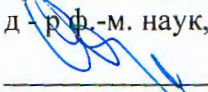


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

д - р ф.-м. наук, профессор

 В.А. Скрипняк

« ^{подпись} 24 » 05 20 23 г.

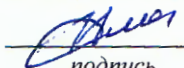
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ КЕРАМИК

по направлению подготовки 15.03.03 Прикладная механика
направленность (профиль) «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»

Утукина Анастасия Максимовна

Руководитель ВКР

д - р ф.-м. наук, доцент

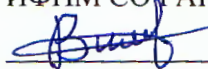
 И.Ю. Смолин

« ^{подпись} 24 » 05 20 23 г.

Научный консультант

к – т ф.-м. наук, м.н.с.

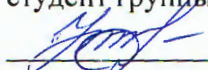
ИФПМ СО РАН

 В.А. Зимина

« ^{подпись} 24 » 05 20 23 г.

Автор работы

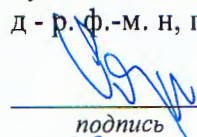
студент группы № 101902

 А.М. Утукина

« ^{подпись} 24 » 05 20 23 г.

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

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
д - р. ф.-м. н, профессор


В.А. Скрипняк
подпись
« 03 » 09 2021 г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра обучающегося
Уткиной Анастасии Максимовны

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика», направленность (профиль)
«Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Определение эффективных механических свойств пористых керамик

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) в учебный офис / деканат – 02.06.23 б) в ГЭК – 02.06.23

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – модели пористой керамики

Предмет исследования – напряженно-деформированное состояние и эффективные
механические свойства

Цель исследования – Выявление влияния параметров структуры на эффективные
механические характеристики пористой керамики методами
численного моделирования

Задачи:

1) Ознакомление с литературой по теме работы.

2) Освоение программного комплекса для моделирования напряженно-
деформированного состояния структурно-неоднородных материалов.

3) Проведение тестовых и исследовательских численных расчетов.

4) Написание выпускной квалификационной работы.

Методы исследования:

Методы компьютерного моделирования.

Открытые программы для анализа и обработки изображений.

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, –
ИФПМ СО РАН

4 Краткое содержание работы

Определение эффективных механических характеристик модельных структур пористой керамики на основе оксида алюминия с помощью разработанных численных методик на основе моделирования механического поведения пористой керамики с различными вариантами организации ее внутренней структуры под действием внешних нагрузок.

Руководитель выпускной квалификационной работы

Профессор кафедры ПиП

должность, место работы



подпись

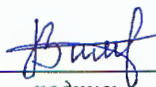
/ И.Ю Смолин

И.О. Фамилия

Консультант выпускной квалификационной работы

м.н.с. ИФПМ СО РАН

должность, место работы



подпись

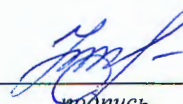
/ В.А. Зими́на

И.О. Фамилия

Задание принял к исполнению

Студентка группы 101902

студент, группа



подпись

/ А.М. Утукина

И.О. Фамилия

АННОТАЦИЯ

Выпускной квалификационной работы Утукиной А.М.

«Определение эффективных механических свойств пористых керамик»

ВКР содержит 46 страниц, 28 рисунков и 15 источников.

Пористая керамика имеет широкий спектр применений в различных областях, включая строительство, электронику, биомедицинскую, авиационную промышленность, машино- и автомобилестроение. Определение ее эффективных механических свойств и выявление факторов, которые на них влияют, являются ключевыми факторами для разработки новых и эффективности применения уже имеющихся материалов с пористой структурой. В связи с чем эта задача является актуальной. Цель работы – выявление влияния параметров структуры на эффективные механические характеристики пористой керамики методами численного моделирования. Для достижения данной цели были изучены методы исследования структурно-неоднородных материалов, особенности моделирования пористых структур и проведено численное моделирование одноосного растяжения для определения упругих модулей и пределов прочности при растяжении восьми модельных структур пористой корундовой керамики.

ABSTRACT

Final qualifying work bachelor's thesis contains 46 pages, 28 figures and 15 references.

Porous ceramics have a wide range of applications in various fields, including the construction, electronics, biomedical, aviation, machine, and automotive industries. Determining its effective mechanical properties and identifying the factors that affect them are key factors for the development of new materials and the effectiveness of the use of existing materials with a porous structure. In this connection, this task is relevant. The purpose of this work is to reveal the influence of structure parameters on the effective mechanical characteristics of porous ceramics using numerical simulation methods. To achieve this goal, the methods of studying structurally inhomogeneous materials and the features of modeling porous structures were studied, and numerical modeling of uniaxial tension was carried out to determine the elastic modules and tensile strengths of eight model structures of alumina ceramics.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	7
1 Литературный обзор по теме	9
1.1 Объект исследования и области применения	9
1.2 Методы определения эффективных механических свойств	10
1.3 Методы и способы описания и моделирования пористой структуры.....	11
1.4 Влияние микроструктурных параметров на механическую прочность пористых керамических материалов.....	14
2 Физическая постановка задачи	16
3 Математическая постановка задачи и метод численного решения	17
4 Результаты моделирования и их обработка	22
4.1 Регулярная пористость с круговыми порами.....	22
4.2 Хаотичная унимодальная пористость с круговыми порами	24
4.3 Регулярная бимодальная пористость с круговыми порами.....	26
4.4 Хаотичная бимодальная пористость с круговыми порами	28
4.5 Регулярная унимодальная пористость с эллипсоидными порами.....	30
4.6 Хаотичная унимодальная пористость с эллипсоидными порами.....	32
4.7 Регулярная бимодальная пористость с эллипсоидными порами.....	34
4.8 Хаотичная бимодальная пористость с эллипсоидными порами.....	36
4.9 Сравнение результатов моделирования.....	38
Заключение	48
Список использованной литературы.....	49

ВВЕДЕНИЕ

Структурно-неоднородные, в том числе композиционные материалы, все шире применяются в современной технике и индустрии. Проблема определения их свойств является крайне актуальной. Одно из главных преимуществ таких материалов заключается в возможности создания наиболее подходящего, уникального по физико-механическим характеристикам, материала для каждого конкретного приложения путем вариации физических и геометрических параметров его составных компонентов.

К структурно-неоднородным материалам относятся также пористые материалы. В последнее время значение пористых керамик в промышленности возросло благодаря их уникальному сочетанию свойств. Такие их характеристики, как низкая плотность, большая удельная поверхность, высокая ударная вязкость, высокая стойкость к тепловому удару, хорошая теплоизоляционная способность и низкая диэлектрическая проницаемость открывают новые возможности для широкого спектра применений – от многочисленных промышленных процессов до бытовых изделий.

Известно, что форма пор и распределение их в пространстве влияют на эффективные свойства пористого материала, но до конца этот вопрос не изучен. Поэтому темой исследования для данной научной работы было выбрано исследование влияния расположения пор и их формы на эффективные механические характеристики пористых материалов. Целью данной работы является определение эффективных механических характеристик пористых керамик на основе численного моделирования.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Построить разные геометрические структурные модели пористой керамики с различными параметрами (форма, размер пор, а также

распределение их в пространстве модели). Среднее значение пористости составляло 16,5 %.

2. Провести численное исследование механического поведения пористых керамик при одноосном растяжении методом конечных разностей.

3. На основе численных исследований рассчитать эффективные упругие модули и пределы прочности при растяжении исследуемых структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате моделирования деформации и разрушения на мезоуровне было выявлено влияние неоднородной структуры пористой керамики на ее эффективные механические характеристики: упругие модули сдвига и объемного сжатия, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и предел прочности при растяжении.

Показано, что для пористых структур с эллипсоидными порами эффективные упругие модули и прочность оказались выше, чем у структур с круговыми порами на 10 - 20 %, а расположение и форма пор оказывает влияние на пределы прочности представленных модельных структур. Выявлено, что влияние формы пор на предел прочности выше, чем у расположения на 40 – 89 %.

Результаты данного исследования были представлены на Международной конференции «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций» которая проходила в г. Екатеринбурге с 16 по 20 мая 2022 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние структуры материалов на свойства керамики / А.М. Салахов, Р.А. Салахова, О.М. Ильичева [и др.]. // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – №8. — С. 343 – 349.
2. Пористая керамика с регулярной структурой / Ж.В. Андреева, А.И. Захаров // Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – Т. 26, №6 (135). – С. 11 – 13.
3. Экспериментальное исследование структуры, упругих и прочностных характеристик пористой корундовой керамики. / В.А. Зими́на. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2020. - №67. – С.117 – 126.
4. A simple and effective geometric representation for irregular porous structure modeling / X.Y. Kou, S.T. Tan // Computer – Aided Design 42. – 2010. – Vol. 42. – P. 930 – 941.
5. Численное моделирование механического поведения модельных хрупких пористых материалов на мезоуровне / И.Ю. Смолин, М.О. Еремин, П.В. Макаров [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2013. – №5 (25). –С. 78–90.
6. Микушина В.А. Численное моделирование деформирования и разрушения пористой алюмооксидной керамики на мезоуровне / В.А. Микушина, И.Ю. Смолин // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2019. – № 58. – С. 99–105.
7. Моделирование деформации и разрушения материала с пористой керамическим покрытием на основе полисилазана. / Р.Р. Балохонов, А.В. Зиновьев, В.А. Романова, Р.А. Бакеев, О.С. Зиновьева. // Физическая мезомеханика. – 2015. – Т. 18., №2. – С. 60-71.

8. Количественный анализ поровой структуры керамики с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображения./ Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный, А. Ю. Омаров. // Новые огнеупоры. Научные исследования и разработки. – 2013. – №8. – С. 40 – 44.
9. Структура и свойства огнеупоров. / К. К. Стрелов. – М.: Металлургия. – 1982. – С. 207.
10. Numerical simulation of mesomechanical behavior of porous brittle materials / I. Yu. Smolin, P.V. Makarov, M.O. Eremin, K.S. Matyko // Proc. Struct. Integrity. – 2016. – Vol. 2. – P. 3353–3360.
11. Глава 1 Деформированное состояние // Теория упругости / В. Новацкий. – Москва: Изд. «Мир», 1975. – С. 11–39.
12. Глава 4 Примеры постановки, алгоритмов численного решения и результатов решения двумерных нестационарных задач физик взрыва и удара // Прикладная механика сплошных сред / А.В. Бабкин, В.И. Колпаков, В.Н. Охитин, В.В. Селиванов. – Москва: Изд. Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, 2006. Т.3. – С. 320–418.
13. Глава 2 Кинематика деформируемой среды // Механика сплошной среды / Л.И. Седов. – Москва: Изд. «Наука», 1970. Т.1 – С. 22–123.
14. Mechanical Properties of Porous Ceramics / Vania Regina Salvini, Victor C. Pandolfelli, Dirceu Spinelli // Recent Advances in Porous Ceramics. Intechopen. Chapter 10. – 2018 – P. 171-199.
15. Characterization and statistical modeling of irregular porosity in carbon/carbon composites based on X-ray microtomography data / B. Drach , A. Drach, I. Tsukrov // ZAMM. – 2013 – No.5. P. 346-366.

Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: Утукина Анастасия Максимовна
Проверяющий: Утукина Анастасия Максимовна

Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 6
Начало загрузки: 22.05.2023 18:31:23
Длительность загрузки: 00:00:02
Имя исходного файла: ВКР.pdf
Название документа: ВКР
Размер текста: 43 кБ
Символов в тексте: 44229
Слов в тексте: 4991
Число предложений: 152

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 22.05.2023 18:31:25
Длительность проверки: 00:00:05
Комментарии: не указано
Модули поиска: Интернет Free

СОВПАДЕНИЯ

11,14%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

88,86%

Совпадения — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.

Самоцитирование — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самоцитирования» — это доля фрагментов текста, отнесенных к самоцитированию, в общем объеме текста.

Цитирования — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированиям относятся также шаблонные фразы; библиография; фрагменты текста, найденные модулем поиска «СПС Гарант: нормативно-правовая документация». Показатель «Цитирования» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.

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.

Оригинальный текст — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отмеченные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

«Совпадения», «Цитирования», «Самоцитирования», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует полному тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности совпадений или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в тексте	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Комментарии
[01]	4,72%	4,43%	http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vital:12183/SOURCE01 http://vital.lib.tsu.ru	07 Сен 2020	Интернет Free	
[02]	4,51%	3,76%	Вестн Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2019. № 58. http://journals.tsu.ru	01 Янв 2019	Интернет Free	
[03]	3,35%	0,06%	Численное моделирование деформирования и разрушения пористой алюмооксидной керамики на мезоуровне http://journals.tsu.ru	01 Янв 2019	Интернет Free	

Еще источников: 4

Еще совпадений: 2,89%

Выбор работы

Руководитель ВКР

Консультант ВКР

Руководитель ООП
Зав. каф. МЭТТ, г.р.и.и.,
профессор

Утуп

Антип

Вит

Утуп

Смолин И.Ю.

Зишина В.А.

Сироткин В.А.

Заключение

руководителя ООП 15.03.03 Прикладная механика

профиль «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг»

Руководствуясь п.3.2 и п.3.4 «Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке НИ ТГУ» (Приказ ректора №301/ОД от 22.04.2016) выпускную квалификационную работу Утукиной Анастасии Максимовны «Определение эффективных механических свойств пористых керамик» следует разместить в депозитарий НБ НИ ТГУ с изъятием раздела 1, раздела 2, раздела 3, раздела 4.

31.05.2023

Руководитель ООП

зав. кафедрой механики

деформируемого твердого тела,

д.ф.-м.н., профессор



В.А. Скрипняк

моб. тел. +7 903 914 0028