of PSS-supported Pd-membranes under mixed gas and water–gas shift conditions //Journal of membrane science. – 2012. – T. 415. – C. 213-220.
 34. Zeng G. et al. On alloying and low-temperature stability of thin, supported PdAg membranes //International journal of hydrogen energy. – 2012. – T. 37. – №. 7. – C. 6012-6019.
 35. Roa F. et al. Preparation and characterization of Pd–Cu composite membranes for hydrogen separation //Chemical Engineering Journal. – 2003. – T. 93. – №. 1. – C. 11-22.
 36. Lewis A. E. et al. Pd–Pt/YSZ composite membranes for hydrogen separation from synthetic water–gas shift streams //Journal of membrane science. – 2013. – T. 437. – C. 257-264.
 37. Kong S. Y. et al. Ultrathin layered Pd/PBI–HFA composite membranes for hydrogen separation //Separation and Purification Technology. – 2017. – T. 179. –

- C. 486-493.
38. Kim D. H. et al. Effect of PBI-HFA surface treatments on Pd/PBI-HFA composite gas separation membranes //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – T. 42. – №. 36. – C. 22915-22924.
 39. Kumar R. et al. Selective deposition of Pd nanoparticles in porous PET membrane for hydrogen separation //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – T. 42. – №. 22. – C. 15203-15210.
 40. Alique D. Processing and characterization of coating and thin film materials //Advanced ceramic and metallic coating and thin film materials for energy and environmental applications. – 2018. – C. 27-72.
 41. Li H., Caravella A., Xu H. Y. Recent progress in Pd-based composite membranes //Journal of Materials Chemistry A. – 2016. – T. 4. – №. 37. – C. 14069-14094.
 42. Mardilovich I. P., Engwall E., Ma Y. H. Dependence of hydrogen flux on the pore size and plating surface topology of asymmetric Pd-porous stainless steel membranes //Desalination. – 2002. – T. 144. – №. 1-3. – C. 85-89.
 43. Uemiya S., Matsuda T., Kikuchi E. Hydrogen permeable palladium-silver alloy membrane supported on porous ceramics //Journal of Membrane Science. – 1991. – T. 56. – №. 3. – C. 315-325.
 44. Melendez J. et al. Effect of Au addition on hydrogen permeation and the resistance to H₂S on Pd-Ag alloy membranes //Journal of Membrane Science. – 2017. – T. 542. – C. 329-341.
 45. Kulprathipanja A. et al. Pd and Pd–Cu membranes: inhibition of H₂ permeation by

- H₂S //Journal of Membrane Science. – 2005. – T. 254. – №. 1-2. – C. 49-62.
46. Okazaki J. et al. Preparation and hydrogen permeation properties of thin Pd-Au alloy membranes supported on porous α -alumina tube //Materials transactions. – 2008. – T. 49. – №. 3. – C. 449-452.
 47. Han J. Y. et al. Diffusion barrier coating using a newly developed blowing coating method for a thermally stable Pd membrane deposited on porous stainless-steel support //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – T. 42. – №. 17. – C. 12310-12319.
 48. Ryi S. K. et al. Pd–Cu alloy membrane deposited on CeO₂ modified porous nickel support for hydrogen separation //International journal of hydrogen energy. – 2014. – T. 39. – №. 9. – C. 4698-4703.
 49. Li A., Grace J. R., Lim C. J. Preparation of thin Pd-based composite membrane on planar metallic substrate: Part II. Preparation of membranes by electroless plating and characterization //Journal of membrane science. – 2007. – T. 306. – №. 1-2. – C. 159-165.
 50. Falamaki C., Afarani M. S., Aghaie A. Initial sintering stage pore growth mechanism applied to the manufacture of ceramic membrane supports //Journal of the European Ceramic Society. – 2004. – T. 24. – №. 8. – C. 2285-2292.
 51. De Vos R. M., Verweij H. High-selectivity, high-flux silica membranes for gas separation //Science. – 1998. – T. 279. – №. 5357. – C. 1710-1711.
 52. Zeng W. et al. Sintering kinetics of α -Al₂O₃ powder //Ceramics International. – 1999. – T. 25. – №. 8. – C. 723-726.

53. Bouzerara F. et al. Porous ceramic supports for membranes prepared from kaolin and dolomite mixtures //Journal of the European Ceramic Society. – 2006. – T. 26. – №. 9. – C. 1663-1671.
54. Chakradhar R. P. S. et al. Solution combustion derived nanocrystalline macroporous wollastonite ceramics //Materials Chemistry and Physics. – 2006. – T. 95. – №. 1. – C. 169-175.
55. Vercauteren S. et al. Porous ceramic membranes: preparation, transport properties and applications //Journal of Porous Materials. – 1998. – T. 5. – C. 241-258.
56. Franks G. V. et al. Colloidal processing: enabling complex shaped ceramics with unique multiscale structures //Journal of the American Ceramic Society. – 2017. – T. 100. – №. 2. – C. 458-490.
57. Darcovich K., Roussel D., Toll F. N. Sintering effects related to filtration properties of porous continuously gradient ceramic structures //Journal of Membrane Science. – 2001. – T. 183. – №. 2. – C. 293-303.
58. Garrido L. B., Aglietti E. F. Pressure filtration and slip casting of mixed alumina–zircon suspensions //Journal of the European Ceramic Society. – 2001. – T. 21. – №. 12. – C. 2259-2266.
59. Shqau K. et al. Preparation and properties of porous α -Al₂O₃ membrane supports //Journal of the American Ceramic Society. – 2006. – T. 89. – №. 6. – C. 1790-1794.
60. Prabhakaran K., Ananthakumar S., Pavithran C. Gel casting of alumina using boehmite as a binder //Journal of the European Ceramic Society. – 1999. – T. 19. –

№. 16. – C. 2875-2881.

61. Zhang W., Wang H., Jin Z. Gel casting and properties of porous silicon carbide/silicon nitride composite ceramics //Materials Letters. – 2005. – T. 59. – №. 2-3. – C. 250-256.
62. Babaluo A. A. et al. A modified model for alumina membranes formed by gel-casting followed by dip-coating //Journal of the European Ceramic Society. – 2004. – T. 24. – №. 15-16. – C. 3779-3787.
63. Gaudillere C., Serra J. M. Freeze-casting: Fabrication of highly porous and hierarchical ceramic supports for energy applications //Boletín de la Sociedad Española de cerámica y vidrio. – 2016. – T. 55. – №. 2. – C. 45-54.
64. Delattre B. et al. Unidirectional freezing of ceramic suspensions: In situ X-ray investigation of the effects of additives //ACS applied materials & interfaces. – 2014. – T. 6. – №. 1. – C. 159-166.
65. Munch E. et al. Architectural control of freeze-cast ceramics through additives and templating //Journal of the American Ceramic Society. – 2009. – T. 92. – №. 7. – C. 1534-1539.
66. Mukai S. R., Nishihara H., Tamon H. Porous properties of silica gels with controlled morphology synthesized by unidirectional freeze-gelation //Microporous and mesoporous materials. – 2003. – T. 63. – №. 1-3. – C. 43-51.
67. Peko C., Groth B., Nettleship I. The effect of polyvinyl alcohol on the microstructure and permeability of freeze-cast alumina //Journal of the American Ceramic Society. – 2010. – T. 93. – №. 1. – C. 115-120.

68. Sofie S. W., Dogan F. Freeze casting of aqueous alumina slurries with glycerol //Journal of the American Ceramic Society. – 2001. – T. 84. – №. 7. – C. 1459-1464.
69. Araki K., Halloran J. W. Porous ceramic bodies with interconnected pore channels by a novel freeze casting technique //Journal of the American Ceramic Society. – 2005. – T. 88. – №. 5. – C. 1108-1114.
70. Chen R. et al. Ceramics with special porous structures fabricated by freeze-casting: using tert-butyl alcohol as a template //Journal of the American Ceramic Society. – 2007. – T. 90. – №. 11. – C. 3478-3484.
71. Yoon B. H. et al. Highly aligned porous silicon carbide ceramics by freezing polycarbosilane/camphene solution //Journal of the American Ceramic Society. – 2007. – T. 90. – №. 6. – C. 1753-1759.
72. Koh Y. H. et al. In situ Fabrication of a Dense/Porous Bi-layered Ceramic Composite using Freeze Casting of a Ceramic–Camphene Slurry //Journal of the American Ceramic Society. – 2006. – T. 89. – №. 2. – C. 763-766.
73. Clarke C. J., Buckley S. L., Lindner N. Ice structuring proteins—a new name for antifreeze proteins //Cryoletters. – 2002. – T. 23. – №. 2. – C. 89-92.
74. Wei P. et al. Metal supported solid oxide fuel cell by freeze tape casting //ECS Transactions. – 2011. – T. 35. – №. 1. – C. 379.
75. Mistler R. E. The principles of tape casting and tape casting applications //Ceramic processing. – 1995. – C. 147-173.
76. Rahaman M. N. Ceramic processing and sintering. – CRC press, 2017. – T. 1.

77. Plucknett K. P., Caceres C. H., Willinson D. S. Tape casting of fine alumina/zirconia powders for composite fabrication //Journal of the American Ceramic Society. – 1994. – T. 77. – №. 8. – C. 2137-2144.
78. Gutierrez C. A., Moreno R. Influence of slip preparation and casting conditions on aqueous tape casting of Al₂O₃ //Materials research bulletin. – 2001. – T. 36. – №. 11. – C. 2059-2072.
79. Bitterlich B., Lutz C., Roosen A. Rheological characterization of water-based slurries for the tape casting process //Ceramics international. – 2002. – T. 28. – №. 6. – C. 675-683.
80. Scherer G. W. Theory of drying //Journal of the American Ceramic Society. – 1990. – T. 73. – №. 1. – C. 3-14.
81. Nishihora R. K. et al. Manufacturing porous ceramic materials by tape casting—A review //Journal of the European Ceramic Society. – 2018. – T. 38. – №. 4. – C. 988-1001.
82. Kristoffersson A., Carlström E. Tape casting of alumina in water with an acrylic latex binder //Journal of the European Ceramic Society. – 1997. – T. 17. – №. 2-3. – C. 289-297.
83. Van Tassel J., Randall C. A. Potential for integration of electrophoretic deposition into electronic device manufacture; demonstrations using silver/palladium //Journal of materials science. – 2004. – T. 39. – C. 867-879.
84. Saffaj N. et al. Elaboration and properties of TiO₂–ZnAl₂O₄ ultrafiltration membranes deposited on cordierite support //Separation and purification

- technology. – 2004. – T. 36. – №. 2. – C. 107-114.
85. Benito J. M. et al. Preparation and characterization of tubular ceramic membranes for treatment of oil emulsions //Journal of the European Ceramic Society. – 2005. – T. 25. – №. 11. – C. 1895-1903.
86. Mohammadi T. et al. Experimental design in mullite microfilter preparation //Desalination. – 2005. – T. 184. – №. 1-3. – C. 57-64.
87. Jedidi I. et al. Elaboration and characterisation of fly ash based mineral supports for microfiltration and ultrafiltration membranes //Ceramics international. – 2009. – T. 35. – №. 7. – C. 2747-2753.
88. Kashkarov E. et al. Structure and Properties of Porous Ti₃AlC₂-Doped Al₂O₃ Composites Obtained by Slip Casting Method for Membrane Application //Materials. – 2023. – T. 16. – №. 4. – C. 1537.