

Утверждаю
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт механики сплошных сред
Уральского отделения РАН,
академик РАН, профессор,
доктор технических наук

В.П. Матвееenko

“ 10 ” декабря 2014 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук на диссертацию ВАГАНОВОЙ Ирины Константиновны "Моделирование динамического разрушения керамических композиционных материалов на основе многоуровневого подхода", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Актуальность темы диссертации

Применение новых технологий изготовления изделий из керамических композиционных материалов существенно расширило возможности варьирования фазового состава, структуры и свойств керамических композитов и нанокompозитов, что является стимулом для развития методов прогнозирования механического поведения данных материалов. Разработка подходов многоуровневого моделирования процессов деформации и разрушения хрупких гетерогенных сред представляет актуальную задачу механики.

Диссертация И.К. Вагановой посвящена одному из наиболее перспективных подходов прогнозирования механического поведения керамических композитов с учетом их структуры на мезоскопическом уровне - многоуровневому моделированию тугоплавких электропроводных композиционных материалов. Она состоит из введения, трех глав и заключения, а также содержит список литературы из 122 работ.

Краткий обзор полученных результатов

Первая глава посвящена общим вопросам разрушения керамических композитов и нанокompозитов. Приведены результаты анализа данных о механическом поведении объемных керамических нанокompозитов в квазистатических и динамических условиях нагружения. Обсуждаются вопросы влияния объемной концентрации упрочняющих наночастиц на величины динамической изгибной прочности, зависимости предела упругости Гюгонио от относительного объема пор и размера зерен керамических материалов. Влияние концентраций фаз и морфологических параметров структуры нанокompозитов. Приводятся различные подходы и методы по разработке моделей и вычислительных методов для исследования и прогнозирования развития деформаций и разрушения структурно-неоднородных сред и композиционных материалов.

Во второй главе рассматриваются проблемы построения двухуровневой физико-математической модели механического отклика керамических композитов и нанокompозитов на динамические воздействия, с явным учетом размеров и распределения упрочняющих частиц и пор в объеме. Предложен алгоритм построения модельных представительных объемов. Разработан алгоритм реализации модели при использовании для численного решения задачи модификации метода сглаженных частиц (SPH).

Разработанный в диссертации алгоритм позволяет моделировать процессы высокоскоростной деформации, образование мезоскопических трещин и фрагментацию структурно неоднородного представительного объема композита.

Третья глава посвящена рассмотрению результатов моделирования динамического разрушения керамических композиционных материалов на основе разработанного метода многоуровневого моделирования.

Основные результаты диссертации.

Один из основных результатов работы заключается в разработке методики построения представительных объемов керамических композитов, разработке методики моделирования динамического разрушения, разработке алгоритмов применения метода сглаженных частиц для моделирования деформации и разрушения композитов и нанокомпозитов на мезоскопическом уровне при динамических нагрузках. Полученные результаты развивают подход многоуровневого моделирования механического поведения объемных керамических композитов и нанокомпозитов при динамическом нагружении в 3D постановке и расширяют возможности численного моделирования влияния структуры на свойства материалов при интенсивных динамических воздействиях.

В работе предложена новая физико-математическая модель деформации и разрушения объемных керамических композитов и нанокомпозитов с учетом структуры на мезоскопическом уровне при динамическом нагружении. Показана эффективность использования модели для описания механического поведения важных для практического применения классов керамических композитов на основе Al_2O_3 , $t\text{-}ZrO_2$ и ZrB_2 в условиях интенсивных динамических воздействий.

Разработан алгоритм реализации предложенной модели для компьютерного моделирования процессов деформации и динамического разрушения керамических композитов при интенсивных импульсных воздействиях на основе применения метода сглаженных частиц. Разработанный алгоритм позволил исследовать влияния структуры керамических композитов на модули упругости, пределы упругости Гюгонио при интенсивных динамических воздействиях с амплитудами до 20 ГПа.

В результате проведенных численных исследований получены закономерности развития повреждений и разрушения, перспективных классов объемных наноструктурных керамических композиционных материалов ZrB_2-B_4C , $ZrB_2-t\text{-}ZrO_2$, $ZrB_2-Al_2O_3$, данные о пределах упругости Гюгонио, динамической сдвиговой прочности в диапазоне изменения концентрации упрочняющих фаз до 30 об. %.

Установлено, что рассмотренные классы нанокомпозитов ZrB_2-B_4C , $ZrB_2-t\text{-}ZrO_2$ при воздействии ударных импульсов с амплитудами, превышающим макроскопический предел упругости, разрушаются квазихрупко. Динамическая трещиностойкость нанокомпозитов повышается с ростом скорости деформации. Величина динамической трещиностойкости нанокомпозитов снижается с ростом концентрации кластеров упрочняющих частиц.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Обеспечивается математической корректностью постановок задач, применением соответствующих методов решения, решением тестовых и модельных задач, хорошим согласием полученных теоретических предсказаний с экспериментальными и теоретическими результатами других исследователей.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, полученные в диссертации результаты.

Оценка полноты опубликования результатов диссертации

Результаты диссертации Вагановой И.К. являются новыми, своевременно опубликованными в 12 печатных работах, в том числе в ведущих рецензируемых

научных журналах, включая 4 статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Теоретическое и практическое значение результатов диссертации

Полученные в диссертационной работе результаты имеют теоретический характер и могут быть использованы для развития численно-аналитического аппарата механики деформируемого твердого тела, исследования механического поведения нового класса материалов (керамических нанокомпозитов) при динамическом нагружении. Результаты диссертации И.К. Вагановой могут представлять интерес для исследований новых нанокомпозитов и керамических композитов в учреждениях РАН, вузах и Российских федеральных ядерных центрах, таких как ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИФПМ СО РАН, Института механики УрО РАН, ИПМ СО РАН, ИГ им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Санкт-Петербургского государственного университета, Сибирского государственного аэрокосмического университета имени акад. М.Ф. Решетнева, Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, МГТУ имени Н.Э. Баумана, Национального исследовательского Томского политехнического университета, РФЯЦ ВНИИЭФ, РФЯЦ ВНИИТФ и в ряде других российских и зарубежных организаций.

Соответствие диссертации номенклатуре специальностей.

Диссертация И.К. Вагановой посвящена изучению механического поведения керамических нанокомпозитов, влияния структуры нанокомпозитов на их прочностные свойства при динамическом нагружении. Полученные результаты соответствуют областям исследований механики деформируемого твердого тела.

- 1) Содержательная часть диссертации, полученные результаты соответствуют специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.
- 2) Диссертация соответствует отрасли «физико-математические науки».

Соответствие диссертации и автореферата требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней"

Диссертация Вагановой И.К. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований развит подход многоуровневого моделирования в 3D постановке для исследования закономерностей разрушения керамических композитов и нанокомпозитов на мезоскопическом уровне. Диссертация представляет собой специально подготовленную рукопись, содержит совокупность новых научных результатов, имеет внутреннее единство. Личный вклад автора в решение поставленных проблем не вызывает сомнений. Оформление диссертации в целом отвечает требованиям, установленным ВАК Министерства образования науки Российской Федерации.

Критические замечания по работе

1. Следовало более подробно указать границы применимости предлагаемой модели по классам керамических композитов и нанокомпозитов, масштабным уровням и по диапазонам условий воздействий. Было бы полезно привести сравнение результатов исследования прочностных свойств керамических нанокомпозитов в разделе 3.2 с экспериментальными данными.
2. Следовало бы отметить, какие параметры, входящие в соотношения модели в таблицах 4 и 5 являются подгоночными и с использованием каких экспериментальных данных эти параметры могут быть определены для конкретных керамических нанокомпозитов.
3. Учитывая наличие в керамических композитах и нанокомпозитах остаточных напряжений, величина которых зависит от технологии производства композита, следовало

бы более подробно обсудить методику задания начальных условий (6) на стр. 51.

Заключение

Сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы И.К. Вагановой.

Диссертация Ирины Константиновны Вагановой является законченной научной квалификационной работой, в которой развит подход многоуровневого моделирования в 3D постановке для исследования закономерностей разрушения керамических композитов и нанокompозитов на мезоскопическом уровне при динамическом нагружении, разработаны модель и алгоритм моделирования динамического разрушения тугоплавких керамических нанокompозитов, имеющие важное значение для развития механики деформируемого твердого тела.

Диссертация И.К. Вагановой выполнена на высоком научном уровне.

В целом диссертация "Моделирование динамического разрушения керамических композиционных материалов на основе многоуровневого подхода" по содержанию, объему выполненных исследований, новизне, научной и практической значимости результатов, полностью соответствует требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", предъявляемым к кандидатским диссертациям (Пункт 9), а ее автор, Ваганова Ирина Константиновна, заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на научном семинаре ИМСС УрО РАН (протокол № 17/14 от 13 ноября 2014 г.) и утвержден на заседании ученого совета (протокол № 10-14 от 25 ноября 2014 г.).

Заведующий лабораторией
физических основ прочности
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук
Доктор физико-математических наук,
профессор



Наймак Олег Борисович

614013, г. Пермь, ул.Академика Королева, д.1
(342) 237-84-61, mvp@icmm.ru, www.icmm.ru

