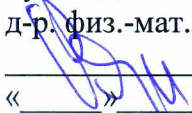
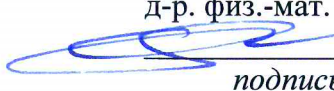


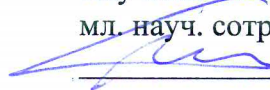
Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет
Кафедра теории прочности и проектирования

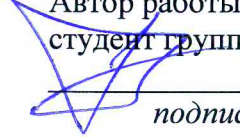
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ООП
д-р. физ.-мат. наук, профессор
 В.А. Скрипняк
« ____ » ____ 2019 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КЕРАМИК ZrO_2
и ZrO_2-ZrB_2 ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ УДАРНО-ВОЛНОВОГО
КОМПАКТИРОВАНИЯ

по основной образовательной программе подготовки бакалавров
направление подготовки 15.03.03 – Прикладная механика
Бурдуковский Владимир Николаевич

Руководитель ВКР
д-р. физ.-мат. наук, профессор
 С.Н. Кульков
подпись
« ____ » ____ 2019 г.

Научный консультант
мл. науч. сотр.
 А. С. Буяков

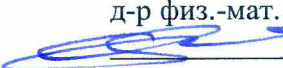
Автор работы:
студент группы №10502
 В.Н.Бурдуковский
подпись

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет
Кафедра прочности и проектирования

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. ПП

д-р физ.-мат. наук, профессор

 С. Н. Кульков

« ____ » _____ 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на подготовку выпускной квалификационной работы бакалавра

на тему

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КЕРАМИК ZrO_2
и ZrO_2-ZrB_2 ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ УДАРНО-ВОЛНОВОГО
КОМПАКТИРОВАНИЯ**

по основной образовательной программе подготовки бакалавров

направление подготовки

150303 – Прикладная механика

Бурдуковский Владимир Николаевич

Цель работы: исследование тонкой кристаллической структуры керамик на основе ZrO_2 и композиционного материала ZrO_2-ZrB_2 полученных методом ударно-волнового компактирования.

Техническое задание:

№	Наименование этапа работы
1.	Обзор научной литературы
2.	Исследование структуры керамических материалов ZrO_2 и ZrO_2-ZrB_2 методами рентгеноструктурного анализа, а также микроструктуры с помощью растрового электронного микроскопа
3.	Анализ полученных результатов

Дата представления законченной работы на кафедру: «10» июня 2019 г.

Научный руководитель:

д-р физ.-мат. наук, профессор

Задание принял к исполнению:

 С. Н. Кульков

 В. Н. Бурдуковский

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1.1 Диоксид циркония– ZrO_2	5
1.2 Получение диоксида циркония	7
1.3 Структурные модификации ZrO_2 – стабилизация диоксида циркония	8
1.4 Диборид циркония– ZrB_2	11
1.5 Получение диборида циркония	13
1.6 Спекание дисперсно–порошковых масс.....	14
1.7 Ударно – волновое компактирование.....	15
1.8 Фрактальная размерность	17
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	18
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА	20
3.1 Исследование тонкой кристаллической структуры ZrO_2 и ZrB_2	20
3.2 Расчет ОКР и микроискажений.....	24
3.3 Исследование микроструктуры.....	31
3.4 Измерение фрактальной размерности поверхности разрушения от длительности спекания.....	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	34
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	36

РЕФЕРАТ

Выпускная работа бакалавра изложена на 40 страницах, содержит 24 рисунка, 6 таблиц, 54 литературных источника.

Ключевые слова диоксид циркония, диборид циркония, композиционный материал, ударно-волновое компактирование, спекание.

Целью данной работы является исследование тонкой кристаллической структуры керамик на основе ZrO_2 и композиционного материала ZrO_2 - ZrB_2 полученных методом ударно-волнового компактирования.

В данной работе были проведены исследования структуры ZrO_2 и композиционного материала ZrO_2 - ZrB_2 после ударно-волнового компактирования и спекания при температуре 1600 °С методами рентгеноструктурного анализа, а также микроструктуры с помощью растрового электронного микроскопа.

ВВЕДЕНИЕ

Диоксид циркония – это материал, который обладает исключительным комплексом различных свойств: невысокой плотностью, хорошей прочностью и стойкостью к разрушениям, химической устойчивостью и выдержке к агрессивным средам, биологической совместимостью, износостойкостью и т.д. Эти уникальные по-своему значению свойства и определяют его широкое применение в различных сферах промышленности.

Диборид циркония – это тугоплавкое соединение, известное своими особыми характеристиками: высокой температурой плавления, химической и физической стойкостью, высокой твёрдостью, хорошей теплопроводностью и т.д. Благодаря своим свойствам диборид циркония применяется в производстве тиглей, термопар, труб и т.д.

Интерес к данным материалам обусловлен комплексом различных физико-механических свойств, которые позволяют им быть перспективными, конкурентоспособными и по сей день оставаться материалами нового поколения.

Сформировать нужную структуру и получить необходимые свойства с помощью обычных методов получения материалов получается не всегда и, учитывая то, что ZrO_2 и ZrB_2 обладая высокими значениями твердости, относятся к труднопрессуемым – данные материалы подвергаются уплотнению ударно-волновым компактированием. Ударно-волновое компактирование – это метод динамического воздействия на порошковую систему в результате которого в прессуемую массу порошка прикладывается большое количество энергии, по сравнению с традиционными методами нагружения, что позволяет получить плотный материал с улучшенными свойствами. На сегодняшний день актуальной задачей является разработка новых керамических материалов на основе диоксида циркония ZrO_2 и композиционного материала ZrO_2 - ZrB_2 с улучшенными механическими характеристиками, а также исследование изменения их структуры и свойств под действием ударно-волновых нагрузок.

Актуальность выбранной темы заключается в том, что исследовательские работы ряда авторов о влиянии ударно-волнового компактирования на порошковые материалы ведутся достаточно долгое время, однако, не смотря на это в литературных источниках недостаточно данных о влиянии ударно-волнового компактирования на кристаллическую и микроструктуру керамических материалов на основе ZrO_2 и композиционного материала ZrO_2 - ZrB_2 .

Целью данной работы является исследование тонкой кристаллической структуры керамик на основе ZrO_2 и композиционного материала ZrO_2 - ZrB_2 полученных методом ударно-волнового компактирования.

Задачами работы являлось:

1. Исследование тонкой кристаллической структуры:
 - Расчёт параметров кристаллической решётки;
 - Оценка микроискажений, среднего размера ОКР и микронапряжений;
2. Исследование микроструктуры керамик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была исследована тонкая кристаллическая структура керамик ZrO_2 и $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ после ударно-волнового компактирования и спекания при температуре 1600 °C.

Рентгеноструктурный анализ показал, что ZrO_2 представлен моноклинной и кубической фазами, ZrO_2 в образце $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ представлен также кубической и моноклинной фазой; после спекания при температуре 1600 °C - ZrO_2 представлен только моноклинной фазой, также из-за процесса окисления уменьшилось содержание ZrB_2 .

Параметры кристаллической решётки исследуемых материалов после ударно-волнового компактирования в образце кубического ZrO_2 уменьшились на 0,008 %, в образце $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ увеличились на 0,5 %; моноклинного в образце ZrO_2 а – уменьшился на 0,5 %, b – увеличился на 0,2 %, c – уменьшился на 0,2 %, в образце $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ параметр а – увеличился на 0,1 %, параметр b – уменьшился на 0,7 %, параметр c – уменьшился на 0,6 %, параметры ZrB_2 а, b – уменьшились на 0,4 %, c – уменьшился на 1,7 %.

После спекания параметр моноклинного ZrO_2 в образце ZrO_2 а – уменьшился на 0,08 %, b – увеличился на 0,34 %, c – уменьшился на 0,49 %; в образце $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ а – уменьшился на 0,42 %, b – уменьшился на 0,5 %, c – уменьшился на 0,46 %; параметры диборида циркония а, b – уменьшились на 0,618 %, а параметр c – уменьшился на 0,1 %.

Расчёт среднего размера областей когерентного рассеяния и микроискажений кристаллической решётки керамик ZrO_2 и $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ после ударно-волнового компактирования и спекания при температуре 1600 °C показал, что после спекания происходит рост ОКР в ZrO_2 и уменьшение микроискажений, тем временем как средний размер ОКР ZrB_2 снижается, а микроискажения кристаллической решётки растут.

Исследование микроструктуры исследуемых образцов ZrO_2 и $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ показал, что по границам зёрен преобладают трещины разных размеров. Ввиду малого количества пор керамика получилась плотной. Пористость оценить не удалось.

Показано, что измерения фрактальной размерности отражают стадии твёрдофазного спекания. Ввиду того что ZrB_2 спекается труднее ZrO_2 у $\text{ZrO}_2\text{-ZrB}_2$ первая стадия усадки объёма проходит дольше и фрактальная размерность увеличивается до 3 часов, а у ZrO_2 до 1 часа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кингери У. Д. Введение в керамику /.... –М. : Строй. издат , 1967. – 490 с.
- [2] N. Claussen, Microstructure Design of Zirconia- Toughened Ceramics (ZTC), Adv. In Ceramics, v.24, Scienceand Technology of Zirconia, The Amer. Cer.Soc., ed.1999. Vol.75, is. 2.P.65
- [3] A.H.Heuer and L.W.Hobbs, Columbus, Ohio, Copyright, III - 1988P.325-351.
- [4] K. Smith and H. W. Newkirk. The Crystal Structure of Baddeleyite and its Relation to the Polymorphism of ZrO_2 / Acta Crystallogr. 18 983-91. 1965. 218 с.
- [5] Т. Е. Константинова [и др.] Получение нанодисперсных порошков диоксида циркония. От новации к инновации //Наука и инновации.2005. Т.1, №3. С.76-87
- [6] Aldebert R. Structure and Ionic Mobility of Zirconia at High Temperature / R. Aldebert, J.P. Traverse // Journal of the American Ceramic Society. 1985. Vol. 68, is. 1. P. 34
- [7] Крупин, А. В. Процессы обработки материалов взрывом. Учебное пособие для ВУЗов. / А. В. Крупин [и др.] – М.: Металлургия, 1996 С.158-170
- [8] Физико–химические свойства окислов: Справочник. М.: Металлургия, 1969. С.455
- [9] Рутман Д. С [и др.] Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония. М: Металлургия, 1985.С.136
- [10] Калинович Д.Ф., Кузнецова Л.И., Денисенко Э.Т. Диоксид циркония: свойства и применение // Порошковая металлургия. – 1987. - №1. – С.98-102.
- [11] Беляков А.В., Бакунов В.С. Создание прочных и трещиностойких структур в керамике // Стекло и керамика. – 1998. №1. – С.12-17.
- [12] Readey Michael J., Lee Ran-Rong, Malloran John W.,Heuel Arthur H.J. Amer.Ceram.Soc. – 1990. - V.73 - № 6. P. 1499-1503.
- [13] Буякова С. П. , С.Н.Кульков, Ю. А. Хорищенко. Структура, фазовый состав и морфологическое строение плазмохимических порошков ZrO_2 - MgO //Огнеупоры и техническая керамика. – 2004. - №6. – С.14
- [14] Свойства, получение и применение тугоплавких соединений / под ред. Косолаповой Т.Я. –М.: Металлургия, 1986. С.928.
- [15] Study of the Size-Induced Tetragonal to Monoclinic Phase Transition in Zirconia Nanocrystals // Phys. Rev. Lott. 2003. V. 90. № 21. P. 216103-1-216103-4.

[16] Binner J., Vaidhyanathan B., Paul A., Annaporani K., Raghupathy B. Composition Effects in Nanostructured Yttria Partially Stabilized Zirconia // *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 2011. V. 8. № 4. P. 766-782.

[17] M. Mamivand, M.A. Zaeem, H.E. Kadiri. Phase field modeling of stress-induced tetragonal-to-monoclinic transformation in zirconia and its effect on transformation toughening // *Acta Mater.* 2014. V. 64. P. 208-219.

[18] L. Delaey. *Diffusionless Transformations*. Wiley, 2013. PP. 12-132.

[19] M. Dehestani, E. Adolfsson. Phase stability and mechanical properties of Zirconia and zirconia composites // *Appl. Ceram. Technol.* 2013. V. 10, № 1. P. 129-141.

[20] P. Li, I.W. Chen, J.E. Penner-Hahn. Effect of dopants on zirconia stabilization - an X-Ray absorption study: I, trivalent dopants // *J. Am. Ceram. Soc.* 1994. V. 77, № 1. P. 118-128

[21] X. Guo. Property degradation of tetragonal zirconia induced by low-temperature defect reaction with water molecules // *Chem. Mater.* 2004. V. 16, № 21. P. 3988-3994.

[22] G. Pezzotti, M. C. Munisso, A.A. Porporati, K. Lessnau. Phase field modeling of stress-induced tetragonal-to-monoclinic transformation in zirconia and its effect on transformation toughening // *Biomater.* 2010. V. 31, № 27. P. 6901-6908.

[23] Караулов А.Г., Гребенюк А.А., Гулько Н.В. [и др.] // *Огнеупоры*. 1968. №9. С.45-51.

[24] Механические свойства наноструктурной керамики на основе диборида циркония / В. А. Скрипняк [и др.] // *Известия высших учебных заведений*. 2016. Т.55, №7/2. С. 119.

[25] Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. *Бориды*. – М.: Атомиздат, 1975. С.376

[26] Binner J., Vaidhyanathan B., Paul A., Annaporani K., Raghupathy B. Composition Effects in Nanostructured Yttria Partially Stabilized Zirconia // *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 2011. V. 8. № 4. P. 766-782.

[27] Bellosi, A. Design and process of non-oxide ceramics. Case study: Factors affecting microstructure and properties of silicon nitride / A. Bellosi ; eds Y. G. Gogotsi and R. A. Andreievsk // *Materials science of carbides, nitrides and borides*. — Netherlands : Kluwer Acad. Publ., 1999. — P. 83–96.

[28] Schwarzkopf, P. *Refractory hard metals: Borides, carbides, nitrides, and silicides* / P. Schwarzkopf, K. Kieffer. — N. Y.: MacMillen Co, 1953.

[29] Budnikov, P. P. The Technology of ceramics and refractories / P. P. Budnikov. — Cambridge : M.I.T. press, 1964.

[30] Chorley, R. W. Synthetic routes to high surface area nonoxide materials / R. W. Chorley, P. W. Lednor // Adv. Mater. — 1991. — Vol. 3, № 10. — P. 474–485.

[31] Monteverde, F. Processing and properties of zirconium diboride-based composites / F. Monteverde, A. Bellosi, S. Guicciardi // J. Eur. Ceram. Soc. — 2002. — Vol. 22, № 3. — P. 279–288

[32] Chamberlain, A. L. Pressureless sintering of zirconium diboride / A. L. Chamberlain, W. G. Fahrenholtz, G. E. Hilmas // J. Amer. Ceram. Soc. — 2006. — Vol. 89, № 2. — P. 450–456.

[33] Giunchi, G. High density MgB₂ obtained by reactive liquid Mg infiltration / G. Giunchi // Int. J. Mod. Phys. B. — 2003. — Vol. 17, № 1. — P.453–460.

[34] Способ получения диборида циркония // 2559485 Соколов. В. В.

[35] Анциферов, В. Н. Композиционные материалы и конструкции на основе титана и его соединений : монография / В. Н. Анциферов [и др.]— Новосибирск: Издательство института Гидродинамики СО РАН, 2001 Т.36, №2 – С.340-369

[36] Прюммер Р. Обработка порошкообразных материалов взрывом. – М.: Мир, 1990. – С.124.

[37] Исследование параметров взрывного компактирования порошковых материалов методом возмущения магнитного поля ударно – индуцируемой волной проводимости / Я. Л. Лукьянов [и др.] //Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН Т.32,№6- С.156-160

[38] Крупин, А. В. Процессы обработки материалов взрывом. Учебное пособие для ВУЗов. / А. В. Крупин [и др.] – М.: Металлургия, 1996 С.158-170

[39] Кузьмин, Г. Е. Экспериментально – аналитические методы в задачах динамического нагружения материалов / Г. Е. Кузьмин, В. В. Пай, И. В. Яковлев.- Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002 Т.30, №4-С.20-27

[40] Практическая растровая электронная микроскопия / под. ред. Дж. Гоулдстейна и Х. Яковица / Перевод с английского . Под ред. Петрова В.И. –М.: Мир, 1978. –С.656

[41] Физико – химические свойства окислов: Справочник. М.: Металлургия, 1969. С.455.

[42] Королев П.В., Кульков С.Н. // Перспективные материалы. 1997. № 3. С. 21–27.

[43] Ударно-волновое компактирование порошка алюминия / Е. В. Петров [и др.] // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. - 2016. - Т. 21, вып. 3. - С. 1235-1237.

[44] Структура, фазовый состав и механические свойства алюминиевых сплавов, полученных методом ударно-волнового компактирования / С. Н. Кульков [и др.] // Известия высших учебных заведений. 2013. Т. 56, №1. С. 75.

[45] Формирование структуры и физико-механические свойства алюминиевых сплавов, полученных ударно-волновой обработкой высокодисперсных порошков / А. П. Хрусталёв., А. С. Ворожцов // Технологии наноматериалов и материалов нового поколения. 2014. С. 174.

[46] Активация взрывом быстрозакалённого субмикронного порошка $ZrO_2(Y)$ / С. Н. Кульков [и др.] // Физика горения и взрыва. 1993. - Т. 29. - № 6. - с. 66 - 72. 33.

[47] Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. – М.: Атом. издат, 1975. С.376.

[48] Бирюков Ю.А. Пневматические методы и аппараты порошковой технологии. -1990.- С. 272.

[49] Могилевский, М. А. Изменение структуры в чистой меди при взрывном нагружении// Издательство института Гидродинамики СО РАН, 2002 Т.33, №7- С.30-36.

[50] Физико – химические свойства окислов: Справочник. М.: Металлургия, 1969. С.455.

[51] Huang Z.H., Tian J.F., Wang Z.G. // Material Science and Engineering. 1980. Vol. A118. P. 19–24.

[52] С.Н. Кульков, учебное пособие «Современные методы анализа в материаловедении», Томск-2010, .С.19-21.

[53] Получение ультравысокотемпературных материалов спеканием композиций на основе боридов циркония и гафния /Ю. Б. Лямин [и др.] // Вестник ПНИПУ. 2016. – Т. 18, № 1. – с. 147-158.

[54] Фазовый состав и особенности формирования структуры на основе стабилизированного диоксида циркония // Российские нанотехнологии. 2007 – Т. 2. - № 1-2. – с 119-132



Отчет о проверке на заимствования №1



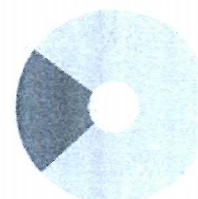
Автор: Бурдуковский Владимир vladimirburdukovsky@gmail.com / ID: 5589288
 Проверяющий: Бурдуковский Владимир vladimirburdukovsky@gmail.com / ID: 5589288
 Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»: <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 15
 Начало загрузки: 07.06.2019 09:01:42
 Длительность загрузки: 00:00:01
 Имя исходного файла: Выпускная КРБ
 Размер текста: 1704 кБ
 Символов в тексте: 52276
 Слов в тексте: 5995
 Число предложений: 625

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
 Начало проверки: 07.06.2019 09:01:43
 Длительность проверки: 00:00:02
 Комментарий: не указано
 Модули поиска: Модуль поиска Интернет



ЗАИМСТВОВАНИЯ 22,33% ЦИТИРОВАНИЯ 0% ОРИГИНАЛЬНОСТЬ 77,67%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.
 Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использованием корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТ цитаты; общепотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.
 Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.
 Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.
 Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которому шла проверка, по отношению к общему объему документа.
 Заимствования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.
 Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	3,59%	3,59%	ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ДИОКСИДА ...	http://cyberleninka.ru	01 Дек 2014	Модуль поиска Интернет	13	13
[02]	2,26%	3,42%	Диссертация (PDF)	http://chemed.net	12 Ноя 2016	Модуль поиска Интернет	16	18
[03]	3,04%	3,04%	Выпуск 3, № 10, 2008	http://vesti.ru	12 Ноя 2016	Модуль поиска Интернет	7	7

Еще источников: 17

Бурдуковский В.Н.

RU

13:03
07.06.2019

Резюме выданно диссертации мастера
 объеме в связи с содержанием действительной
 коммерческой тайны в силу неизвестности ее третьим лицам

в ограниченном
 или погребенной
 руководителем ООО
 ВА Сирин