

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*
Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Композиционные материалы на основе ZrC-BN, структура и свойства

УДК 620.22-419.8:669.5620.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б51	Добровольский Артем Романович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. ОМ ИШНПТ	Буякова С.П.	Д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Л.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Б.Б.	К.т.н., доцент		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде.
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) 22.03.01 Материаловедение и технологии
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения _____ осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.19
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.05.2019	Основная часть	75
30.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
30.05.2019	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ ТПУ	С.П. Буюкова	Д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Борис Борисович	К.т.н., доцент		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Б.Б. Овечкин
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б51	Добровольскому Артему Романовичу

Тема работы:

Композиционные материалы на основе ZrC-BN: структура и свойства	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № _____ от _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<p>Объектом исследования настоящей работы является высокотемпературная функциональная керамика системы ZrC-BN. Исходными компонентами выступают порошки карбида циркония и нитрида бора. Основными требованиями к материалу являются высокие показатели механической прочности, износостойкости и ударной вязкости.</p>
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Изучить литературу по теме создания высокотемпературных материалов, в т.ч. на основе карбидов переходных металлов. Получить композиционную керамику ZrC-VN методом горячего прессования. Исследовать состав, структуру и механические характеристики полученной системы.
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент...</i>	<i>И.В. Подопригора, доцент ОСГН ШБИП, НИ ТПУ</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Л.А. Скачкова, старший преподаватель ООД ШБИП, НИ ТПУ</i>

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Буякова С.П.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б51	Добровольский Артем Романович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 80 с., 24 рис., 22 табл., 77 источников.

Ключевые слова: керамика, высокотемпературные материалы, карбид циркония, ZrC-BN, вязкость разрушения, композиционные материалы.

Объектом исследования являются композиционные системы карбид циркония – углерод ZrC/C, полученные методом горячего прессования.

Цель работы – получение и исследование структуры и свойств композиционных керамических материалов ZrC-BN.

Анализ микроструктуры композитов ZrC-BN осуществлялся по изображениям оптической и растровой электронной микроскопии. Твердость определялась в соответствии с методом Виккерса, плотность композитов определялась методом гидростатического взвешивания. Также исследовалась вязкость разрушения методом SEVNB и по длине трещин от отпечатка пирамиды виккерса.

В результате исследования получены гетеромодульные керамические композиты системы карбид циркония – нитрид бора ZrC-BN.

В будущем планируется развитие создания износостойких композиционных материалов систем на основе карбидов переходных металлов IV-V групп периодической таблицы химических элементов.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Литературный обзор	10
1.1 Безоксидная керамика.....	10
1.2 Карбид циркония.....	15
1.3 Нитрид бора	21
1.4 Керамические матричные композиты.....	23
2 Методика исследования	27
3 Структура и свойства композиционной керамики ZrC-BN.....	33
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	41
4.1 Техничко-экономическое обоснование	41
4.2 Потенциальные потребители результатов исследования	42
4.3 SWOT-анализ.....	42
4.4 Планирование работ по НИР	44
4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ	45
4.4.2 Построение графика работ	46
4.4.3 Бюджет научно технического исследования.....	50
4.4.3.1 Расчет материальных затрат НИР	50
4.4.3.2 Расчет затрат на экспериментальное оборудование для научных работ	52
4.4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	53
4.4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	55
4.4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	56
4.4.3.6 Накладные расходы.....	56
4.4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	57

4.5	Определение ресурсоэффективности.....	57
4.6	Заключение по разделу	59
5	Социальная ответственность	61
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	62
5.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.	62
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	62
5.2	Профессиональная социальная безопасность.	63
5.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	63
5.2.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	65
5.2.2.1	Отклонение показаний микроклимата.....	65
5.2.2.2	Недостаточная освещенность	66
5.2.2.3	Химические вещества	67
5.2.3.4	Электрический ток	68
5.2.2.5	Опасность возникновения пожара	68
5.3	Экологическая безопасность.....	69
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	70
5.5	Заключение по разделу «Социальная ответственность»	72
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач современного материаловедения является создание материалов для работы в экстремальных условиях при высоких температурах и напряжениях, под воздействием агрессивных сред и других факторов.

В решении этих задач существенная роль принадлежит использованию тугоплавких металлов и их соединений боридов, карбидов, нитридов и силицидов, которые, наряду с высокой твердостью и тугоплавкостью, обладают жаростойкостью и жаропрочностью, специфическими физическими и химическими свойствами. Карбидные соединения имеют достаточно богатую историю, однако, их потенциал остаётся нераскрытым и по сей день.

Среди карбидов тугоплавких металлов высокими эксплуатационными свойствами обладает карбид циркония, что делает его потенциально пригодным для решения многих задач современного материаловедения: в качестве компонентов и легирующих добавок твердых сплавов, разнопрофильных композиционных материалов, для защитных покрытий, поверхностного и объемного модифицирования металлических сплавов и материалов. Примером этому может служить исследования покрытий из карбида циркония, согласно которому дереворежущий инструмент, модифицированный подобным способом, обладает повышенной устойчивостью к объёмному износу на 30% [1]. Благодаря своим высоким показателям износостойкости карбид циркония вызывает большой интерес со стороны научного сообщества.

1 Литературный обзор

1.1 Безоксидная керамика

Безоксидными керамиками называются поликристаллические материалы на основе соединений неметаллов III–VI групп периодической системы элементов, исключая кислород, друг с другом и так называемыми переходными металлами, обладающими недостроенными электронными слоями.

По своей кристаллической структуре безоксидные керамики весьма разнообразны и образуют два основных класса [2,3]:

1. Металлокерамика.
2. Неметаллическая керамика.

Металлокерамикой называют соединения, имеющие структуру фаз внедрения: нитриды и карбиды Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W. Условие образования фазы внедрения определяется правилом Хэгга [2]:

$$r_X/r_{Me} < 0,59,$$

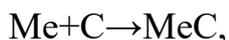
где r_X – радиус атома неметалла, r_{Me} – радиус атома металла. В этих структурах атомы металла образуют одну из типичных для металлов кристаллических решеток – кубическую (гранцентрированную или объемноцентрированную) или гексагональную. Атомы неметалла находятся в октаэдрических или тетраэдрических пустотах между металлическими атомами. Фазы внедрения обладают металлическими свойствами: высокой электропроводностью, которая уменьшается с ростом температуры, высокой теплопроводностью, имеют металлический блеск. Фазы внедрения занимают промежуточное место между твердыми растворами внедрения и химическими соединениями. Главное отличие фаз внедрения от твердых растворов состоит в том, что последние образуются при значительно меньших концентрациях углерода и азота, например, феррит и аустенит, и имеют кристаллическую решетку металла, тогда как фазы внедрения образуют решетку, отличную от

решетки металла. В этом смысле фазы внедрения можно считать разновидностью химических соединений. В то же время фазы внедрения имеют широкие области гомогенности, например, в TiC может содержаться от 20 до 50% мол. углерода, что нехарактерно для химических соединений.

Карбиды переходных металлов. Из всех карбидов переходных металлов наибольшее распространение в промышленности получили WC, TiC, TaC и ZrC. Интерес к этим материалам обусловлен их очень высокой твердостью (от 20 до 35 ГПа), которую они сохраняют до температур свыше 1000°C. Причины высокой твердости карбидов заключаются в следующем: во-первых, сами металлы, образующие карбиды, имеют очень высокие температуры плавления и мало - пластичны, т.е. силы межатомных связей данных металлов очень велики. Второй, и основной причиной высокой твердости карбидов является «заклинивание» плоскостей скольжения в кристаллической решетке атомами углерода и вызываемое этим заклиниванием снижение пластичности. Например, в ГЦК-решетке TiC и TaC атомы углерода располагаются параллельно плоскостям скольжения (111), в ГПУ-решетке WC – параллельно (001). Обладая такой высокой твердостью, карбиды являются достаточно хрупкими материалами.

Карбиды переходных металлов не встречаются в природе, поэтому первой стадией в процессе формирования керамик на их основе является синтез соответствующего сырья. Порошки карбидов синтезируют двумя способами [2-13]:

1. Прямой синтез карбидов:



2. Восстановление металла из оксида с одновременной карбидизацией:



Второй способ является предпочтительным, т.к. оксиды соответствующих металлов гораздо дешевле порошков чистых металлов.

В общем виде процесс получения порошков карбидов происходит по следующей схеме: порошок оксида соответствующего металла смешивается с сажей или измельченным коксом и нагревается до температуры, при которой происходит карбидизация.

Полученные порошки измельчаются, просеиваются, смешиваются с необходимыми компонентами, прессуются в изделия, которые спекаются при соответствующих температурах.

Следует отметить, что в чистом виде рассматриваемые карбиды находят весьма ограниченное применение. Это обусловлено, в первую очередь, технологическими проблемами получения компактных изделий, например, чтобы спечь изделие из TiC, который имеет температуру плавления 3200°C, необходима температура спекания не менее 2500°C [7-9]. Во-вторых, как уже отмечалось, чистые карбиды весьма хрупки.

Основное применение карбиды переходных металлов находят в инструментальном производстве, где на их основе изготавливают так называемые твердые сплавы, применяемые для обработки металлов резанием. Твердые сплавы содержат смесь зерен карбидов, реже нитридов и карбонитридов тугоплавких металлов в связующих материалах. Стандартные марки твердых сплавов выполнены на основе карбидов вольфрама, титана, тантала. В качестве связки используются кобальт, никель, молибден. Твердые сплавы производятся методами порошковой металлургии путем жидкофазного спекания. Основные марки твердых сплавов для режущих инструментов и их физико-механические свойства приведены в таблице 1.1.

В зависимости от состава карбидной фазы и связки обозначение твердых сплавов включает буквы, характеризующие карбидообразующие элементы (В – вольфрам, Т – титан, вторая буква Т – тантал) и связку (буква К – кобальт).

Таблица 1.1 – Физико-механические свойства твердосплавов на основе карбидов [2-13]

Марка	λ , Вт/(м·К)	ЛКТР, 10^{-6} K^{-1}	$\sigma_{\text{изг}}$, МПа
ВК4	38–80	3,4–4,7	1270–1370
ВК6	46–75	3,6–5,0	1320–1660
ВК8	54–71	4,8–5,5	1370–1810
ВК10	67–69	3,8–6,0	1470–1910
ВК15	41–66	4,7–6,0	1615–2155
ВК20	37,7	4,7–6,0	1860–2330
ВК25	13–24	3,8–6,7	1765–2255
Т30К4	13–38	6,6–7,0	882–931
Т15К6	17–34	5,6–6,0	1127–1180
Т14К8	21–63	6,0–6,2	1130–1370
Т5К10	21	5,5	1270–1370
Т5К12	-	5,9	1620–1760
ТТ8К6	-	-	1225
ТТ7К12	-	-	1372–1617

Массовая доля карбидообразующих элементов в однокарбидных сплавах, содержащих только карбид вольфрама, определяется разностью между 100% и массовой долей связки (цифра после буквы К), например, сплав ВК4 содержит 4% кобальта и 96% WC. В двухкарбидных WC+TiC сплавах цифра после буквы карбидообразующего элемента определяет массовую долю карбидов этого элемента, следующая цифра – массовую долю связки,

последняя – массовую долю карбида вольфрама (например, сплав Т5К10 содержит 5% TiC, 10% Co и 85% WC).

В трехкарбидных сплавах цифра после букв ТТ означает массовую долю карбидов титана и тантала, цифра за буквой К – массовая доля связки, остальное – массовая доля карбида вольфрама (например, сплав ТТ8К6 содержит 6% кобальта, 8% карбидов титана и тантала и 86% карбида вольфрама).

Твердые сплавы выпускаются в виде различных по форме и точности изготовления пластин: напайных (наклеиваемых), многогранных и др. Многогранные пластины выпускаются как из стандартных марок твердых сплавов, так и из этих же сплавов с однослойными или многослойными сверхтвердыми покрытиями из TiC, TiN, оксида алюминия и других химических соединений. Пластины с покрытиями обладают повышенной стойкостью. К обозначению пластин из стандартных марок твердых сплавов с покрытием нитридов титана добавляют маркировку букв КИБ (метод нанесения покрытий конденсацией ионной бомбардировкой).

К неметаллическим безоксидным керамикам относятся материалы на основе боридов ZrB_2 , CrB_2 , TiB_2 , карбидов B_4C , SiC и некоторых переходных металлов, нитридов BN, Si_3N_4 , AlN, фосфидов, силицидов, халькогенидов и арсенидов.

Для изготовления керамических изделий технического назначения представляют интерес соединения неметаллов с азотом такие, как BN и Si_3N_4 . Нитриды неметаллов представляют собой химические соединения с ковалентной связью. Подобные соединения обладают ярко выраженными диэлектрическими свойствами. Как и карбидная керамика, нитриды имеют высокую температуру плавления, а в некоторых случаях и вовсе её не имеют, разлагаясь при высоких температурах. Нитридные соединения являются синтетическими и не встречаются в природе.

1.2 Карбид циркония

Карбид циркония является химическим соединением тугоплавкого металла IV группы периодической системы и углерода. Существует только кубический гранцентрированный карбид циркония с решёткой типа хлористого натрия NaCl, имеющий широкую область гомогенности, что объясняет различия параметров решётки в разных источниках. Углерод в кристаллической решётке занимает пустоты октаэдрической формы в пространстве между атомами циркония [16, 17]. Данному материалу, как и другим карбидам переходных металлов, присущи такие характерные свойства как: тугоплавкость (температура плавления равна 3527 °С) и повышенная твердость (24 ГПа). Основные характеристики карбида циркония представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Свойства карбида циркония [18-20]

Тип кристаллической решетки	Кубическая-NaCl
Параметр решетки, Å	4,697
Плотность, г/см ³	6,73
Температура плавления, С	3532
Температура окисления, С	700
Коэффициент линейного температурного расширения, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	7,01
Теплопроводность, кал/см*с* С	0,09
Твердость, ГПа	24
Прочность, кгс*мм ²	7,6
Модуль упругости, кгс*мм ²	35500

Карбид циркония относится к сверхтвердой высокотемпературной керамике, применяемой в качестве носовых обтекателей, передних кромок ракет и сверхзвуковых транспортных средств, в реактивных двигателях, компонентах топлива для высокотемпературных ядерных реакторов, режущих инструментов и т.д.

Карбид циркония является химически стойким соединением при комнатной температуре по отношению к серной, соляной, фосфорной, хлорной, щавелевой кислотам и смесям серной и фосфорной, серной и щавелевой кислот. Не растворяется в 10% и 20% растворах гидроксида натрия. Растворяется в кипящих серной, азотной, хлорной кислотах. Сильно растворяется в царской водке, смесях серной и азотной, азотной и плавиковой кислот. Карбид кремния устойчив к окислению как в воде, так и во влажном и сухом воздухе при температурах ниже красного каления. При температурах выше 700°C, карбид циркония взаимодействует с кислородом с образованием оксида циркония ZrO_2 [9,14]. Образование оксидов при высоких температурах в значительной степени влияет на процесс формования керамики на основе ZrC , вследствие чего процесс спекания проводят в инертной атмосфере. Также карбид циркония способен к образованию карбонитридов при высоких температурах.

Рисунок 1.1 демонстрирует, что образование стехиометрического ZrC происходит редко при этом область гомогенности широка и находится в диапазоне отношения углерода С к цирконию Zr от 0,3 до 0,98[21].

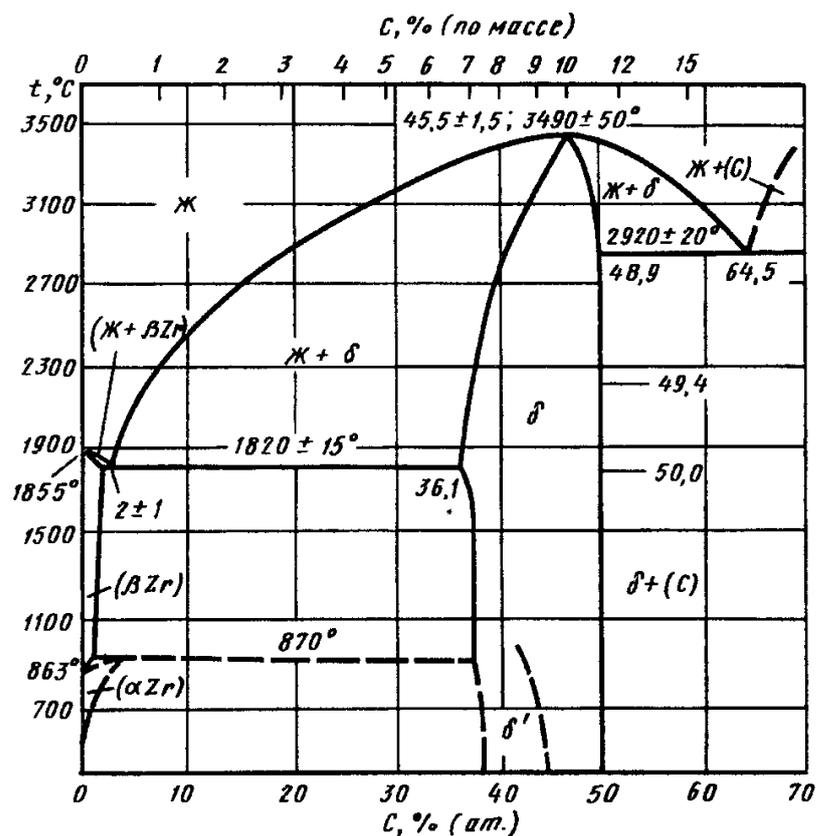


Рисунок 1.1 – Диаграмма состояний цирконий – углерод (Zr-C) [17,22]

Технология получения высокотемпературных керамик с включениями углерода, как правило, осуществляется в несколько стадий. Во-первых, углеродная шихта и керамический порошок подвергаются термической обработке для удаления газовых примесей с поверхности частиц. После чего, осуществляется перемешивание компонентов и активаторов спекания, в планетарных мельницах либо ручным способом. В-третьих, полученная смесь помещается в пресс-форму, после чего осуществляется процесс горячего прессования [24-32].

Для получения керамик на основе ZrC активно используется метод горячего прессования.

Горячее прессование представляет собой процесс формирования материалов из порошков, сочетающий одновременно прессование и спекание порошков при температуре 0,5-0,8 от температуры плавления основного компонента шихты. Метод горячего прессования эффективен для получения различных типов керамик, в том числе высокотемпературных. Увеличение

текучести шихты при повышенных температурах способствует получение малопористых изделий.

Лейполдом и др. [33] проведены исследования о влиянии температур до 2600 °С на механические характеристики ZrC. При температурах свыше 2100 °С прочность снижается до 14,8 МПа и ниже, относительное удлинение превышает 40%. Методом дугового плавления получены отливки сплава карбид циркония – графит с атомным содержанием углерода в диапазоне 54 – 71 атомных долей. Точка эвтектики находится в этом диапазоне и составляет 65 атомных долей углерода, температура кипения данного состава 2850 °С.

Одноосное сжатие в схеме горячего прессования вызывает значительные сдвиговые деформации, перегруппировку частиц и коллапс крупных пор. Принципиальная схема установки горячего прессования представлена на рисунке 1.2. Перегруппировка частиц и залечивание крупных пор сопровождаются увеличением координационного числа зерен. В этом состоит основное достоинство таких методов консолидации по сравнению со свободным спеканием. В результате удается подавить крупную межагломератную пористость и добиться плотности, близкой к теоретической, при условии подавления роста зерен. Традиционно уровень давления при горячем прессовании не превышает 200 МПа, но для компактирования наноразмерных частиц используют и более высокие давления (>1,0 ГПа).

Повышенное давление, короткое время протекания элементарных процессов перегруппировки, схлопывания пор и в целом макроскопической консолидации благоприятно влияют на подавление роста зерен.

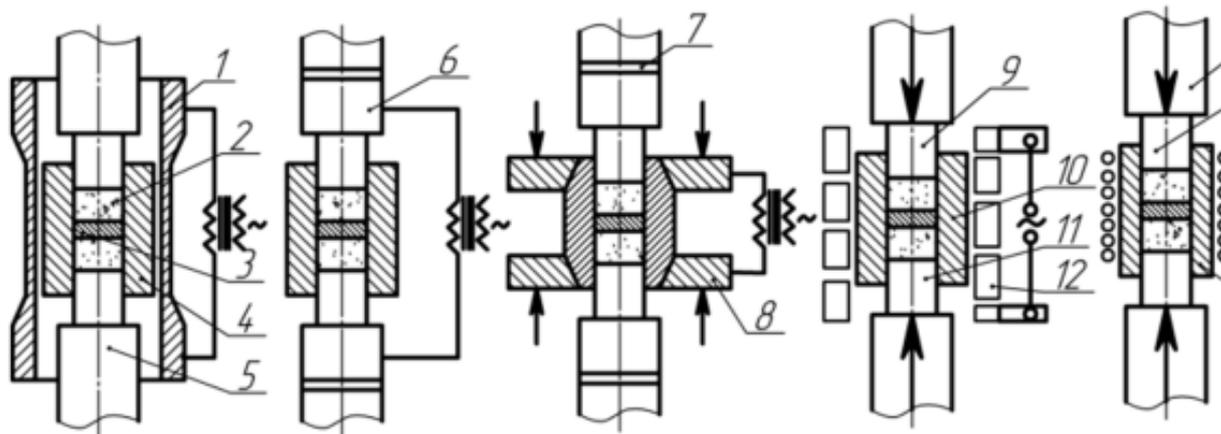


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема горячего прессования: 1 - нагреватель; 2 - порошок; 3 - брикет; 4 - матрица; 5, 6 - пуансоны; 7 - изоляция; 8 - графитовый контакт; 9 - графитовый пуансон; 10 - графитовая матрица; 11 - керамика; 12 - индуктор; 13 - керамический пуансон; 14 - керамическая матрица

При горячем прессовании капиллярные силы обычно пренебрежимо малы относительно давления, приложенного извне. В общем случае это несправедливо для наноструктурных пористых тел. Нагрев производится токами высокой частоты с помощью индуктора. Скорость уплотнения при горячем прессовании определяется и движущей силой, и вязкостью, зависящими от температуры и размера частиц.

Консолидация систем на основе карбида циркония напрямую зависит не только от приложенных давления прессования и температуры спекания, но и кинетических ограничений спекания: прочных ковалентных связей; примесей кислорода на поверхности частиц; низкой скорости диффузии. Важное значение в получении высокоплотных материалов с сохранением высоких механических и термических характеристик играют включения различных фаз, добавки - инициаторы спекания, размеры и форма частиц [34].

Так как размер и форма частиц имеет крайне важное значение для процесса формования компактов, зачастую используют такую предварительную операцию, как измельчение порошка в планетарной

мельнице.

Планетарная мельница представляет собой устройство для тонкого и сверхтонкого измельчения различных материалов. Мельница позволяет получать тонкодисперсные порошки и суспензии, применяемые при производстве керамики, огнеупоров, строительных и абразивных материалов.

Принцип работы планетарной мельницы заключается во вращении 2-4 барабанов относительно центральной оси и вокруг собственной оси в противоположную сторону вращения ротора мельницы [8,10]. Принцип работы планетарной мельницы схематично показан на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Схема работы планетарной мельницы

При увеличении скорости измельчения в размольных барабанах увеличивается центробежная сила. Это достигается благодаря использованию специального планетарного редуктора, обеспечивающего барабанам это специфическое вращение. Помол может осуществляться как при использовании мелющих тел, так и без шаров, т.е. в режиме самоизмельчения. При измельчении карбида циркония в роли мелющих тел чаще всего выступают шары из белого чугуна. Основными преимуществами планетарных мельниц являются высокая кратность помола и низкие энергозатраты, а также низкие сравнительные габариты и возможность установки без фундамента, это и является главной причиной частого применения мельницы данного типа.

1.3 Нитрид бора

Нитрид бора BN является единственным соединением бора и азота с весьма высокой температурой плавления в 3000°C (под давлением азота). Широкую известность имеют две модификации нитрида бора – гексагональная α -BN и кубическая β -BN. Также можно выделить третью аллотропную модификацию γ -BN, имеющую гексагональную структуру, однако, вследствие того, что γ -BN является метастабильной модификацией, он не имеет практического значения. Более подробно свойства нитрида бора описаны в таблице.

Таблица 1.3 – Физико-механические свойства нитрида бора [20,21]

Показатель	Модификации	
	α	β
Цвет	Белый	Чёрный
Кристаллическая решётка	Гексагональная	Кубическая (типа сфалерит)
Параметры решётки, нм:		
a	0,2504	0,3615
c	0,6661	-
Твердость, ГПа	0,1-0,7	60-90
Плотность, г/см ³	2,29	3,45
Модуль упругости, ГПа	34-87	840

Кубический алмазоподобный нитрид бора образуется из α -модификации BN при давлениях выше 6200 МПа и температурах выше 1350°C в присутствии катализаторов (щелочных и щелочно-земельных металлов). Боразон кристаллизуется в структуре цинковой обманки (сфалерита). Кристаллы боразона имеют вид тетраэдров или октаэдров. Они прозрачны, а их цвет зависит от наличия тех или иных примесей. Отличительной чертой β -модификации BN является твёрдость приближенная к твёрдости алмаза. В то же время боразон гораздо более устойчив при высоких температурах, его химическая стойкость значительно выше α -BN [2-8,20]. Кубический нитрид

бора и материалы на его основе занимают заметное место в ряду важнейших инструментальных материалов. На рисунке 1.4 изображены структуры α - и β - модификаций нитрида бора.

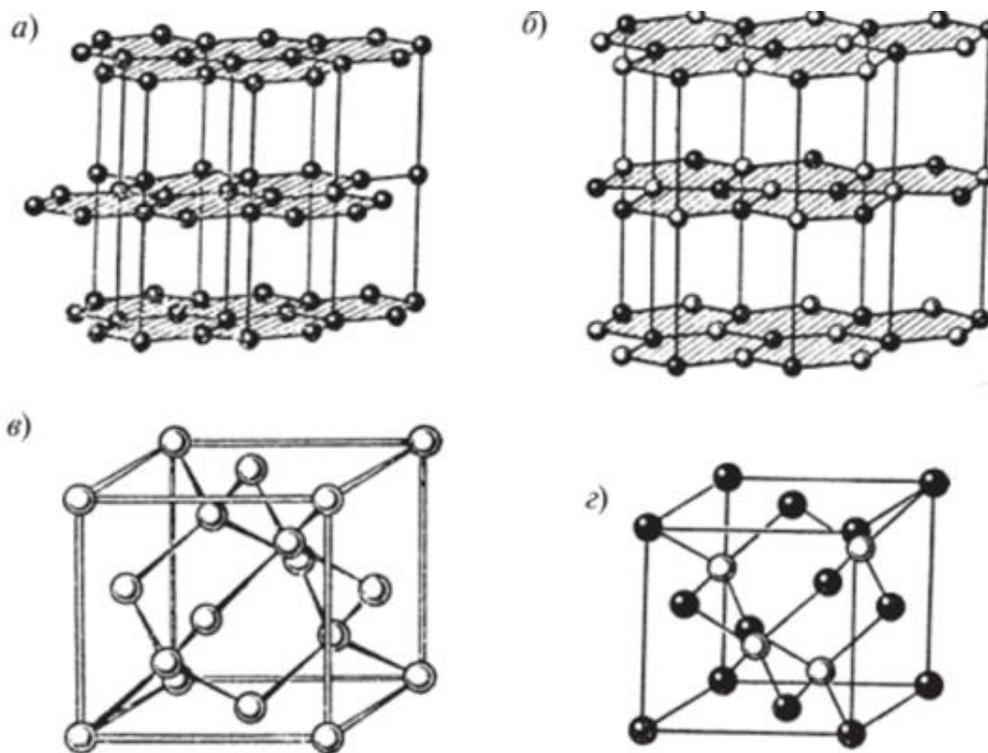


Рисунок 1.4 – Структуры аллотропных модификаций нитрида бора: а – структура графита; б – структура α -BN; в – структура алмаза; г – структура β -BN.

Структура гексагонального BN подобна структуре графита, благодаря чему нитрид бора иногда называют «белый графит». Структура α -BN отличается чередованием графитоподобных сеток, в которых осуществляется чередование атомов бора и азота.

Гексагональный нитрид бора представляет собой белый мелкозернистый порошок чешуйчатого строения. В химическом отношении нитрид бора очень устойчив в нейтральной и восстановительной средах. Он не смачивается многими расплавленными металлами, расплавом стекла и рядом солей. Особенности строения кристаллической решетки обуславливают

высокие диэлектрические свойства α -BN, которые в сочетании с высокой огнеупорностью, химической инертностью и термостойкостью делают его весьма перспективным материалом в ряде областей техники.

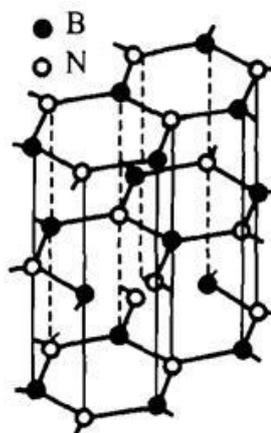


Рисунок 1.5 – Графитоподобная структура гексагонального нитрида бора

Порошок α -модификации нитрида бора получают синтезом из элементов при температуре выше 2000°C или при нагревании смеси B_2O_3 с восстановителями (углём, магнием) в атмосфере аммиака. Изделия из α -BN получают путем спекания спрессованных порошков в среде аммиака или азота при температуре 1800°C , однако плотность таких изделий мала. При изготовления плотных изделий, как и при формовании карбидных керамик, применяют горячее прессование, которое обычно осуществляют в графитовых формах при давлении $30\text{--}50\text{МПа}$ и температуре $1800\text{--}1900^{\circ}\text{C}$ [2-8].

Гексагональный нитрид бора находит своё применение в качестве сухой смазки в подшипниках. Также α -BN благодаря высоким электроизоляционным свойствам применяются для нужд атомной энергетики, электротехники и др.

1.4 Керамические матричные композиты

Керамические матричные композиты (КМК) представляют собой подгруппу композиционных материалов, а также подгруппу керамики. Они

состоят из керамических включений, распределённых в керамической матрице.

Причиной для разработки КМК является преодоление проблем, связанных с распространёнными видами технической керамики таких, как оксид алюминия, карбид кремния, нитрида алюминия, нитрида кремния, оксида циркония и др. Они легко разрушаются под действием механических или термомеханических нагрузок из-за непрерывного распространения трещин, инициированных мелкими дефектами или царапинами. Сопротивление растрескиванию в керамических материалах очень низкое.

Для повышения трещиностойкости или вязкости разрушения армирующие частицы были внедрены в керамическую матрицу. Такое решение нашло применение только в некоторых керамических режущих инструментах. Некоторое время только интеграция длинных многожильных волокон резко увеличивала трещиностойкость. Усиления, используемые в композитах с керамической матрицей, служат для повышения трещиностойкости комбинированной системы материалов, в то же время используя преимущества высокой твёрдости и высокого значения модуля Юнга керамической матрицы.

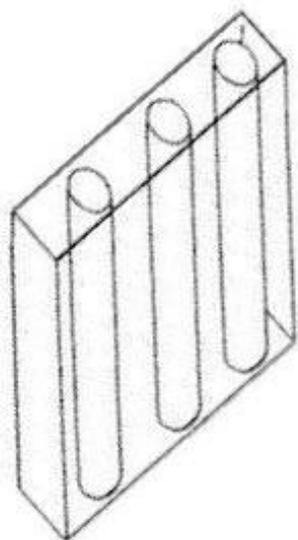


Рисунок 1.6 – Керамический матричный композит армированный непрерывными волокнами

Одним из наиболее распространенным вариантом армирования является керамическое волокно непрерывной длины, модуль упругости которого обычно несколько выше, чем у матрицы. Функциональная роль этого волокна состоит в том, чтобы затруднить прохождения микротрещин через материал, увеличивая тем самым энергию, затрачиваемую во время распространения трещины. Таким образом, армирование керамическими волокнами не только увеличивает начальную стойкость композитной структуры к распространению трещин (рисунок 1.7), но также позволяет керамическим композиционным материалам избегать резких разрушений, которые характерны для монолитной керамики [35-38].

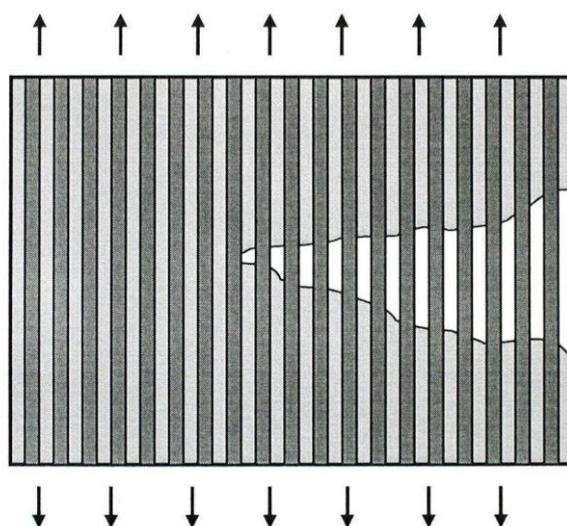


Рисунок 1.7 – Распространение трещи в керамическом композите, армированным непрерывными волокнами

Подобное поведение композитов с керамической матрицей отличается от поведения керамических волокон в композитах с полимерной матрицей и композитах с металлической матрицей, где волокна обычно разрушаются до разрушения матрицы из-за более высокой способности этих матриц к деформации при разрушении.

Чаще всего для керамических матричных композитов используются волокна углерода, карбида кремния, глинозема и муллита. Также встречаются

различные разновидности керамических композитов с прерывистыми однонаправленными и хаотично направленными волокнами.

Широко распространены методы армирования КМК твёрдыми частицами (рисунок 1.8). Эти материалы являются более доступными и простыми в изготовлении, и поэтому находят широкое применение.

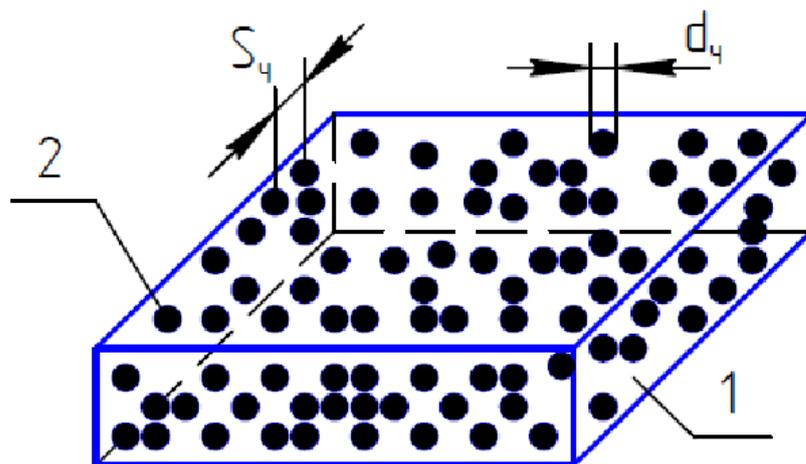


Рисунок 1.8 – Дисперсно-упрочнённый керамический композит: 1 – керамическая матрица; 2 - дисперсные частицы; $d_ч$ – диаметр частиц; $S_ч$ – расстояние между частицами

Как и в других типах керамических композитов, включения затрудняют распространение трещины в объёме материала. Однако, важными отличительными характеристиками являются анизотропия свойств и тот факт, что степень упрочнения зависит от прочной связи на границе матрица-частицы [39].

2 Методика исследования

Для синтеза образцов исследования использовались порошки ZrC и BN. Порошок нитрида бора представлен на рисунке 2.1 и состоит из мелких частиц размером от 1 до 10 мкм. На рисунке 2.2 приведено распределение частиц нитрида бора по размерам.

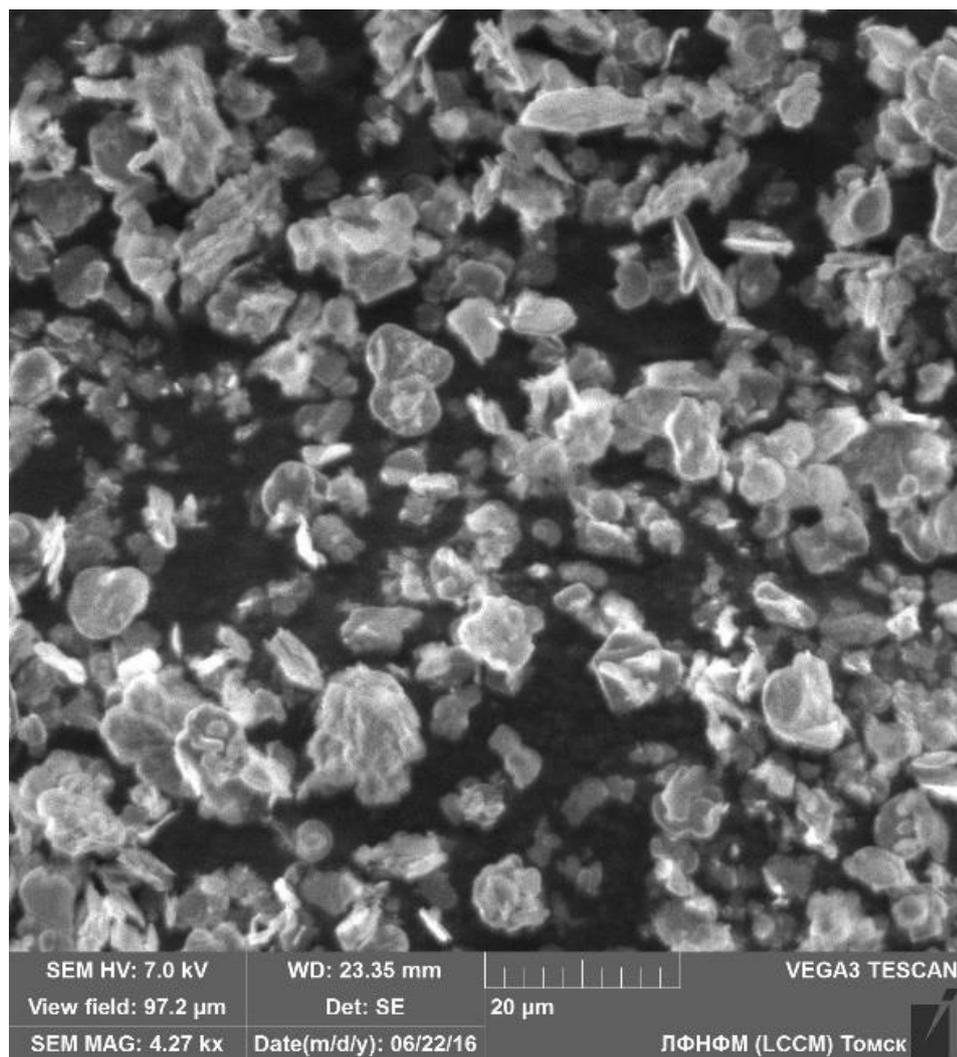


Рисунок 2.1 – Порошок нитрида бора при увеличении в 3000 крат

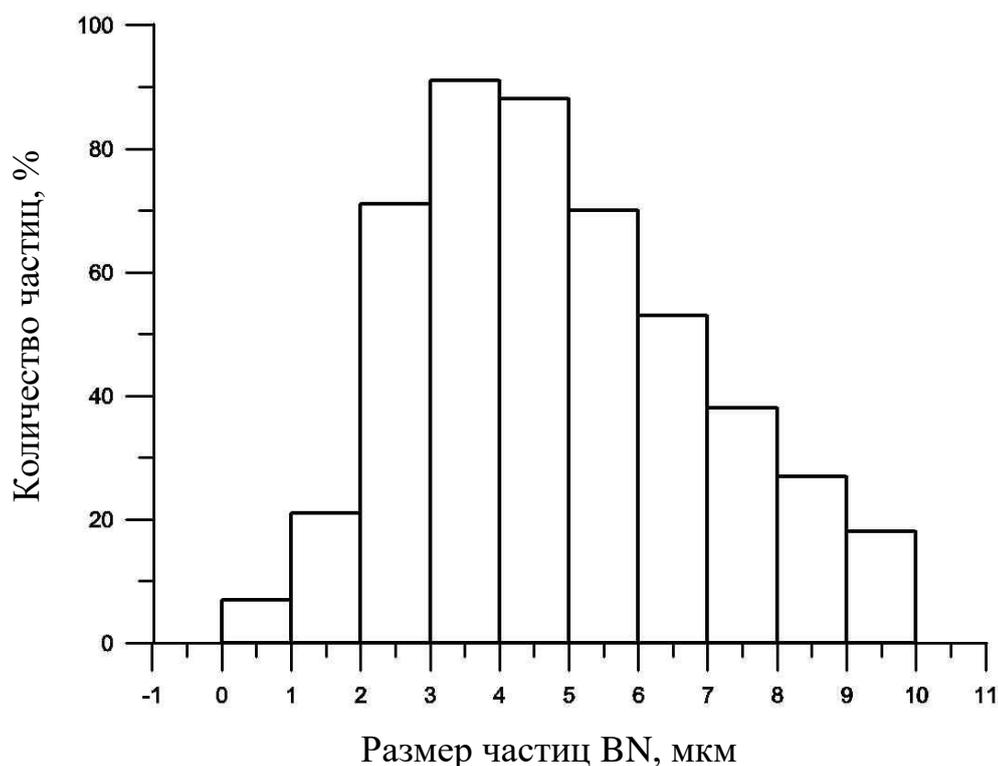


Рисунок 2.2 – Распределение частиц порошка BN по размерам

Перед производством компактов на аппарате горячего прессования было необходимо подготовить шихту из имеющихся порошков. Производство шихты включает в себя взвешивание и смешивание порошков нитрида бора и карбида циркония в необходимых соотношениях 1, 3, 5, 10 и 15% об. по три представителя каждого состава. Смешивания состава производилось в планетарной мельнице периодического действия АГО-2 с частотой вращения 1290 об/мин.

Получившиеся порошковые смеси спекались в аппарате горячего прессования. Шихта помещалась пресс-форму из графита высокой плотности (рисунок 3), которая помещается в аппарат одноосного одностороннего горячего прессования. Во избежание спекания пресс-формы и пуансонов с образцом, использована графитовая бумага в качестве прокладки. Важным нюансом применения графитовых форм является то, что они подвержены постепенному выгоранию при высоких температурах. Это приводит к утонению стенок матрицы и вызывает опасность разрушения формы в процессе горячего прессования. Процесс спекания производился в инертной

атмосфере аргона. Для обеспечения инертной среды спекания производилась откачка воздуха из рабочей камеры с помощью форвакуумных насосов, после чего инертный газ подавался в рабочее пространство из заранее подготовленных баллонов. Процесс прессования одного компакта продолжался 50 минут, график режима спекания изображён на рисунке 2.3. После остывания компакты извлекались из матрицы.

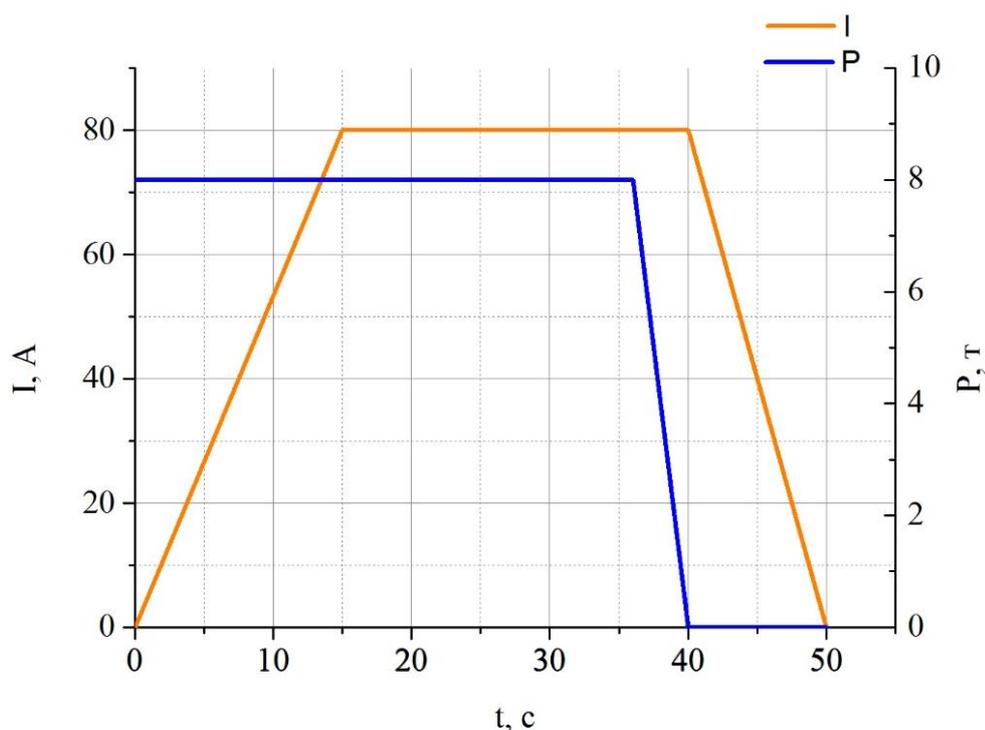


Рисунок 2.3 – Схема режима спекания компактов

После изъятия получившихся компактов из пресс-формы они были отполированы с использованием алмазной пасты зернистостью 14/10 (голубая), 10/7, 7/5, 5/3 (зелёная), 3/2, 2/1 1/0 (жёлтая) [40].

Изображения поверхности образцов получались при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) «VEGA3 TESCAN» с установленным термоэмиссионным вольфрамовым катодом. Использовались режимы обратно отраженных и вторичных электронов, ускоряющее напряжение 29 кВ [41,42].

Измерение твёрдости проводилось по методу Виккерса. Измерение размеров отпечатка для расчёта твёрдости производилось с помощью растрового электронного микроскопа.

Модуль Юнга был рассчитан по правилу смеси [43]:

$$E_c = \frac{E_m \times E_f}{E_m \times V_f + E_f(1 - V_f)}, \text{ где}$$

E_c – модуль Юнга композита;

E_f – модуль Юнга армирующего элемента;

E_m – модуль Юнга матрицы;

V_f – объёмная доля армирующего компонента.

Измерение плотности компактов осуществлялось гидростатическим методом (схема метода приведена на рисунке 2.4) [44].

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_2}; \rho_1 = \frac{m_1}{V}, \text{ где}$$

m_1 – масса тела при первом взвешивании;

m_2 – масса тела при взвешивании в жидкости;

ρ_1 – плотность тела;

ρ_2 – плотность жидкости;

V – объём тела.

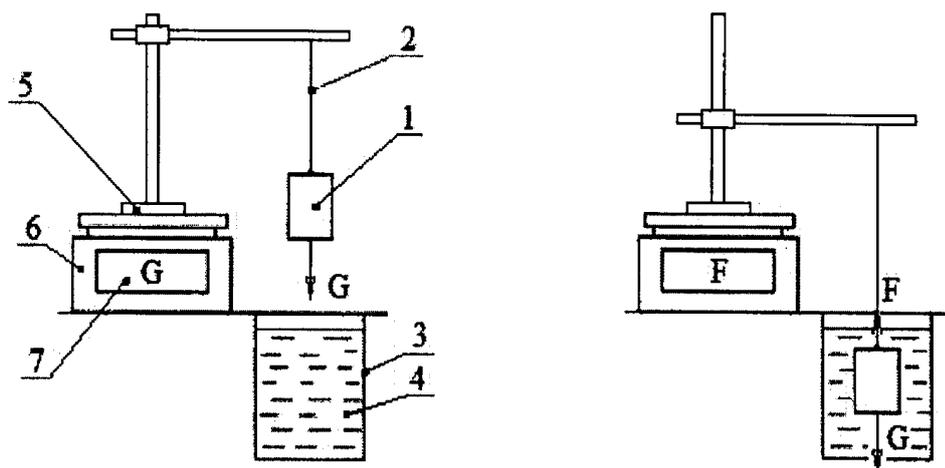


Рисунок 2.4 – Схема гидростатического взвешивания для определения плотности твёрдых тел: 1 – исследуемое тело; 2 – гибкая подвеска; 3 – ёмкость для жидкости; 4 – рабочая жидкость; 5 – штатив; 6 – электронные весы; 7 – дисплей электронных весов с измеряемым показателем

Измерение коэффициентов трещиностойкости образцов проводилось двумя методами: SEVNB (Single Edge V-notch Beam) и методом послойного снятия отпечатка.

SEVNB-метод включает в себя формирование V-образного надреза с измерением его геометрических параметров и разрушение образца таким образом, чтобы перелом начался на дне сформированного надреза. Схематичное изображение V-образного надреза представлено на рисунке 2.5 [45].

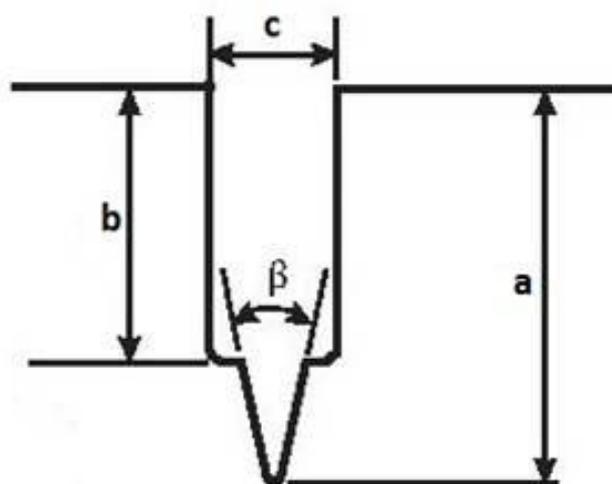


Рисунок 2.5 - Схематическое изображение формы V-образного надреза

Метод послойного снятия отпечатков заключается в измерении зоны хрупкой повреждаемости на поверхности образца, а также описании характера распространения появившихся в результате индентирования трещин в глубину материала. Для осуществления данного метода производилось индентирование образцов алмазной пирамидкой. После получения необходимых отпечатков производилось измерение размеров трещин с помощью растрового электронного микроскопа. Затем с помощью алмазной пасты снималось 5 мкм с поверхности компактов с последующими измерениями. Действия повторялись до полного исчезновения трещин или следов отпечатков [46].

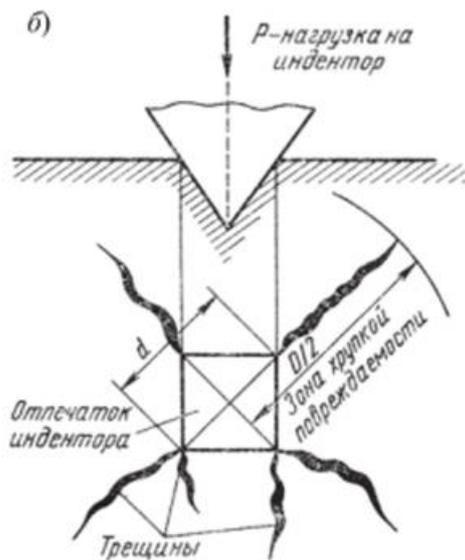


Рисунок 2.6 – Схема отпечатка алмазной пирамидки Виккерса

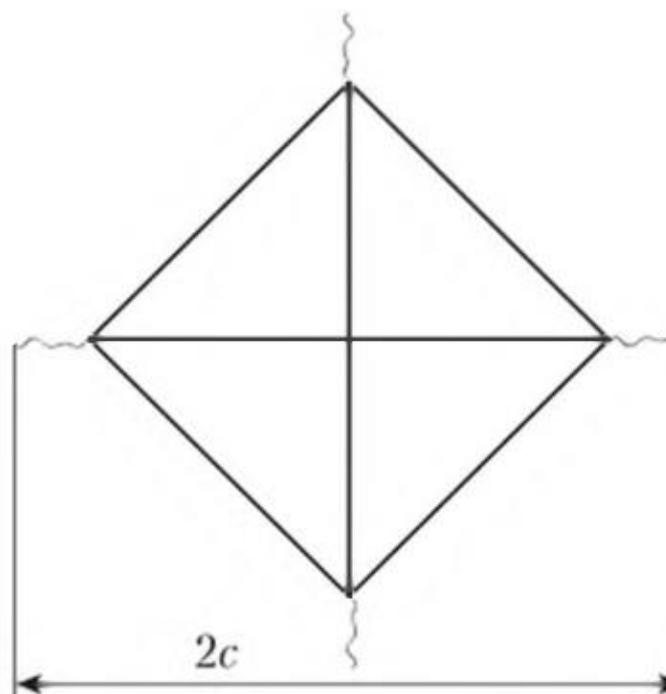


Рисунок 2.7 - Трещины в углах отпечатка Виккерса , где с - половина длины трещины

Значения коэффициента K_{IC} определяют по следующей формуле:

$$K_{IC} = 0,07 * P * c^{-3/2} \text{ [кгс*мм}^{3/2}\text{]},$$

где P — приложенная нагрузка [кгс];

c — средняя длина половины трещины [мм].

Анализ полученных результатов исследований проводился с помощью программного обеспечения Origin 9, Grapher, Project1.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Б51	Добровольскому Артему Романовичу

Инженерная школа	новых производственных технологий	Отделение	материаловедения
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<ul style="list-style-type: none"> - При проведении исследования используется база ИФПМ СО РАН. - Участники проекта - студент-исполнитель и научный руководитель. - Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта - 500 тысяч рублей.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» - Минимальный размер оплаты труда на 2019 год составляет 11280 руб.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Согласно ст. 149 НК РФ данная НИИР не подлежит налогообложению. - На основании ст. 58 закона №212-ФЗ ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 28,0%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Техничко-экономическое обоснование НИИР - SWOT-анализ
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Планирование работ по проведению НИИР - Расчет бюджета затрат на НИ
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	-Расчёт интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Матрица SWOT 2. График проведения и бюджет НИ 	
---	--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б51	Добровольский Артем Романович		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Ценность научно-исследовательской деятельности, в современном мире, определяется не только лишь масштабом данного открытия, но и коммерческой значимостью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Привлекательность научного исследования определяется с одной стороны превышением технических параметров над уже разработанными технологическими решениями и с другой стороны экономической выгодой проекта: востребованностью, ценой продукта, сроком выхода на рынок и др.

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

Задачи:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [47].

4.1 Технико-экономическое обоснование

Карбид циркония обладает высокими эксплуатационными свойствами, что делает его потенциально пригодным для решения многих задач

современного материаловедения: в качестве компонентов и легирующих добавок твердых сплавов, разнопрофильных композиционных материалов, для защитных покрытий, поверхностного и объемного модифицирования металлических сплавов и материалов.

4.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Проект выполнен в рамках научно-исследовательской работы для ИФПМ СО РАН. Проведенные в данной работе исследования представляют интерес для предприятий, производящих продукцию, работающую при повышенных температурах в условиях агрессивных сред. К ним, в частности, относятся: Производители режущих инструментов, космической и военной техники, газотурбинных двигателей и т.п.

4.3 SWOT-анализ

В данной работе SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы. Сначала, составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы. Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Затем на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы; «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие [47].

Таблица 4.1 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта: С1. Технология не требует высокой квалификации персонала. С2. Простота в использовании и обслуживании оборудования. С3. Отечественные поставщики сырья. С4. Существует промышленная реализация данной технологии</p>	<p>Слабые стороны проекта: Сл1. Применение средств коллективной и индивидуальной защиты при работе с мелкодисперсными порошками Сл2. Проблемы с реализацией технологии за границей Сл3. Удорожания продукта в процессе последующей обработки. Сл4. Качество продукта зависит от исходного сырья.</p>
<p>Возможности: В1. Использование инфраструктуры ИФПМ В2. Использование промышленных мощностей. В3. Возникновение спроса на новый продукт.</p>	<p>В1С1С2С3 В2С1С2С3С4 В3С3С4</p>	<p>В2Сл2Сл3 В3Сл1</p>
<p>Угрозы: У1. Возможный рост стоимости сырья У2. Ограничения на экспорт технологии. У3. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства</p>	<p>У1С3 У3С1С2</p>	<p>У1Сл3Сл4 У2Сл2 У3Сл1Сл3</p>

Интерактивные матрицы возможностей и угроз приведена в таблицах 4.2 и 4.3 соответственно.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности (В)	Сильные стороны проекта (С)				
		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	+	-
	В2	+	+	+	+
	В3	-	-	+	+
Слабые стороны проекта (Сл)					
	Сл1	Сл 2	Сл 3	Сл 4	
В1	-	-	-	-	
В2	-	+	+	-	

	В3	+	-	-	-
--	----	---	---	---	---

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы (У)	Сильные стороны проекта (С)				
		С1	С2	С4	С5
	У1	-	-	+	-
	У2	-	-	-	-
	У3	+	+	-	-
	Слабые стороны проекта (Сл)				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	+	+
	У2	-	+	-	-
	У3	+	-	+	-

Анализ интерактивных матриц показывает, что сильных сторон проект имеет больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. Главной угрозой является возможность удорожания стоимости сырья, на что также накладывается влияние качества сырья на готовый продукт. Таким образом, необходим постоянный контроль качества исходных компонентов, а также поиск новых поставщиков сырья. Немаловажным в настоящий момент является заинтересованность государства в развитии технологий, напрямую связанных с оборонно-промышленным комплексом страны.

4.4 Планирование работ по НИР

Оценка трудоемкости – важнейшая составная часть обоснования затрат на реализацию мероприятий, направленных на развитие научнотехнической и производственно-технологической баз.

Для анализа трудоемкости выполнения научно-исследовательской работы (НИР) используется экспертная оценка. Трудоемкость, выражаемая в человеко-днях, носит вероятностный характер, так как находится в зависимости от большого числа переменных факторов. Этапы данной работы приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Перечень этапов работ, распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований в НИР	2	Изучение учебной литературы по теме	Студент
	3	Изучение актуальных статей по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	5	Планирование эксперимента	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов	Научный руководитель, студент
	7	Проведение эксперимента	Научный руководитель, студент
	8	Обработка полученных экспериментальных результатов	Научный руководитель, студент
	9	Сопоставление полученных результатов с теоретическими	Научный руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	10	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель, студент
	11	Оценка целесообразности дальнейшего проведения ОКР	Научный руководитель, студент
Оформление отчета по НИР	12	Составление пояснительной записки	Студент

4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ

При проведении научных исследований основную часть затрат составляют заработные платы (порядка 65%), поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Определение ожидаемой величины трудоёмкости проводится по формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad ()$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad ()$$

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

4.4.2 Построение графика работ

Для удобства построения графика полученную величину переводят в календарные дни по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{кал}, \quad ()$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях (полученная величина округляется до целого числа);

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Определение величины $k_{кал}$ проводится по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad ()$$

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

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

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

В 2019 году количество выходных и праздничных дней суммарно составит 118 дней.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478 \approx 1,5 \quad ()$$

Все полученные значения T_{ki} приведены в таблице 4.5.

На основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными по времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (таблица 4.6). Построение осуществляется за период времени дипломирования, с разбивкой по декадам и месяцам.

Таблица 4.5 - Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Т _{рi} , раб. дни	Т _{кi} , кал. дни
		t _{min i} чел.-дни	t _{max i} чел.-дни	тож i чел.-дни			
1	Составление и утверждение технического задания	1	2	1	Научный руководитель, студент	1	2
2	Изучение учебной литературы по теме	5	10	12	Студент	7	11
3	Изучение актуальных статей по теме	10	15	12	Студент	12	18

Продолжение таблицы 4.5

4	Выбор направления исследований	1	2	1	Научный руководитель	1	2
5	Планирование эксперимента	2	4	3	Научный руководитель	3	5
6	Проведение теоретических расчетов	5	7	6	Научный руководитель, студент	3	5
7	Проведение эксперимента	30	36	32	Научный руководитель, студент	16	24
8	Обработка полученных экспериментальных результатов	14	20	16	Научный руководитель, студент	8	12
9	Сопоставление полученных результатов с теоретическими	3	5	4	Научный руководитель, студент	2	3
10	Оценка эффективности результатов	5	7	6	Научный руководитель, студент	3	5
11	Оценка целесообразности дальнейшего проведения ОКР	7	10	8	Научный руководитель, студент	4	6
12	Составление пояснительной записки	25	30	27	Студент	27	41

Таблица 4.6 – Календарный план-график проведения НИР

№	Название работы	сполнители	ki, кал.дн.	Продолжительность выполнения работ																
				январь			февраль			март			апрель			май			июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Науч. рук., студент	2		1															
2	Изучение учебной литературы по теме	Студент	11		1	2														
3	Изучение актуальных статей по теме	Студент	18		1	2	3													
4	Выбор направления исследований	Науч. рук.	2					1												
5	Планирование эксперимента	Науч. рук.	5					1	2											
6	Проведение теоретических расчетов	Науч. рук., студент	5					1	2											
7	Проведение эксперимента	Науч. рук., студент	24					1	2	3										
8	Обработка полученных результатов	Науч. рук., студент	12									1	2							
9	Сопоставление полученных результатов с теоретическими	Науч. рук., студент	3											1						
10	Оценка эффективности результатов	Науч. рук., студент	5													1				
1	Оценка целесообразности дальнейшего проведения ОКР	Науч. рук., студент	6														1			
2	Составление пояснительной записки	Студент	41														1	2		
				- студент			- руководитель													

Таким образом, запланированный комплекс работ может быть разделен на 12 этапов. На выполнение поставленных задач заданным коллективом требуется порядка пяти месяцев.

4.4.3 Бюджет научно технического исследования

Основная задача планирования бюджета НИР заключается в полном и достоверном отражении всех возможных затрат на его реализацию. Принято использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

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

4.4.3.1 Расчет материальных затрат НИР

Представляют собой суммарную стоимость всех приобретенных материалов, комплектующих, сырья, канцелярских принадлежностей (если они не включены в расходы на использование оборудования или накладные расходы) и т.д., необходимых при проведении НИР. Стоимость возвратных отходов исключается из затрат на материальные ресурсы.

Величина материальных затрат Z_m определяется по формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \times \sum_{i=1}^m (C_i \times N_{расxi}) \quad ()$$

где m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении НИР;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении НИР (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен определяются поставщиками или предприятиями-изготовителями. Их значения можно найти, пользуясь ресурсами сети Интернет.

Коэффициент k_T определяется как отношение затрат по доставке материальных ресурсов к ценам на них. Его величина зависит от таких факторов как условия договоров поставки, вид материальных ресурсов, территориальная удаленность поставщиков и др. и составляет обычно 15-25%.

Рассчитанные материальные затраты на проведение данного исследования приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Зм, руб.
Карбид циркония (порошок)	кг	1	7000	7000
Нитрид бора (порошок)	кг	0,1	9000	900
Жидкий аргон (заправка баллона)	л	40	20	800
Набор алмазной пасты	шт	1	3000	3000
Спирт	л	1	327	327
Графитовая пресс-форма	шт	3	653	1959
Итого				15945

4.4.3.2 Расчет затрат на экспериментальное оборудование для научных работ

Данная статья включает в себя расходы по приобретению необходимого оборудования: приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, испытательных машин и т.д., а также амортизационные расходы.

Необходимое для проведения исследования оборудование приведено в таблице 4.8. Цена указана по прейскурантам компаний-поставщиков.

Таблица 4.8 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Оборудование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты, руб.
Весы электронные	шт	1	4756	0
Планетарная мельница АГО-2	шт	1	625147	0
Установка горячего прессования	шт	1	1500000	0
Растровый электронный микроскоп VEGA 3TESCAN	шт	1	50000000	0
Персональный компьютер	шт	1	21799	0
Итого				0

Как видно из таблицы, итоговые затраты составили 0 руб., что связано с наличием всего необходимого оборудования на базе ИФПМ СО РАН.

Расчет амортизационных отчислений осуществляется исходя из базовой стоимости оборудования и утвержденных норм амортизации. Учёту амортизации подлежит оборудование сроком использования более года и стоимостью за единицу оборудования более 100 тыс. руб.

Расчёт амортизационных отчислений H осуществлялся по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{T_{ucni}}{365} \times K_i \times H_{ai}$$

где n - число единиц оборудования стоимостью более 100 тыс. руб. и сроком службы более года;

$T_{исп\ i}$ – время использования i -ой единицы оборудования;

365 – количество дней в году;

K_i – стоимость i -ой единицы оборудования;

$H_{a\ i}$ – норма амортизации i -ой единицы оборудования.

Норма амортизации является величиной, обратной сроку службы оборудования $T_{сс}$:

$$H_a = \frac{1}{T_{сс}}$$

Результаты расчета амортизации оборудования представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Расчет величины амортизационных отчислений

Оборудование	Цена	Срок службы, лет	Срок использования в НТИ, кал. дни	Н, руб.
Планетарная мельница АГО-2	625 147	более 20	1	86
Установка горячего прессования	1 500 000	более 20	30	6164
Растровый электронный микроскоп VEGA 3TESCAN	50 000 000	более 20	5	37203
Итого				43453

4.4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате рассчитывается по трудоёмкости выполняемых работ с учётом действующей систем окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. Результаты расчета расходов приведены в таблице.

Основная заработная плата студента и руководителя от предприятия $Z_{осн}$ вычисляется по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p, \quad ()$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней (таблица 4.9);

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

Значение величины $Z_{дн}$ определяется как:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \times M}{F_{\partial}}, \quad ()$$

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_{∂} – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Расчёт рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	219	271

Расчет значения Z_M проводится по формуле:

$$Z_M = Z_{мс} \times (1 + k_{np} + k_{\partial}) \times k_p, \quad ()$$

где $Z_{мс}$ заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{np}=0,3$ – премиальный коэффициент;

$k_{\partial}=0,2$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях - за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия);

$k_p=1,3$ – районный коэффициент (для Томска).

Расчёт основной заработной платы показан в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	Зтс	кпр	кд	кр	ЗМ	Здн	Тр	Зосн
Руководитель	30765	0,3	0,2	1,3	59992	3013	41	123533
Студент	13190				25720	1044	82	85608
Итого:								209141

4.4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Определение величины дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ ведется по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \times k_{доп}, \quad ()$$

где $k_{доп}=0,12$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Результаты вычислений $Z_{доп}$ приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 - Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	Здоп
Руководитель	14824
Студент	10273
Итого:	25097

4.4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Размер выплат находится по формуле:

$$Z_{внеб} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \times k_{внеб}, \quad ()$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды

Согласно ст.58 Федерального закона №212-ФЗ, для организаций, основным видом экономической деятельности которых являются научные исследования и образование, отчисления в страховые фонды составляют 28%, откуда $k_{внеб}=0,28$. Затраты на отчисления приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Расчёт внебюджетных отчислений

Исполнитель	Звнеб
Руководитель	38741
Студент	26846
Итого:	65587

4.4.3.6 Накладные расходы

В данной статье учитываются все прочие расходы, не включенные в предыдущие статьи, такие как электроэнергия, печать документов, оплата услуг связи и т.д. Их величина определяется как:

$$Z_{накл} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \times k_{нр}, \quad ()$$

где $k_{нр}=0,16$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы в данной работе.

$$Z_{накл} = (11824 + 209141 + 25097 + 65587) \times 0,16 = 49864 \quad ()$$

4.4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на НИР приведет в таблице 4.13.

Таблица 4.13 - Определение бюджета затрат на НИР

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты НИР	15945	п. 4.4.3.1
2	Затраты на оборудование	43453	п. 4.4.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	209141	п. 4.4.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	25097	п. 4.4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	65587	п. 4.4.3.5
6	Накладные расходы	49864	п. 4.4.3.6
Итого:		409087	-

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Таким образом, расчетные затраты не превышают запланированную сумму в 500 тыс. руб. Согласно таблице 4.13, наибольшие затраты по проведению НИР формируются за счёт затрат на заработную плату.

4.5 Определение ресурсоэффективности

Ресурсоэффективность проекта можно оценить с помощью интегрального показателя ресурсоэффективности, вычисляемого по формуле:

$$I_p^{ucni} = \sum_{i=1}^n (a_i \times b_i) \quad ()$$

где $I_p^{испi}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

В таблице 4.14 приведен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 4.14 – Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5
3. Энергосбережение	0,20	3
4. Надёжность	0,35	5
5. Материалоёмкость	0,20	5
I_{pi}	1	4,55

Стоит отметить, что высокие баллы 2, 4, и 5 критериев позволяют судить о том, что метод надежный и соответствует требованиям потребителей, поскольку позволяет повысить технологичность производства.

4.6 Заключение по разделу

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в ходе проведения SWOT-анализа выявили сильные и слабые стороны проекта, провели оценку надежности и возможностей проекта. Также установили, что научно-исследовательский проект обладает рядом положительных сторон, таких как высокая экономичность и надежность.
- разработали график занятости для всех исполнителей, составили ленточную диаграмму Ганта, позволяющую провести оценку и лучшим образом спланировать рабочее время исполнителей.
- составление сметы научного исследования позволило оценить первоначальный бюджет затрат на реализацию научно-исследовательского проекта, а также дать рекомендации по оптимизации этих затрат.
- проведенная по интегральному показателю оценка ресурсоэффективности проекта показала высокий результат (4,55 по 5-бальной шкале), что говорит об эффективности реализации научно-исследовательского проекта.

Таким образом, с учетом всего вышеуказанного можно сделать вывод, что реализация данного научно-исследовательского проекта позволит повысить социальную и ресурсосберегающую эффективность производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены композиционные системы ZrC-BN из порошковых смесей карбида циркония ZrC и добавки нитрида бора методом горячего прессования. Установлены следующие зависимости для полученных композитов:

- увеличение объемной доли нитрида бора в составе композита 0-5 % об. приводит к повышению относительной плотности с 94 до 100 %, с дальнейшим повышением содержания BN от 5 до 15% об. относительная плотность уменьшается со 100 до 94 %;
- увеличение объемной доли нитрида бора в составе композита от 0 до 15 % об. приводит к снижению твердости с 13,5 до 7,06 ГПа;
- значения коэффициента трещиностойкости, полученные методом послойного снятия отпечатков, образцов ZrC-BN увеличиваются с повышением содержания нитрида бора в компактах с 4,3 до 5,45 МПа*м^{1/2} на поверхности, наибольшее значение K_{1C} получено при содержании BN 15% об. на глубине 15 мкм и составляет 8,6 МПа*м^{1/2};
- измерения коэффициента трещиностойкости композитов ZrC-BN методом SEVNB демонстрируют повышение K_{1C} с 3,39 до 4,215 МПа*м^{1/2} в промежутке от 0 до 3% об. с последующим увеличением содержания BN K_{1C} снижается до 3,7 МПа*м^{1/2} при объемной доле BN 15%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чаевский В.В., Рудак П.В., Кулешов А.К./ Износ лезвий ножей дереворежущего фрезерного инструмента с ZrC-, ZrC-Ni-УДА-покрытиями // Труды БГТУ. 2017. №1. С.46-51.
2. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 75 с.
3. Шевченко В.Я., Баринов С.М. Техническая керамика. – М.: Наука, 1993. – 187 с.
4. Шевченко В.Я. Введение в техническую керамику. – М.: Наука, 1993.– 112 с.
5. Гаршин А.П., Гропянов В.М., Зайцев Г.П., Семенов С.С. Машиностроительная керамика. – СПб: Изд-во СпбТУ, 1997. – 726 с.
6. Керамические материалы / Под ред. Г.Н. Масленниковой. – М.: Стройиздат, 1991. – 320 с.
7. Семченко Г.Д. Конструкционная керамика и огнеупоры. – Харьков: Штрих, 2000, – 304 с.
8. Стрелов К.К., Кащеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М.: Metallurgia, 1996. – 332 с.
9. Самсонов Г.В. Физическое материаловедение карбидов. - Научная думка, 1974. - С. 107-109. — 454 с.
10. Химическая технология керамики и огнеупоров / Под ред. П.П. Будникова. – М.: Стройиздат, 1972. – 551с.
11. Косолапова Т. Я. Карбиды. - Metallurgia, 1968. - С. 300.
12. Самсонов Г. В., Веницкий И. М. Тугоплавкие соединения (справочник). - Metallurgia, 1976. - С. 560.
13. Балкевич В.Л. Техническая керамика: Учебное пособие для вузов. –М.: Изд. Стройиздат, 1984. – 256с
14. Самсонов Г.В., Веницкий И.М. Тугоплавкие соединения: справочник. 2-е изд. М.: Metallurgia, 1976. 560-с.

15. Самсонов Г.В., Эпик А.П. Тугоплавкие покрытия. 2-е изд., пер. и-доп. М.: Металлургия, 1973. 400-с
16. Warren B. Blumenthal, The Chemical Behavior of Zirconium // – N.Y.: Chief of Chemical Research Titanium Alloy Manufacturing Division National Lead Company Niagara Falls, – 1958; – p.398
17. Диаграмма состояния двойных металлических систем: справочник: в 3т.: Т. 1 / Под общ. Ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
18. Курдюмов А.В., Пилянкевич А.Н., Фазовые превращения в углероде и нитриде бора. – Киев: Наукова думка, 1979.
19. Р. В. Лобзова / Графит // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.
20. Волков, А.И., Жарский, И.М. Большой химический справочник / А.И. Волков, И.М. Жарский. – Мн.: Современная школа, 2005. - 608 с.
21. Косолапова Т.Я. (ред). Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справочное издание. – М.: Металлургия. 1986. 928 с.
22. Рыгин А.В. Функциональные материалы ZrC/C: получение, свойства: диссертация на соиск. ст. маг. (07.06.17) / Рыгин Александр Владимирович; ТПУ. – Томск, 2017. – 121 с.
23. Song M, Huang B, Zhang M, Li J. Reaction synthesis of nano-scale ZrC particulates by self-propagating high-temperature synthesis from Al-Zr-C powder mixtures. // ISIJ Int. – 2008. – Vol. 48. – № 7. – P.1026-1029
24. Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г./ Технологические решения в производстве карбида циркония: анализ, оценка состояния и перспектив // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Том 23, №1, 2017. С.256-270.

25. Дальский А.М., Арутюнова И.А., Барсукова Т.М. Технология конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1985. 448 с.
26. Лаптев А.М., Ткаченко Я.Ю. / Оборудование для горячего прессования порошковых материалов // Обработка материалов давлением. 2010, №3.С.219-225
27. О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, З.Г. Бикбаева / Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий— Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.- 196 с
28. Бальшин М.Ю. Порошковая металлургия. – М.: Машгиз, 1948, 286с
29. Patterson MCL, He S, Fehrenbacher LL, Hanigofsky J, Reed BD. Advanced HfC-TaC oxidation resistant composite rocket thruster. // Mater Manuf Process. – 1996 – Vol. 11. – № 3. – P. 367-379.
30. 118. Xiao K, Guo Q, Liu Z, Zhao S, Zhao Y. Influence of fiber coating thickness on microstructure and mechanical properties of carbon fiber-reinforced zirconium diboride based composites. // Ceram Int. – 2014. – Vol. 40. – № 1 PART B. – P. 1539-1544.
31. 119. Kim C, Grummon DS, Gottstein G. Processing and interface characteristics of graphite fiber reinforced tantalum carbide matrix composites. // Scripta Metallurgica et Materiala. – 1991. – Vol. 25. – № 10. – P. 2351-2356.
32. 120. Guo S, Naito K, Kagawa Y. Mechanical and physical behaviors of short pitch-based carbon fiber-reinforced HfB₂-SiC matrix composites. // Ceram Int. – 2013. – Vol. 39. – № 2. – P. 1567-1574.
33. LEIPOLD MH, NIELSEN TH. Mechanical Properties of Hot-Pressed Zirconium Carbide Tested to 2600°C. // J Am Ceram Soc. – 1964. – Vol. 47. – № 9. – P.419-424.
34. Mallick AR, Chakraborty S, Das PK. Synthesis and consolidation of ZrC based ceramics: A review. // Rev Adv Mater Sci. – 2016. – Vol. 44. – № 2. – P.109-133.

35. Zoli, L.; Sciti, D. (2017). "Efficacy of a ZrB₂-SiC matrix in protecting C fibres from oxidation in novel UHTCMC materials". *Materials & Design*. 113: 207–213.
36. Zoli, L.; Vinci, A.; Silvestroni, L.; Sciti, D.; Reece, M.; Grasso, S. (2017). "Rapid spark plasma sintering to produce dense UHTCs reinforced with undamaged carbon fibres". *Materials & Design*. 130: 1–7
37. Galizia, Pietro; Failla, Simone; Zoli, Luca; Sciti, Diletta (2018). "Tough salami-inspired C f /ZrB₂ UHTCMCs produced by electrophoretic deposition". *Journal of the European Ceramic Society*. 38 (2): 403–409.
38. Vinci, Antonio; Zoli, Luca; Sciti, Diletta; Melandri, Cesare; Guicciardi, Stefano (2018). "Understanding the mechanical properties of novel UHTCMCs through random forest and regression tree analysis". *Materials & Design*. 145: 97–107.
39. M. Vyas, L. Manocha, S. Manocha, and P. Raole, "Effect of Additional Particulate Reinforcement on the Properties of Fibrous Ceramic Matrix Composites", *Eurasian Chem. Tech. J.*, vol. 13, no. 1-2, pp. 35-40, Apr. 2011.
40. ГОСТ 25593-83. Пасты алмазные. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). – М.: Издательство стандартов, 1983. – 22 с.
41. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., Джой Д., Фиори Ч., Лифшин Ф. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в двух книгах. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. 303 с
42. Серия сканирующих электронных микроскопов VEGA 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tescan.ru/products/vega-sem/> – 2017.
43. D. Hull, T.W. Clyne. *An introduction to composite materials*. Second edition, Cambridge University Press, 1996, pp 1-8; 60-77; 121-131
44. Гаузнер С. И., Кивилис С. С., Осокина А. П., Павловский А. Н. *Измерение массы, объема и плотности*. М.: Изд-во Стандартов, 1972. –623 с.

45. J. Köhler, Fracture Toughness Using the SEVNB Method: Preliminary Results, Ceramic Engineering & Science Proceedings, 18, Issue 4, 155 - 162 (1997).
46. Николаева Е. А. Основы механики разрушения: учебное пособие.— Пермь: Изд-во Пермского гос. техн. ун-та, 2010.— 103с.
47. И.Г. Видяев. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницына // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
48. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 20 с.
49. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)
50. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). – М., 2003. – 29 с.
51. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 48 с.
52. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. - Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2003. – 28 с.
53. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – М., 2016. – 102 с.
54. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.:Стандартинформ, 2007. – 6 с.

55. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2018. – 179 с.
56. ПУЭ СО 153-34.20.120–2003. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М., 2003. – 330 с.
57. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
58. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты – М.: Стандартиформ 2019. – 20 с.
59. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М: Стандартиформ, 2006. – 64 с.
60. ГОСТ Р 55878-2013. Спирт этиловый технический гидролизный ректифицированный. Технические условия. – М.:Стандартиформ, 2014. – 18 с.
61. СНиП 23–05–95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России, 1995.
62. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
63. ГОСТ 12.4.016-83 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная защитная. Номенклатура показателей качества.
64. ГОСТ 12.4.041 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования.
65. ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
66. Инструкция по электробезопасности персонала 1 группы допуска. ИФПМ ТНЦ СО РАН. – 2013.
67. ГОСТ 12.1.030–81. Защитное заземление, зануление.
68. ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

69. Инструкция по охране труда при работе с баллонами со сжатыми газами. ИФПМ ТНЦ СО РАН. – 2013.
70. Инструкция по охране труда при работе с порошками, предназначенными для горячего изостатического прессования. ИФПМ ТНЦ СО РАН. – 2013.
71. ГОСТ 17.1.3.06–82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.
72. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
73. ГН 2.1.5.2280-07 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно- бытового водопользования
74. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве Минздрав России.
75. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве Минздрав России.
76. Главное Управление МЧС по Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://70.mchs.gov.ru/>
77. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. – М.: Стандартиформ, 2014. – 124 с.