

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

Институт Физики Высоких Технологий
Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Кафедра Наноматериалов и Нанотехнологий

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Свойства керамики В₄С, полученной методом Spark Plasma Sintering из наноструктурированных порошков

УДК 621.762 .5:661.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Данченко Владимир Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Хасанов Алексей Олегович			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Наноматериалов и нанотехнологий	Хасанов Олег Леонидович	д.т.н		

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

Институт Физики Высоких Технологий
Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Кафедра Наноматериалов и Нанотехнологий

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Хасанов О.Л.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Б22	Данченко Владимир Александрович

Тема работы:

Свойства керамики B_4C , полученной методом Spark Plasma Sintering из наноструктурированных порошков	
Утверждена приказом директора ИФВТ	Приказ №2598/с от 05.04.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследование керамических образцов на основе карбида бора, полученных методом SPS.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор основных способов получения консолидированных изделий. 2. Характеризация порошковых смесей производства ПИХТ. 3. Модельная оптимизация гранулометрического состава синтезированных порошков. 4. Исследование полученных образцов. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность.

Перечень материала	графического	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна	
Социальная ответственность	Назаренко Ольга Брониславовна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
1. Обзор литературы; 2. Расчет и аналитика; 3. Результаты проведенного исследования; 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 5. Социальная ответственность.		

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Хасанов Алексей Олегович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Данченко Владимир Александрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит 94 с., включает в себя 30 рис., 20 табл., 40 источников.

Ключевые слова: искровое плазменное спекание, керамика, карбид бора, микроструктура, микротвердость, трещиностойкость.

Объектом исследования являются керамические модельные образцы из карбида бора, полученные методом спарк-плазменного спекания из порошковых смесей производства ООО «Полигон инновационных химических технологий» (ПИХТ) (г. Дзержинск). Данные порошковые смеси – это продукт, полученный из промышленных отходов производства предприятия «Дзержинский опытный завод авиационных материалов», содержащий карбид бора. На основе данного сырья комбинированным химическим и механическим способом были получены высококачественные порошковые смеси карбида бора с содержанием нанодобавки от 5 до 15 мас. %.

Целью работы является получение керамики на основе карбида бора методом спекания в плазме искрового разряда и изучение ее физико-механических свойств.

В процессе исследования проводилась характеристика порошковых смесей производства ПИХТ, модельная оптимизация гранулометрического состава синтезированных порошков, изучение прочностных характеристик полученной керамики.

В результате исследования было изучено влияние параметров процесса спекания в плазме искрового разряда: максимальной температуры и давления прессования на физико-механические свойства спеченных керамических образцов. Анализ полученных зависимостей позволил определить оптимальные параметры спекания для получения образцов с высоким сочетанием показателей плотности, микротвердости и трещиностойкости.

Область применения керамики: высокая прочность химической связи позволяет использовать полученную керамику в качестве легкой брони.

Данное научное исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности, также является экономически обоснованным и будет востребовано на рынке.

Оглавление

Введение.....	8
1. Обзор литературы	10
1.1 Карбид бора – перспективный конструкционный материал	10
1.2 Способы получения консолидированного изделия	12
1.2.1 Спекание без давления.....	13
1.2.2 Горячее прессование	14
1.2.3 Искровое плазменное спекание	15
1.3 Сопоставление и сравнение данных	19
2. Методика экспериментов.....	22
2.1 Определение распределения частиц по размерам методом лазерной дифракции.....	22
2.2 Подготовка графитовой пресс-формы к эксперименту.....	23
2.3 Подготовка порошковой навески.....	24
2.4 Спарк-плазменное спекание керамических образцов	25
2.5 Определение плотности спеченных образцов	26
2.6 Определение микротвердости	27
2.7 Определение трещиностойкости	28
2.8 Рентгенофазовый анализ.....	28
2.9 Изучение микроструктуры образцов.....	30
3. Результаты проведенного исследования	31
3.1 Характеризация порошковых смесей производства ПИХТ	31
3.2 Модельная оптимизация гранулометрического состава синтезированных порошков.....	37
3.3 Плотность образцов.....	45
3.4 Плотность и параметры пористости керамики.....	47
3.5 Исследование примесных элементов в керамике	50
3.6 Микротвердость.....	53
3.7 Трещиностойкость.....	54
Выводы по разделу.....	56
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	58
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	58
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	59

4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	59
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	61
4.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	61
4.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	65
4.3.1	Расчет материальных затрат.....	65
4.3.2	Основная заработная плата исполнителей темы.....	67
4.3.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	68
4.3.4	Накладные расходы.....	69
4.3.5	Формирование бюджета затрат проекта	69
4.4	Определение ресурсной и финансовой эффективности исследования ..	70
5.	Социальная ответственность	75
5.1	Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	75
5.1.1	Микроклимат	76
5.1.2	Вредные вещества	77
5.1.3	Освещение.....	78
5.1.4	Шум	80
5.2	Анализ опасных факторов производственной среды	81
5.2.1	Пожарная безопасность	81
5.2.2	Механическая опасность	82
5.2.3	Электробезопасность	82
5.3	Экологическая безопасность	84
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
5.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	85
	Заключение	87
	Список сокращений и условных обозначений.....	88
	Список публикаций.....	89
	Список используемой литературы	90

Введение

Актуальность работы

Одним из основных материалов для изготовления изделий, устойчивых к различным видам механического износа является керамика на основе карбида бора, в виду его привлекательных свойств, таких как: тугоплавкость, легкость, химическая инертность, высокая твердость (является третьим материалом по твердости после алмаза и нитрида бора при комнатной температуре) [1, 2].

Распространенным методом изготовления керамических изделий из карбида бора на данный момент является метод горячего прессования. Однако, этот метод не позволяет спекать наноструктурную керамику, так как процесс спекания происходит при высоких температурах (около 2000 °С) на протяжении длительного времени (время спекания достигает нескольких часов), что приводит к существенному росту зерен (более 10 микрон) и не позволяет реализовать потенциал субмикронного состояния зёрненной структуры для достижения высоких физико-механических свойств керамики.

В последнее время активно развивается и используется метод спарк-плазменного спекания (SPS) порошковых материалов. Этот метод спекания перспективен для консолидации наноструктурной керамики на основе карбида бора, которая приобретает комплекс более высоких физико-механических свойств, чем крупнозернистая керамика. Вследствие этого, исследования и разработки керамики на основе карбида бора является актуальными [3].

Объектом исследования являются керамические модельные образцы из карбида бора, полученные методом спарк-плазменного спекания из порошковых смесей производства ООО «Полигон инновационных химических технологий» (ПИХТ) (г. Дзержинск). Данные порошковые смеси – это продукт из промышленных отходов производства «Дзержинского опытного завода авиационных материалов», содержащие карбид бора. На основе данного сырья комбинированным химическим и механическим способом были получены

высококачественные порошковые смеси карбида бора с содержанием нанодобавки от 5 до 15 мас. %.

Целью работы является получение керамики на основе карбида бора методом спарк-плазменного спекания и изучение ее физико-механических свойств.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Характеризация порошковых смесей карбида бора.
2. Модельная оптимизация гранулометрического состава используемых порошковых смесей.
3. Спарк-плазменное спекания порошковых смесей при различных режимах.
4. Изучение влияния параметров синтеза на физико-механические характеристики полученных образцов.
5. Анализ полученных результатов.

1. Обзор литературы

1.1 Карбид бора – перспективный конструкционный материал

Карбид бора (B_4C) – химическое соединение бора с углеродом. Карбид бора является одним из самых химически стойких веществ, однако в химической промышленности практически не используется из-за технологических трудностей получения изделий больших размеров и сложной формы на его основе. Процесс окисления начинается при температуре $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Интенсивное окисление начинается при температурах выше $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда оксидная пленка B_2O_3 интенсивно испаряется [4].

Также карбид бора сочетает в себе высокую твердость ($49,1\text{ ГПа}$) и низкую плотность ($2,52\text{ г/см}^3$), обладает высокой износостойкостью. Значения прочности на изгиб карбида бора находятся в диапазоне $300\text{--}500\text{ МПа}$, прочности на сжатие $1\text{--}2\text{ ГПа}$; прочность выше у образцов с малым размером зерен. Температура плавления карбида бора $2350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обычно, трещиностойкость K_{Ic} изделий из этого материала равна $3,7\text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$. Статический характер разрушения карбида бора подтвержден низким значением модуля Вейбулла (приблизительно равен 5). Прочность карбида бора сильно зависит от пористости [4].

Карбид бора остается кристаллом без видимого поверхностного повреждения и трещин при квазигидростатическом и негидростатическом сжатии до 50 ГПа . Однако негидростатические ударения имеют безусловно большой эффект на упругую стабильность карбида бора при высоком давлении. При давлении 19 ГПа происходит изменение объема гипотетической элементарной ячейки из-за изгиба цепи $C\text{--}B\text{--}C$ [5].

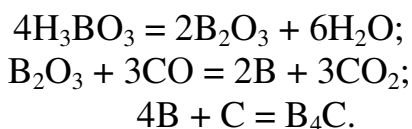
Получают карбида бора несколькими методами: восстановлением из борной кислоты или оксида бора, либо из оксида бора с магнием [4].

Борная кислота (H_3BO_3) и оксид бора (B_2O_3), являются недорогим сырьем, способным восстанавливать углерод, получая карбид бора [6; 7; 8].

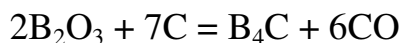
Реакции с борной кислотой можно представить в следующем виде:



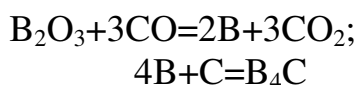
Данная реакция проходит в три шага:



Реакция с оксидом бора имеет следующий вид:



Данный процесс эндотермический с $\Delta H = 1812$ кДж/моль и проходит в два этапа [9]:



Из способов получения карбида бора наибольший интерес представляет магниетермический. Процесс основан на реакции:



Благодаря высокой износостойкости карбид бора, применяется для изготовления шлифовальных и режущих кругов, режущих элементов буровых коронок, пескоструйных сопел, фильер, правильных шарошек, нитеводителей, фильтров для текстильной и химической промышленности, инденторов для измерения горячей твердости, выдувных отверстий, сварочных электродов, а также при изготовлении трудно заменяемых деталей – колец, калибров, вкладышей.

Карбид бора широко применяется в качестве поглощающего материала органов регулирования ядерных реакторов различного типа [10].

Высокая прочность химической связи позволяет использовать карбид бора в качестве легкой брони, поскольку при очень быстром механическом взаимодействии пули с броней, большая часть кинетической энергии тратится на разрыв химической связи. Следует отметить, что, несмотря на все высокие прочностные свойства, карбид бора является хрупким материалом. Однако, при высокой скорости нагружения, например, в случае взрывного удара, когда эта скорость превышает скорость движения дислокаций в металле, пластические

свойства металлов не будут играть никакой роли и металл будет таким же хрупким, как и керамика. В этом конкретном случае керамика (в том числе и карбид бора) существенно прочнее металла. Именно поэтому, разработка базовых технологий изготовления броневых конструкций на основе карбида бора является одним из основных направлений совершенствования средств индивидуальной и коллективной бронезащиты, позволяющих существенно повысить уровень защитных и эксплуатационных свойств [11; 12].

1.2 Способы получения консолидированного изделия

Существует множество методов спекания керамики. Основными являются: традиционно используемые – горячее прессование или спекание без давления; перспективным – метод спарк-плазменного (или искрового плазменного) спекания.

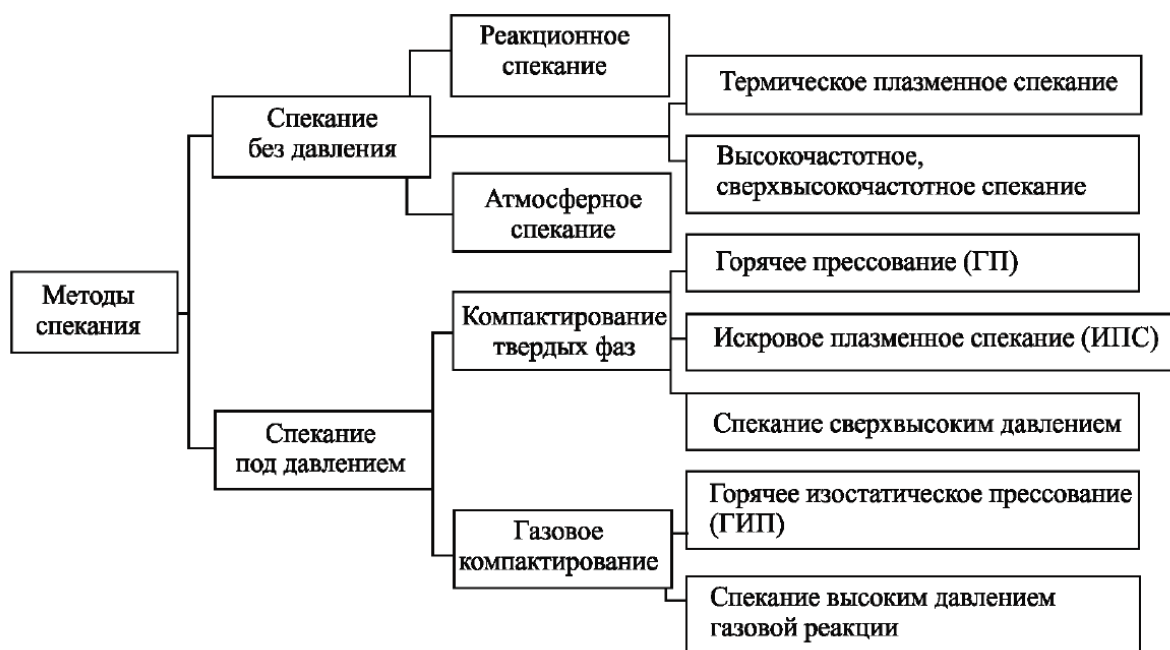


Рисунок 1 - Классификация методов спекания [13]

1.2.1 Спекание без давления

Спекание без давления является наиболее простой технологией получения изделий, заключающейся в нагреве порошкового материала в муфельных печах. Недостатком такой технологии является отсутствие возможности приложения давления к спекаемому материалу в процессе спекания, в результате чего материал может обладать остаточной пористостью [13].

При рассмотрении процесса спекания без давления через изменение морфологии образцов (рисунок 2), видно, что при спекании при температуре 2050 °С зерна укрупняются. При увеличении температуры спекания до 2150 °С происходит увеличение перешеек в размерах, несмотря на достаточно большую пористость образца (порядка 22%). Также следует отметить, что при температуре спекания 2150 °С пористость остается постоянной, в то время как размер зерна увеличивается. Это явление может быть объяснено сильными ковалентными связями карбида бора и предельной самодиффузией в результате низкой спекаемости [14; 15].

В статье [16], в таблице 1 видно, что полностью плотное изделие из чистого карбида бора получить невозможно. Относительную плотность в области 90-93 % можно получить при размере частиц порошка < 1 мкм и температуре спекания 2375 °С. Также в работе показано как положительное, так и отрицательное влияние добавок различной природы на полученную относительную плотность спеченного изделия. Так, например, 5 мас.% добавка TiB_2 привела к снижению плотности с 90 % до 82 %, в то время как добавка ZrO_2 в том же массовом количестве привела к увеличению плотности до 93 %.

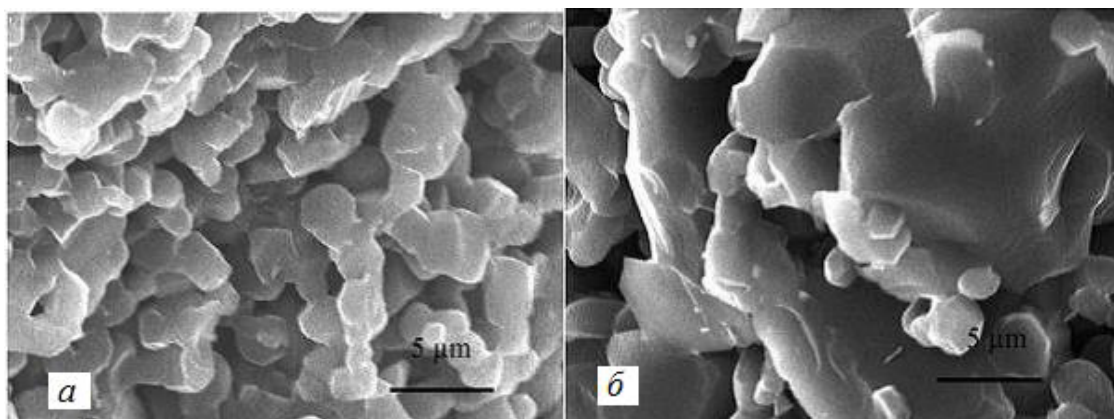


Рисунок 2 – СЭМ-изображение образцов, полученных после спекания без давления при температурах: *a* – 2050 °С, *б* – 2150 °С

Таблица 1 – Зависимость плотности от температуры

Размер частиц, мкм	Температура спекания, °С	Относительная плотность, %
2	2275	80
	2325	85
	2375	87
0,8	2300	87
	2325	88
	2375	93
0,5	2275	81
	2300	85
	2375	90

1.2.2 Горячее прессование

Один из перспективных на данный момент методов формирования порошковых материалов, является метод горячего прессования. Горячее прессование представляет собой процесс получения изделий путем спекания порошков с одновременным приложением внешнего давления. Недостатком метода является низкая производительность и энергоемкость, что существенно сказывается на себестоимости продукции. Кроме того, высокая температура и длительность процесса горячего прессования не позволяют сохранить размер

зерна на субмикронном уровне, что негативно отражается на комплексе прочностных свойств изделия, оптимальном сочетании твёрдости и трещиностойкости [17].

Однако у данного метода есть преимущества перед методом спекания без давления. В работе [16] представлен сравнительный анализ этих двух методов. На рисунке 3 представлены РЭМ-изображения поверхности керамики, полученной этими двумя способами.

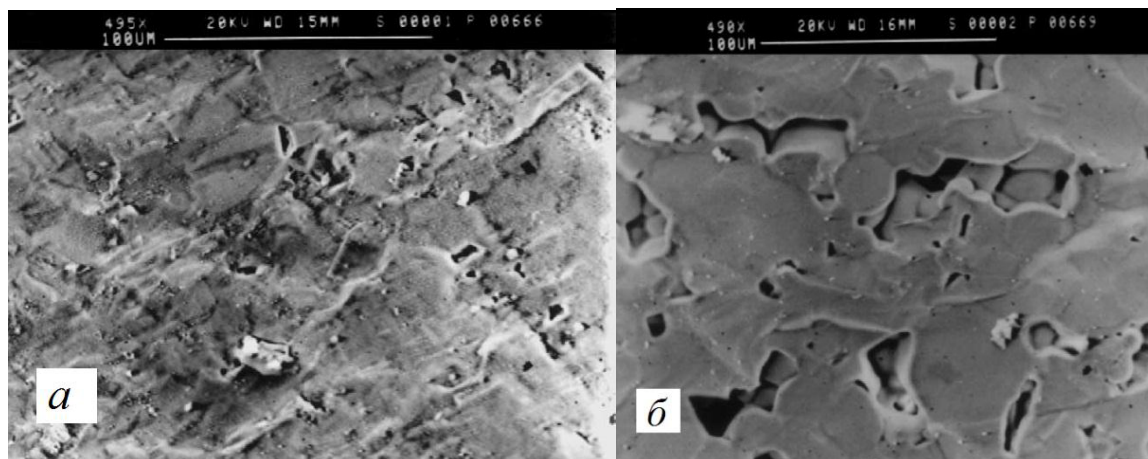


Рисунок 3 – РЭМ-изображение поверхности керамики, полученной: *а* – методом горячего прессования, *б* – методом спекания без давления

На рисунке 3(*а*) представлено РЭМ-изображение поверхности керамики полученной методом горячего прессования при температуре 1900 °С и давлении прессования 35 МПа, где значение плотности составило 96 % от теоретической плотности. В то время как, керамика, представленная на рисунке 3(*б*), полученная с помощью спекания без давления при температуре спекания 2375 °С, значение плотности составило 93 % от теоретической плотности.

Также видно, что образец спеченный методом горячего прессования имеет поры намного меньшего размера, чем у образца, спеченный без давления.

1.2.3 Искровое плазменное спекание

Спарк-плазменное спекание (от англ. Spark Plasma Sintering (SPS)), также известное как искровое плазменное спекание [18] является многообещающей

технологией консолидации порошковых материалов. Также данный метод известен как: Field Assisted Sintering Technology (FAST), Electroconsolidation, High Energy High Rate Processing (HEHR), Plasma Assisted Sintering (PAS) [19].

Впервые работа, в которой использовался постоянный электрический ток для нагрева порошка твердого сплава в процессе горячего прессования была опубликованная в 1899 году [20, 21]. В 1944 году G.D. Cremer стал первым, кто использовал переменный ток промышленной частоты (60 Гц) совместив его с механическим давлением [22].

Технология основана на модифицированном методе горячего прессования, в котором электрический ток подается не на внешний нагреватель, а напрямую пропускается через пресс-форму и заготовку. Благодаря пропусканию импульсного электрического тока и возникающему при этом «эффекту плазмы разряда» удастся реализовать исключительно быстрый предварительный нагрев и кратковременные циклы [23].

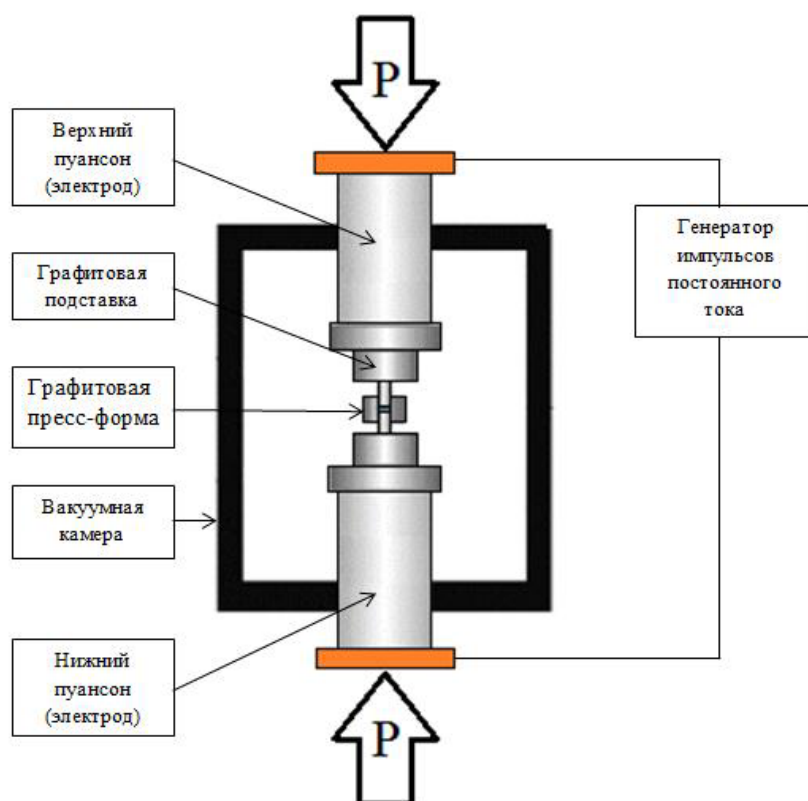


Рисунок 4 – Схематическое изображение установки spark plasma sintering

В результате можно подавить рост зерна и возникновение равновесных состояний, что позволяет получить материалы с ранее недостижимой композицией и свойствами, а также материалы в субмикронном или наномасштабном диапазоне, или композиты с уникальным или необычным составом [23].

Данный метод позволяет получать плотные беспористые образцы за короткий промежуток времени (менее 10 минут) и обеспечивать высокую повторяемость результатов благодаря возможности контроля процесса спекания. Также благодаря высокой скорости нагрева и охлаждения материала происходит преобладание процессов уплотнения над диффузионными механизмами роста зерна, благодаря чему образцы обладают высокой относительной плотностью, малыми размерами зерен, а также низким содержанием примесей, которые удаляются с поверхности во время спекания [24].

В работе [25] авторами была рассмотрена зависимость относительной плотности спеченной керамики на основе карбида бора, от температуры спекания (выдержка в течении 3 минут, скорость нагрева 100 °С/мин). Из рисунка 5 видно, что высокая плотность керамики (более 95 % от теоретической) была получена при температурах свыше 1500 °С. Наибольшей относительной плотностью – 98,32 % обладала керамика спеченная при 1600 °С. Однако, повышение температуры спекания с 1500 °С до 1600 °С не дало значительного прироста плотности.

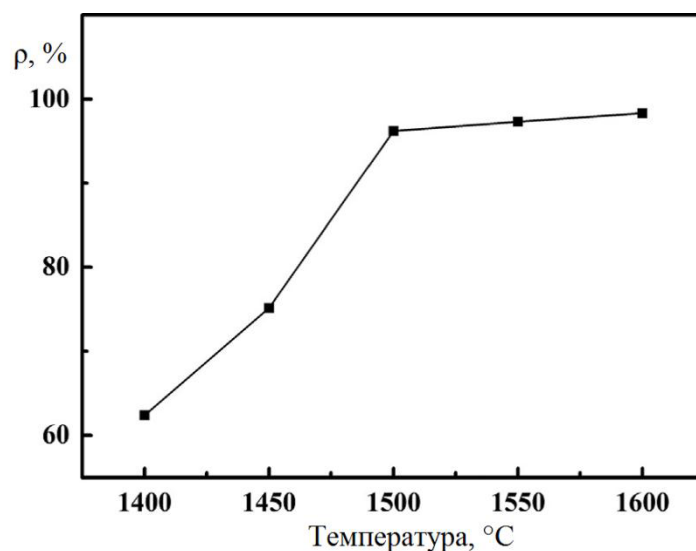


Рисунок 5 – Зависимость относительной плотности керамики от температуры спекания

На рисунке 6 представлены РЭМ-изображение полированной поверхности керамики на основе карбида бора, полученной методом спарк-плазменного спекания, при различных температурных режимах. Из рисунков видно, что при температурах спекания 1400 °C и 1450 °C образцы имеют большое количество пор, а при температурах 1550, 1550, 1600 °C количество пор незначительно.

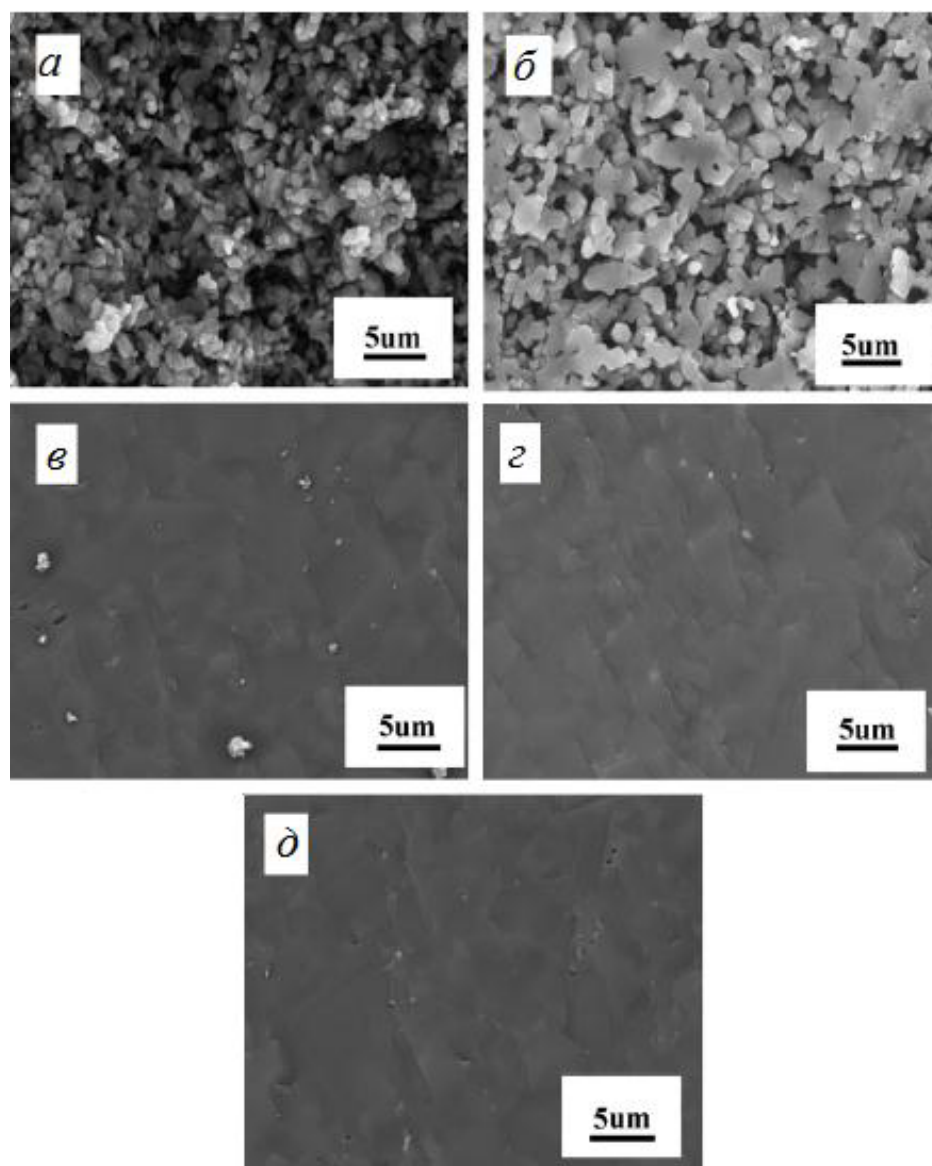


Рисунок 6 – РЭМ изображения полированной поверхности керамики на основе карбида бора: *a* – 1400 °C, *б* – 1450 °C, *в* – 1500 °C, *г* – 1550 °C, *д* – 1600 °C

1.3 Сопоставление и сравнение данных

В работе [26] авторами проведено сравнение физико-механических характеристик керамики на основе B_4C , полученных методом свободного спекания, горячего прессования и методом SPS, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства и микроструктура эвтектической системы B_4C-TiB_2-SiC

Свойства	Свободное спекание	Горячее прессование	SPS - спекание
Температура спекания, °C	2150	2050	1700
Средний размер зерен, мкм	2,5	2,1	1,9
Плотность, %	98,0	98,0	98,5
Прочность при изгибе, МПа	350-420	320-410	-
Твердость по Виккерсу при нагрузке 5 кг, ГПа	38-40	38-40	37-39
Трещиностойкость, МПа·м ^{1/2}	6,5-7,5	4,0-5,5	4,5-5,5

Также в работе [27] авторами были изучены свойства керамики B_4C , SiC , полученных методом SPS при температуре спекания 1980 °C и давлением прессования 60 МПа (таблица 3).

Таблица 3 – Свойства керамик B_4C и SiC , полученных методом SPS

Образец	Плотность ρ , г/см ³	Относительная Плотность, %	Модуль Юнга E, ГПа
B_4C	2,486	98,8	413
$SiC-AlN-C$	3,133	98,5	366
$SiC-5 \text{ мас.}\% B_4C-ZrO_2$	3,208	98,7	460

В работе [28] авторы получили методом SPS керамику на основе SiC (при температуре спекания 1830 °C) $SiC+3Y_2O_3 \cdot 5Al_2O_3$, (при температуре спекания 1760 °C). Образцы на основе карбида и нитрида кремния спеченные методом SPS обладали высокими механическими свойствами (таблица 4).

Авторами был сделан вывод, что плотность SiC -материалов полученных методом SPS составила $\rho_{отн} = 88,3 \%$, в то время как для таких же материалов, полученных методом свободного спекания, относительная плотность составляла не более 80 % от теоретической.

Таблица 4 – Свойства керамики на основе SiC, полученной методом SPS

Состав	Относительная Плотность, %	$H_v(\pm 0,4)$, ГПа	$K_{Ic}(\pm 0,2)$, МПа·м ^{1/2}	$\sigma_{изг}(\pm 15)$, МПа	Е, ГПа
SiC	88,3	-	-	180	120
SiC+3Y ₂ O ₃ ·5Al ₂ O ₃	98,2	20,8	5,2	450	360

Проанализировав статьи можно сделать вывод, о том, что варьируя параметры спекания SPS процесса, и добавлением различных добавок можно легко добиться высоких физико-механических свойств керамики, что невозможно осуществить так легко другими методами. К тому же достижение той же плотности, что и, например, методом горячего прессования, осуществляется с более низкими параметрами спекания, что существенно облегчает сам процесс получения изделия.

2. Методика экспериментов.

2.1 Определение распределения частиц по размерам методом лазерной дифракции

Для определения распределения частиц по размерам был использован Анализатор частиц Shimadzu SALD-7101 (рисунок 7)



Рисунок 7 - Общий вид прибора Shimadzu SALD-7101

Принцип действия

Определение распределения частиц по размерам методом лазерной дифракции основано на измерении углового распределения интенсивности рассеянного света при прохождении лазерного луча через диспергированный образец. Крупные частицы преимущественно рассеивают свет под малыми углами к лазерному пучку, тогда как мелкие частицы - под большими углами. С использованием теории светорассеяния Ми определяют размеры частиц, формирующих индикатрису рассеяния, совпадающую с измеренными данными

об угловой зависимости интенсивности рассеянного света. Размер частиц выражается в виде диаметра сферы эквивалентного объема.

Оптические свойства

В лазерной дифракции расчет распределения частиц по размерам производят по теории светорассеяния Ми с использованием модели сферы эквивалентного объема.

Теория Ми требует знания оптических свойств (коэффициента преломления и поглощения) измеряемого образца, равно как и коэффициента преломления дисперсанта. Оптические свойства дисперсанта, относительно, легко найти в публикациях, к тому же многие современные приборы имеют встроенные базы данных распространенных дисперсантов. Если оптические свойства образцов неизвестны, пользователь может либо измерить их, либо воспользоваться итеративным подходом, исходя из совпадения между смоделированными и фактическими данными, полученными для образца.

2.2 Подготовка графитовой пресс-формы к эксперименту

Для спарк-плазменного спекания образцов из порошков карбида бора использовалась графитовая пресс-форма, так как именно она обладает наилучшими характеристиками для спекания:

Электропроводность - при повышении температуры электропроводность увеличивается. В связи с этим температурный коэффициент сопротивления графита, в отличие от металлов, для графита отрицателен.

Теплопроводность - теплопроводность у графита выше, чем у многих металлов, и уменьшается по мере повышения температуры. Теплопроводность графита зависит от конечной температуры обработки.

Термостойкость - Графит не плавится, а сублимирует при температуре ~ 3900 °K и выдерживает резкие перепады температур.

Механическая прочность - Прочность графита при растяжении, сжатии и изгибе повышается при подъеме температуры до 2700 °K, и только после этого начинает снижаться. Этим графит резко отличается от других материалов; его прочность при 2700 °K примерно в 2 раза выше, чем при комнатной температуре.

Для спекания образцов использовалась графитовая пресс-форма следующих размеров: диаметр равен 15,2 мм, высота – 30 мм; диаметр пуансонов равен 15 мм, высота – 30 мм.

2.3 Подготовка порошковой навески.

В качестве образцов использовались таблетки цилиндрической формы с размерами: диаметр 15 мм, высота 2÷3 мм. Предполагая, что спеченный образец должен быть 100 % плотным (т.е. достигать теоретическую плотность) и задавая требуемые геометрические размеры, масса порошковой навески определялась по формуле 1:

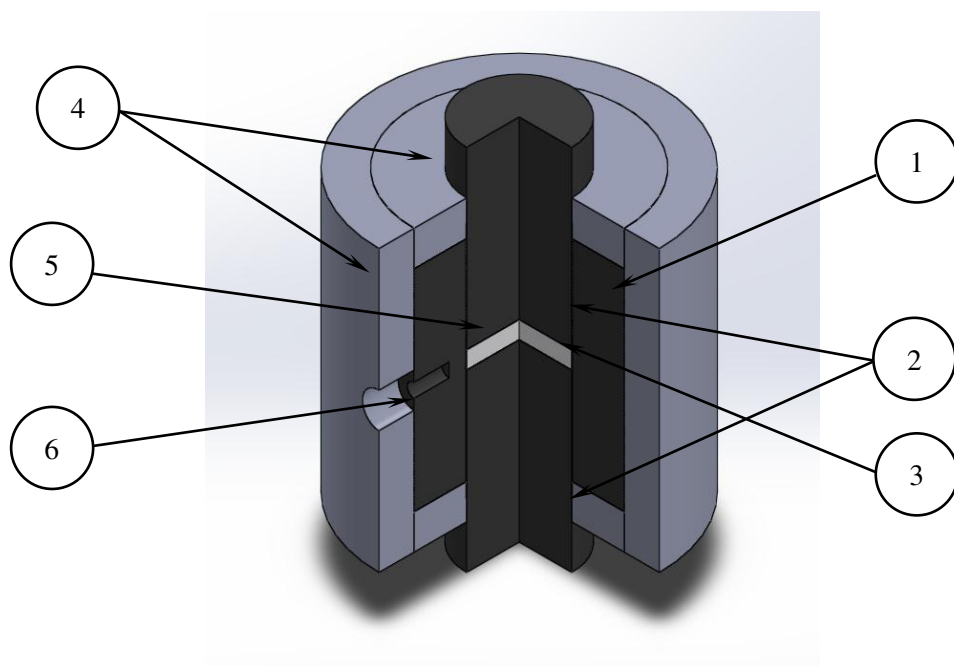
$$\rho = \frac{m_{нав}}{S_{пов} \cdot h} \Rightarrow m_{нав} = \rho \cdot S_{пов} \cdot h \quad (1)$$

где, ρ – плотность образца, г/см³, равная 100 % от теоретической; $m_{нав}$ – масса навески, г; $S_{пов}$ – площадь поверхности образца, см²; h – высота образца, см.

Порошковую навеску помещали в полость пресс-формы и закрывали вторым пуансоном рисунок 8.

2.4 Спарк-плазменное спекание керамических образцов

Для контроля температуры на поверхности пресс-формы имеется специальное углубление (6) для контроля температуры. Для минимизации тепловых потерь от излучения во время нагревания пресс-формы использовали графитовый войлок (4), окутывающий все внешние поверхности пресс-формы с отверстием для свободного контакта термопары с поверхностью. Для исключения возможности припекания засыпаемого порошка к внутренним формообразующим поверхностям, в зазор между пресс-формой и пуансонами помещалась графитовая прокладка (5). Также использовались графитовые прокладки на формообразующих торцах пуансонов. Сборка графитовой пресс-формы изображена на рисунке 8.



1 – пресс-форма; 2 – пуансоны; 3 – образец; 4 – графитовый войлок; 5 – графитовая прокладка; 6 – углубление для термопары [29].

Рисунок 8 – Графитовая пресс-форма в сборке в войлоке с образцом

Пресс-форму в сборе помещали в рабочую камеру установки SPS, затем в камере создавался вакуум (остаточное давление 10-20 Па). Для надежного

контакта токоведущих поршней-толкателей установки и элементов пресс-формы, к последним прикладывалось минимальное начальное усилие в 3 кН. На панели управления установкой задавались параметры спарк-плазменного спекания: усилие подпрессовки; температурный режим (температура спекания, °C; скорость нагрева, °C/мин; другие условия изменения режимов и временных выдержек). В процессе спекания контролировались и записываются в режиме реального времени 6 параметров: перемещение пуансонов (мм), усилие прессования (кН); температура (°C); сила тока (А); напряжение (В); остаточное давление в вакуумной камере (Па) [29].

Режимы спекания:

- Температура спекания 1850, 1950, 2050 °C.
- Выдержка при температуре спекания 5 мин.
- Давление подпрессовки 17 МПа, 30 МПа.

Такие режимы синтеза выбраны на основе проведенного аналитического обзора литературы (раздел 1), из которого установлено, что спекание керамики на основе карбида бора возможно при температурах не менее 1800 °C и давления прессования 10 МПа.

2.5 Определение плотности спеченных образцов

Определение плотности образцов проводилась геометрическим методом, путем прямого измерения линейных размеров образца цифровым толщиномером Mitutoyo ID F-150 с точностью 0,001 мм и массы образца на цифровых весах ВЛТЭ-150 с точностью 0,001 г. Для минимизации погрешностей измерений поверхности образцов предварительно были отполированы на установке Buehler EcoMet 300 Pro.

Каждый параметр необходимый для расчета плотности образца, измерялся три раза и усреднялся. Далее плотность образцов, спеченных спарк-плазменным спеканием, определялась по формуле 2.

$$\rho = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2 \cdot h} \quad (2)$$

где, ρ – плотность образца, г/см³; m- масса образца, г; d- диаметр образца, см; h- высота образца, см.

2.6 Определение микротвердости

Существует несколько способов измерения твёрдости, различающихся по характеру воздействия наконечника. Твёрдость можно измерять вдавливанием наконечника (способ вдавливания), царапанием поверхности (способ царапания), ударом или же по отскоку наконечника.

В данной работе микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3М путем вдавливания алмазной пирамидки Виккерса [30].



Рисунок 9 – Общий вид прибора ПМТ-3М для определения микротвердости

В результате вдавливания поверхностные слои материала, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остаётся отпечаток, диагонали которого измеряются и применяются в расчётах микротвёрдости.

Метод измерения твёрдости по Виккерсу заключается во вдавливании в материал алмазной четырёхгранной пирамиды с углом при вершине между противоположными гранями 136° .

Для определения микротвёрдости было сделано по три укола от центра образца к периферии.

Для расчёта микротвёрдости по Виккерсу H_V используется формула (3)

$$H_V = \frac{1.854P}{d^2}, \quad (3)$$

где, P – нагрузка на индентор, d – среднее арифметическое длин обеих диагоналей после снятия нагрузки, k – коэффициент, зависящий от формы индентора и для пирамиды Виккерса равный 1,854.

2.7 Определение трещиностойкости

Определение трещиностойкости K_{Ic} проводилось методом Ниихары [31] измерением линейных размеров радиальных трещин, возникающих вблизи отпечатка индентора, по формуле 4, в которой учитываются упругие и прочностные характеристики исследуемого материала.

$$K_{Ic} = 0,048 \cdot \left(\frac{l}{a}\right)^{-0,5} \cdot \left(\frac{H_v}{E\Phi}\right)^{-0,4} \cdot \frac{H_v \cdot a^{0,5}}{\Phi} \quad (4)$$

где E – модуль Юнга, ГПа; H_v – микротвёрдость, ГПа; P – нагрузка на индентор, кг; l – длина трещины от угла отпечатка пирамиды Виккерса, мкм; a – полудиagonal отпечатка, мкм; Φ – константа ($\Phi=3$).

2.8 Рентгенофазовый анализ

Исследования методом РФА проводились на установке Shimadzu XRD 7000 (Япония). Принципиальная схема дифрактометра показана на рисунке 10

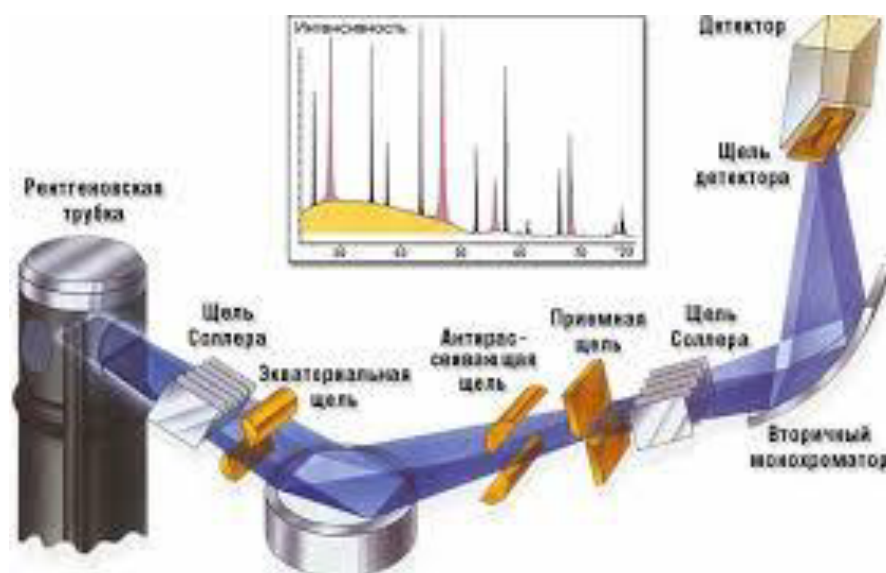


Рисунок 10 - Принципиальная схема дифрактометра [32]

В основу РФА положено явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке. При этом интенсивные пики рассеяния наблюдаются тогда, когда выполняется условие Вульфа —Брэгга:

$$2d \cdot \sin 2\theta = n\lambda \quad (5)$$

где d – расстояние между соседними кристаллографическими плоскостями, м; θ – угол, под которым наблюдается дифракция, град.; n – порядок дифракции; λ – длина волны монохроматических рентгеновских лучей, падающих на кристалл, м.

Это система точной установки и отслеживания угла излучения по отношению к поверхности образца. Одно плечо гониометра задает угол облучения образца рентгеновской трубкой, другое определяет угол брэгговского отражения излучения от образца (детектируемый сигнал). Детектор непрерывно во времени движения (при изменении угла) регистрирует интенсивность рентгеновского излучения. Остальные части оптической схемы дифрактометра придают излучению такие свойства, чтобы оптимизировать его для решения тех или иных задач дифрактометрических исследований [32].

2.9 Изучение микроструктуры образцов

Изучение микроструктуры образцов проводилась посредством метода электронной микроскопии на сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss LEO EVO 50 (ИФПМ СО РАН, г. Томск).

Электронная микроскопия позволяет достичь наибольшего разрешения из всех доступных методов исследования. Существует два отдельных направления электронной микроскопии: сканирующая (растровая) микроскопия (РЭМ, СЭМ, SEM), используемая для толстых образцов и просвечивающая микроскопия (ПЭМ, TEM), работающая с тонкими срезами биологических объектов. РЭМ последовательно сканирует поверхность электронно-плотного объекта, регистрируя для каждой его точки такие процессы, как генерация обратно рассеянных электронов, вторичных электронов, характеристического рентгеновского излучения, катодолюминисценции. ПЭМ получает изображение за счёт рассеивания электронов проходящих сквозь тонкий образец, по аналогии с оптическим микроскопом, объект в котором поглощает и рассеивает свет.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б22	Данченко Владимир Александрович

Институт	ИФВТ	Кафедра	Наноматериалов и нанотехнологий
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	При проведении исследования используется база лабораторий НИИ ТПУ; в исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель. Стоимость ресурсов научного исследования: 22,2 млн рублей; себестоимость 2,3 млн рублей
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Потенциальные потребители результатов исследования
2. Разработка устава научно-технического проекта	- Разработка устава не требуется
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риск и организация закупок	- Планирование научно-исследовательских работ (определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИ). - Формирование бюджета НИИ
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение ресурсной и финансовой эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
2. График проведения и бюджет НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б22	Данченко Владимир Александрович		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Темой дипломного проекта является «Свойства керамики B_4C полученной методом SPS из наноструктурированных порошков»

Цель работы – достижение высоких физико-механических свойств керамики на основе карбида бора.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Керамика на основе карбида бора обладает высокими физико-механическими свойствами, что делает ее привлекательным материалом для создания шлифовальных и режущих кругов, режущих элементов буровых коронок, пескоструйных сопел, фильер, правильных шарошек, нитеводителей, фильтров для текстильной и химической промышленности, инденторов для измерения горячей твердости, выдувных отверстий, сварочных электродов, а также при изготовлении трудно заменяемых деталей – колец, калибров,

вкладышей. Основным использованием карбида бора является производство легкой брони.

Исследования, проводимые в данной выпускной работе, направлены на достижение высоких физико-механических свойств керамики на основе карбида бора, путем спекания методом SPS. Потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия по производству вышеперечисленных изделий. Поэтому можно сказать, что результаты представленного НТИ имеют инновационный и коммерчески потенциал.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 8 представлены этапы выполнения дипломной работы и исполнители, ответственные за тот или иной этап.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент-дипломник
	3	Проведение патентных исследований	Студент-дипломник

Продолжение таблицы 8

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	4	Выбор направления исследований	Руководитель, студент-дипломник
	5	Календарное планирование работ по теме	Студент-дипломник, руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Изучение исходных образцов	Студент-дипломник
	7	Моделирование плотной упаковки сфер	Студент-дипломник
	8	Подготовка порошковой навески	Студент-дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	9	Спекание образцов при различных параметрах	Студент-дипломник, руководитель
	10	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Студент-дипломник, руководитель
	12	Определение целесообразности проведения ОКР	Студент-дипломник, руководитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	13	Исследование механических свойств полученной керамики	Студент-дипломник
	14	Оценка эффективности исследования и применения полученных данных	Студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	15	Составление пояснительной записки, Сдача результатов НТИ	Студент-дипломник

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле (X)

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (7)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (8)$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (9)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (10)$$

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.

Для студента, обучающегося в ВУЗе в течении 10 месяцев в году и имеющего 2 месяца летних каникул, коэффициент календарности рассчитывается:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{303}{303 - 47 - 9} = 1,23 \quad (11)$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 9.

На основе таблицы 9 можно построить календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 9 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители, кол.	Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{min} , чел- дни		t_{max} , чел- дни		$t_{ож}$, чел- дни						
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Разработка технического задания	2		5		3		1	3		4	
Выбор направления исследований	15	3	30	10	21	6	2	21	6	26	7
Теоретические и эксперимент исследования	100	10	150	20	120	14	2	120	14	148	17
Обобщение и оценка результатов	14		21		17		2	9		11	
Разработка технической документации и проектирование	30		35		32		1	32		39	
Выбор направления исследований	25		30		27		1	27		33	

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Содержание работ	Должность исполнителя	Т _{кi} кал . дн	Продолжительность выполнения работ																
			янв			фев			мар			апр			май			июн	
			3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы	4																	
Подбор и изучение материалов по теме, проведение патентных исследований	Студент-дипломник	19																	
Выбор направления исследований	Студент-дипломник, руководитель	5/5																	
Календарное планирование работ по теме	Студент-дипломник, руководитель	2/2																	
Изучение исходных образцов	Студент-дипломник	7																	
Моделирование плотной упаковки сфер	Студент-дипломник	17																	
Подготовка порошковой навески	Студент-дипломник	3																	
Спекание образцов при различных параметрах	Студент-дипломник	60																	
Оценка эффективности полученных результатов	Студент-дипломник, руководитель	8/8																	
Исследование механических свойств полученной керамики	Студент-дипломник	30																	
Оценка эффективности исследования и применения полученных данных	Студент-дипломник	9																	
Составление пояснительной записки	Студент-дипломник	33																	

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- Материальные затраты НТИ;
- Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- Основная заработная плата исполнителей темы;
- Дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- Затраты научные и производственные командировки;
- Контрагентные расходы;
- Накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_M = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi} \quad (12)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, m^2 и т.д.); $Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ m^2 и т.д.).

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов. Под возвратными

отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 11

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Затраты на материалы, руб.
Сырье – карбид бора	кг	1	1450
УЗ ванна	шт.	1	1660
Весы аналитические	шт.	1	1500
Цифровой толщиномер	шт.	1	51560
SPS-оборудование	шт.	1	15млн.
СЭМ	шт.	1	3 млн.
Микротвердомер	шт.	1	46 тыс.
Шлифовально-полировочный станок	шт.	1	4 млн.
Итого			22204340

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату, также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (13)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p \quad (14)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.; $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} \quad (15)$$

где $З_m$ – 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:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (16)$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от $З_{тс}$); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $З_{тс}$); k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблицу 12

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{мс}$, руб	k_{np}	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.	$З_{зн}$, руб.
Руководитель	23264,9	0,3	0,2	1,3	45366,6	2020,3	91	183853,6	220624,4
Студент- дипломник	14874,5	0,3	0,2	1,3	29005,3	1291,7	211	272555,6	327066,8

4.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (17)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,5 %. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1 %. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата
Руководитель	220624,4
Студент-дипломник	327066,8
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Итого	59789 (для рук-ля)/88635 (для студ.)

4.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые расходы и т.д. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{\text{нр}} \quad (18)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16 %).

Величина накладных расходов по данному проекту составила 5996721 руб.

4.3.5 Формирование бюджета затрат проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно – технической продукции. Определение бюджета затрат на научно – исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	22204340
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	183853,67/272555,6
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	36770/54651
Отчисления во внебюджетные фонды	59789/88635
Накладные расходы	5996721
Бюджет затрат НТИ	24424774
Себестоимость	2220434

4.4 Определение ресурсной и финансовой эффективности исследования

Для определения эффективности исследования проведем сравнение методов спекания: метод SPS и метод горячего прессования.

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (19)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (20)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a , b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 15).

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1 (SPS)	Исп. 2 (ГП)
Удовлетворяет потребности потребителя	0,2	5	4
Энергосбережение	0,25	4	3
Надежность	0,3	4	4
Материалоемкость	0,25	4	4
ИТОГО	1		
I_{pi}		4,2	3,75

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} \quad (21)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки, позволит определить сравнительную эффективность научного исследования и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность указаны в таблице 16

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1 (SPS)	Исп. 2 (ГП)
1	Интегральный финансовый показатель	1,0	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,2	3,75
3	Интегральный показатель эффективности	4,2	3,82
4	Сравнительная эффективность проекта относительно исп. 1	1,0	0,9

Представленные в таблице 16 расчеты показывают, что, наиболее эффективным вариантом проектного решения, является метод SPS, который и был задействован в НТИ.

Вывод

В экономической части бакалаврской работы были решены следующие задачи: определены потенциальные потребители результатов исследования, составлен план научного исследования, разработан календарный план, рассчитан бюджет научного исследования, произведен расчет экономической эффективности и ресурсоэффективности данного исследования.

Исходя из полученных результатов вышеприведенного экономического обоснования, ряд задач, поставленные для осуществления цели данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнены. В целом данное научное исследование является перспективным и целесообразным с точки зрения ресурсоэффективности.

Данное научное исследование является также экономически обоснованным и будет востребовано на рынке.

Список сокращений и условных обозначений

СПС (SPS) – спарк-плазменное спекание.

РФА – рентгеновазовый анализ.

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия.

ОКР – область когерентного рассеяния.

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия.

РЭМ – растровая электронная микроскопия.

Список публикаций

1. Данченко В.А. Преимущества метода SPS при изготовлении композиционной керамики на основе карбида кремния по сравнению с традиционным методом // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: Сборник тезисов III Всероссийский конкурс научных докладов студентов, Томск, Тамбов, 26-27 МАЯ 2015. –Томск: ТПУ, 2015 – с.11

2. Данченко В.А. Актуально ли применение наноматериалов для диагностики заболеваний? // Функциональные материалы: разработка, исследование, применение: Сборник тезисов III Всероссийский конкурс научных докладов студентов, Томск, Тамбов, 26-27 МАЯ 2015. –Томск: ТПУ, 2015 – с.89