

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор – проректор по научной
деятельности
государственного
образовательного учреждения высшего
образования «Казанский (Приволжский)
федеральный университет», д. ф.-м. н.,
профессор

Федерального

автономного

учреждения высшего



Д.А. Татарский

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
на диссертационную работу Товпинца Александра Олеговича
«Модель деформируемого многокомпонентного дисперсного тела с учетом механохимического
взаимодействия и спекания компонентов», представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Применение методов компьютерного моделирования в качестве инструмента для исследований является актуальным и значимым при решении задач современной механики деформируемых многокомпонентных полидисперсных химически реагирующих тел. Представленная работа решает ряд связанных задач по исследованию особенностей формирования структуры исходных компактов и спекания низкотемпературной керамики, а также особенностей деформирования и механоактивации тугоплавких порошковых материалов в процессе динамического синтеза. Исследована связь формирования структуры исходных компактов и физико-механические характеристик получаемых композитных тел. Актуальность диссертационной работы Товпинца А.О. не вызывает сомнений.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем: получен способ обоснования технологических режимов спекания низкотемпературной керамики (типа LTCC – для микроэлектроники); получены выражения для оценки остаточных напряжений в матрице спеченного образца; исследован вклад образования

субструктуры контактирующих тугоплавких частиц в формирование структуры спеченного тела; развита экспериментальная процедура исследования структуры твердых многокомпонентных тел методами микрофокусной компьютерной рентгеновской томографии; исследованы условия затухания механохимической реакции $Zr-B$ с учетом локальной переупаковки частиц при динамическом нагружении.

Практическая значимость таких исследований заключается в том, что развитый комплексный подход исследования позволяет определять технологические режимы, которые способны существенно повысить качество получаемых материалов, оптимизировать технологические режимы ударного синтеза тугоплавких порошковых компактов с максимальной степенью химических превращений компонентов.

Теоретическая значимость работы. Результаты, полученные в настоящей работе, могут быть интересны широкому кругу специалистов в области математического моделирования, численных методов, механики, занимающихся анализом поведения элементов конструкций в различных областях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации. Рекомендуется использовать результаты диссертационного исследования Товпинца А.О. в деятельности проектных организаций, занимающихся решением связанных задач по исследованию особенностей формирования структуры исходных компактов и спекания низкотемпературной керамики, а также исследованием особенностей деформирования и механоактивации тугоплавких порошковых материалов в процессе динамического синтеза различных отраслей применения. Также рекомендуется дальнейшее развитие данного научного направления на базе организации, где выполнена диссертация, и на базе ведущих отраслевых вузов, занимающихся разработкой соответствующей тематики, в направлении разработки конкретных проектов таких как: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, «Национальный исследовательский Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского», Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Казанский (Приволжский) федеральный университет.

Товпинец А.О. выполнил комплекс вычислительных экспериментов и интерпретацию полученных результатов, а также развил комплексный подход компьютерного моделирования, продемонстрировав тем самым высокий уровень владения методами исследования и научной квалификацией.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждены сравнением результатов с аналитическим решением и с известными результатами экспериментальных работ.

Полнота опубликованных результатов и апробация работы

Работа выполнена в рамках научных проектов, результаты диссертационной работы доложены на российских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 4 публикации в журналах из списка ВАК Минобрнауки России, 3 работы в изданиях (сборники материалов конференций), включенных в международные реферируемые базы данных Scopus/Web of Science. Имеются 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и акты технического внедрения и внедрения в учебный процесс.

Структура и содержание диссертации.

Текст диссертации содержит 133 страницы, включая 32 рисунка и 10 таблиц, и подразделяется на введение, три главы, заключение, список литературы на 133 источника и три приложения. Работа в достаточной мере иллюстрирована, содержит необходимое и достаточное описание исследованных задач, методов и способов их решения, обсуждения результатов и выводов.

Во введении сформулирована актуальная тема, цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, степень достоверности и апробация полученных результатов. Представлены положения, выносимые на защиту, описываются методы исследования и структура диссертации.

В первой главе представлен обзор научной литературы, относящейся к теме диссертационного исследования. Описаны общий подход к моделированию и математические методы, используемые для решения комплекса связанных задач.

Во второй главе описывается математическая постановка задач и общий алгоритм их решения. Автором получено выражение для оценки локальных остаточных напряжений в матрице спеченного тела. Представлены результаты компьютерного моделирования процессов спекания низкотемпературной керамики (LTCC – для микроэлектроники) с учетом термодеструкции связующего и остаточных напряжений в матрице спеченного тела. Также описаны результаты исследований влияния формирования субструктуры контактирующих частиц тугоплавких компонентов на разных иерархических уровнях в исходном компакте на структуру и эффективные свойства спеченной низкотемпературной керамики. Выполнена оценка эффективных физико-механических характеристик спеченного тела.

В третьей главе диссертации описано сопоставление результатов вычислительных экспериментов с результатами лабораторных исследований структуры спеченных образцов керамики на компьютерном рентгеновском томографе. Описан разработанный автором подход исследования механизмов формирования структуры и свойств современных композиционных материалов с помощью рентгеновской компьютерной томографии. Показано, что результаты теоретического прогноза качественно согласуются с результатами лабораторных исследований. Также описаны исследования механизмов уплотнения дисперсного компакта, с исходными компонентами $Zr+B$, в процессе динамического механохимического синтеза. Установлено, что в процессе динамического нагружения порошкового компакта возможен эффект схлопывания пор вследствие плавления одного из компонентов, что приводит к прекращению механохимических превращений. Отмечено, что результаты вычислительных экспериментов качественно и количественно согласуются с экспериментальными данными.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Соответствие работы требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям

На основании изложенного, считаем, что диссертация «Модель деформируемого многокомпонентного дисперсного тела с учетом механохимического взаимодействия и спекания компонентов» представляет собой логически завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, имеющую теоретическое и практическое значение. Результаты, полученные диссертантом, отвечают критериям научной новизны и интересны в различных отраслях промышленности.

Диссертация Товпинца А.О. соответствует п. 7 «Механохимия, теория структурных и фазовых переходов в твердых телах», п. 4 «Механика композиционных материалов и конструкций, механика интеллектуальных материалов», п. 5 «Мезомеханика многоуровневых сред со структурой», п. 6 «Микромеханика, наномеханика, механика дискретных сред», п. 11 «Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях» паспорта специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе приводится целый ряд физико-механических моделей, описывающих процессы, происходящие в многокомпонентном дисперсном теле при спекании, но нет

ясного понимания, все ли эти модели используются, почему выбраны именно они. Такое ощущение, что используются практически все приведенные модели. Желательно было дать более четкую и конкретную постановку задач I-IV (страница 56), решаемых в работе, отметить какие именно особенности протекания физико-механических процессов при деформировании позволили использовать предлагаемые модели.

2. Экспериментальные исследования, проводимые автором, сводились, в основном, к определению микроструктуры образцов. Поэтому, сложно однозначно подтвердить или опровергнуть правомерность используемых в работе физико-механических моделей. Желательно иметь более эффективное экспериментальное подтверждение корректности используемых моделей.

3. Непонятно, можно ли на основе разработанного автором алгоритма дать оценку возможности моделирования нового материала с наперед заданными свойствами в некотором диапазоне их изменения. Или для этого необходимо провести многовариантные расчеты, на основе результатов которых определять возможность (или невозможность) получения нового (спеченного) материала.

4. В диссертации (страница 56) есть такое утверждение «В схеме компьютерного моделирования использованы решения модельных краевых задач...». Совершенно непонятно, как эти задачи используются для различных оценок. Модельные задачи 1 и 2 (страница 57) – задачи об «уплотнении пористой упругопластической среды» и об «уплотнении пористой вязкой среды». Что за задачи: остается только догадываться.

5. В задачах исследований, в частности в задаче 4, используется выражение «дисперсном теле типа Zr-B», а в главе 3, диссертации, – выражение «дисперсных систем типа Zr-B». Лучше использовать второй вариант, со словом «систем».

Приведенные замечания не снижают общую положительную оценку представленной к защите диссертации и не носят принципиального характера.

Заключение

Диссертационная работа Товпинца Александра Олеговича «Модель деформируемого многокомпонентного дисперсного тела с учетом механохимического взаимодействия и спекания компонентов» содержит новые научные результаты и является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне, отвечает требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор

Товпинец Александр Олегович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры теоретической механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Бережным Дмитрием Валерьевичем и доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой теоретической механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Султановым Ленаром Усмановичем.

Отзыв ведущей организации на диссертацию Товпинца Александра Олеговича «Модель деформируемого многокомпонентного дисперсного тела с учетом механохимического взаимодействия и спекания компонентов» был обсужден и утвержден на заседании кафедры теоретической механики Казанского (Приволжского) федерального университета 17 октября 2025 г., протокол № 2.

Заведующий кафедрой теоретической механики КФУ, д. ф.-м. н., доцент

Профессор кафедры теоретической механики КФУ, д. ф.-м. н., доцент

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Адрес: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

Тел.: +7 (843) 939-29-03

Электронная почта: public.mail@kpfu.ru

Сайт: <https://kpfu.ru>

Сведения о лицах, предоставивших отзыв на диссертацию:

Султанов Ленар Усманович, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, заведующий кафедрой теоретической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Рабочий адрес: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35,

тел.+7 (843) 2337185, E-mail: Lenar.Sultanov@kpfu.ru.

Бережной Дмитрий Валерьевич, доктор физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, профессор кафедры теоретической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Рабочий адрес: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35,

тел.+7 (843) 2337185, E-mail: Dmitri.Berezhnoi@kpfu.ru.

