

«Утверждаю»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Институт механики сплошных сред

Уральского отделения РАН,

академик РАН,

профессор, доктор технических наук

 В.П. Матвеенко

4 "декабря" 2015 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской
академии наук на диссертацию

СКРИПНЯКА ВЛАДИМИРА ВЛАДИМИРОВИЧА

на тему "Моделирование деформации и разрушения
высокомодульных керамических материалов при квазистатическом и
динамическом нагружениях", представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.04 - механика деформируемого твердого тела.

Актуальность темы исследования

Решения ряда актуальных проблем аэрокосмической техники, атомной
энергетики, машиностроения и транспорта связаны с необходимостью
установления закономерностей механического поведения высококомодульных
высокотемпературных керамических материалов. Высокая трудоемкость
поисковых работ по созданию конструкций новой техники из перспективных
керамических материалов обуславливает необходимость разработки и
обоснования адекватных моделей деформирования и разрушения данного

класса материалов с учетом их состава и структуры, а также развитие методик многоуровневого моделирования для прогноза механического поведения материалов в условиях квазистатических и динамических воздействий.

Таким образом, диссертация В.В. Скрипняка посвящена решению актуальной задачи - установления закономерностей деформации, повреждения и разрушения керамических материалов, нанокompозитов в широком диапазоне скоростей нагружения; развитию многоуровневого подхода для прогнозирования механического поведения высокомодульных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях.

Связь диссертации с планами отраслей науки

В диссертации В.В. Скрипняка содержится решение задачи, отвечающей Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и Перечню критических технологий Российской Федерации Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации, утвержденному Указом Президента РФ от 07.07.2011 г. № 988 (Транспортные и космические системы, Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика).

Диссертация В.В. Скрипняка выполнена в рамках ряда проектов РФФИ, при поддержке Стипендиального фонда Президента Российской Федерации, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 159 работ, изложенных на 42 страницах машинописного текста, включая 118 рисунков, 9 таблиц.

В первой главе диссертационной работы представлен обзор и обсуждены проблемы построения многоуровневых физико-математических моделей, позволяющих описывать процессы деформации, повреждения и разрушения многофазных керамических материалов с учетом фазовой, зеренной и поровой структуры в диапазоне скоростей деформации от 0.001 до 10^5с^{-1} .

Предложено для построения модельных представительных объемов материалов, с учетом структуры на мезоскопическом уровне, использовать результаты комплексных исследований распределений параметров структуры (размеров зерен, пор и частиц упрочняющих фаз) методами оптической микроскопии, электронной сканирующей микроскопии. Предложена оригинальная методика оценки макроскопических параметров напряженно-деформированного состояния и параметра поврежденности с использованием результатов моделирования отклика структурированного представительного объема на внешние динамические воздействия.

Показана возможность создания двухуровневой модели высокомодульных керамических материалов для исследования закономерностей деформации, повреждения и разрушения при ударных нагрузках.

Во второй главе диссертации приведены результаты экспериментальных исследований закономерностей деформации и разрушения керамики ZrB_2 , $\text{ZrB}_2\text{-ZrO}_2$, $\text{ZrB}_2\text{-B}_4\text{C}$ в диапазоне скоростей деформации $10^{-3} - 10^3 \text{с}^{-1}$ при сжатии, изгибе и растяжении. Представлены оригинальные экспериментальные данные о трещиностойкости, изгибной прочности, прочности на сжатие, откол и растяжение керамики ZrB_2 . Получены новые данные о закономерностях деформации, повреждения и разрушения высокомодульных керамических материалов на основе ZrB_2 .

В третьей главе диссертационной работы приведены результаты моделирования динамического разрушения наноструктурных материалов $\text{ZrB}_2\text{-B}_4\text{C}$, $\text{ZrB}_2\text{-ZrO}_2$, $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$ с пористостью от 1 до 10%, на основе

многоуровневого подхода. Установлено, что динамическое разрушение исследованных высокомодульных наноструктурных керамических материалов при ударном сжатии, раскалывании и отколе имеет квазихрупкий характер, связанный с зарождением системы микротрещин и формированием фрагментов.

Показано, что при высокоскоростном шлифовании пластин из WC-Co образуются приповерхностные трещины и формируются зоны разрушения у их кромок в зависимости от комбинации скорости шлифования и прижимающих усилий, температуры в зоне шлифования. Предложенная вычислительная модель позволяет прогнозировать критические комбинации условий шлифования приводящих к образованию повреждений.

В заключении сформулированы основные научные результаты и выводы.

Основные результаты диссертации В.В. Скрипняка отвечают заявленным целям диссертационного исследования.

В диссертации В.В. Скрипняка получены следующие новые научные результаты:

Развит подход многоуровневого моделирования в 3D постановке для исследования закономерностей разрушения высокотемпературной керамики и нанокompозитов на мезоскопическом уровне при динамическом нагружении с амплитудами от 5 до 20 ГПа.

Развита методика построения представительных объемов наноструктурной высокотемпературной керамики для исследования влияния структуры на процессы деформации, повреждений и разрушения материалов при интенсивном динамическом нагружении с применением многоуровневого компьютерного моделирования.

Определены закономерности деформации, повреждения и разрушения, высокотемпературных наноструктурных керамических материалов на основе ZrB₂ при интенсивных динамических воздействиях.

Установлены закономерности развития повреждений и квазихрупкого разрушения нанокompозитов ZrB_2-B_4C , $ZrB_2-t ZrO_2$, $ZrB_2 - SiC$ с концентрацией упрочняющих фаз до 30 об. % при нагружении ударными импульсами с амплитудами до 20 ГПа.

Установлены закономерности влияния параметров поровой и зеренной структуры высокомодульной керамики на модули упругости, пределы упругости Гюгонио, вязкость разрушения нанокompозитов ZrB_2-B_4C , ZrB_2-ZrO_2 , ZrB_2-SiC .

Впервые получены экспериментальные данные о прочностных характеристиках отечественной наноструктурной ZrB_2 керамики, а также данные о закономерностях протекания во времени процессов деформации и разрушения в широком диапазоне скоростей нагружения.

Получены обобщающие зависимости прочности ZrB_2 наноструктурной керамики при сжатии в широком диапазоне скоростей деформации.

Значимость диссертации для науки определяется тем, что полученные результаты расширяют представление о закономерностях деформации и разрушения высокомодульных керамических материалов при нагружении в широком диапазоне скоростей деформации. Развитый подход многоуровневого моделирования в 3D постановке расширяет возможности теоретического исследования влияния структуры высокомодульной керамики на мезоскопическом уровне на закономерности деформации и разрушения при динамическом нагружении.

Значимость результатов диссертации для практики заключается в том, что они могут быть использованы как при создании элементов конструкций из новых высокомодульных керамических материалов, так при прогнозировании механических свойств новых материалов. Разработанные модели, методика моделирования могут применяться для решения широкого круга научных и практических задач механики структурно-неоднородных

сред. Новые экспериментальные данные о механических свойствах высокотемпературных материалов на основе ZrB_2 представляют интерес для применения указанных материалов в инженерной практике. Установленные в результате компьютерного моделирования условия и закономерности формирования поверхностных повреждений высокотемпературного композита WC-Co при высокоскоростном алмазном шлифовании важны для выбора рациональных режимов шлифования.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы для развития численно-аналитического аппарата механики деформируемого твердого тела, исследования механического поведения высокомодульных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях. Результаты диссертации В.В. Скрипняка могут представлять интерес для исследования новых высокомодульных керамических материалов в учреждениях РАН, вузах и Российских федеральных ядерных центрах, таких как ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИФПМ СО РАН, Институт механики УрО РАН, ИМСС УрО РАН, ИТПМ 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 академика 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.

Достоверность теоретических результатов диссертации обеспечивается математической корректностью постановок задач,

применением апробированных вычислительных методов, соответствием расчетных данных экспериментальным исследованиям, а также согласием полученных результатов с опубликованными данными, полученными другими исследователями.

Достоверность полученных новых экспериментальных данных обеспечивается применением современных экспериментальных методик, согласием полученных результатов с известными данными, приведенными в литературе.

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

Оценка полноты опубликования результатов диссертации

Результаты диссертации Скрипняка В.В. являются новыми и своевременно опубликованы в 27 статьях, включая 9 статей в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (из них 2 статьи в журналах, индексируемых в Web of Science), 2 свидетельства на программы для ЭВМ, 16 публикаций в других научных изданиях, включая зарубежные научные журналы, материалы международных и всероссийских научных конференций.

Содержательная часть диссертации, основные результаты и выводы соответствуют специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Критические замечания по работе заключаются в следующем:

1. Следовало бы привести сведения об используемых компьютерных платформах, операционных системах, требуемых вычислительных ресурсах при использовании моделей многоуровневого моделирования механической

реакции структурированных сред при динамических воздействиях в 3D постановке.

2. При формулировке двухуровневой модели деформирования и повреждения высокомодульных наноструктурных керамических материалов следовало более подробно изложить ограничения применимости предлагаемой модели, например, по классам керамических композитов, масштабным уровням и условиям воздействий.

3. Представляется целесообразным привести сопоставление результатов, полученных с использованием предложенной модели, и известных вычислительных моделей других авторов, обзор которых представлен в диссертации.

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы В.В. Скрипняка.

Диссертация В.В. Скрипняка выполнена на высоком научном уровне. Язык и стиль диссертации свидетельствует об умении соискателя структурировать изложение результатов, содержательно сформулировать выводы, показать результативность проведенного исследования.

Заключение

Диссертация В.В. Скрипняка на тему «Моделирование деформации и разрушения высокомодульных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи установления закономерностей деформации, повреждения и разрушения керамических материалов, нанокompозитов в широком диапазоне скоростей нагружения, развитие многоуровневого подхода для прогнозирования механического поведения высокомодульных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях, что имеет важное значение для развития механики деформируемого твердого тела.

Диссертация «Моделирование деформации и разрушения высокомодульных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях» по содержанию, объему выполненных исследований, новизне, научной и практической значимости результатов, полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям (Пункт 9), а ее автор, Скрипняк Владимир Владимирович, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на научном семинаре лаборатории Физических основ прочности и утвержден на заседании ученого совета ИМСС УрО РАН (протокол № 9-15 от 4.12.2015).

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) 237-84-31, mvp@icmm.ru, www.icmm.ru

