

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Скрипняка Владимира Владимировича «Моделирование деформации и разрушения высококомодульных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твёрдого тела.

Диссертация В.В. Скрипняка посвящена развитию одного из перспективных подходов многоуровневого моделирования в 3D постановке для исследования закономерностей разрушения высококомодульной керамики и нанокompозитов на мезоскопическом уровне при динамических и квазистатических нагружениях. В качестве объекта исследования выбран перспективный класс высокотемпературных керамических материалов и нанокompозитов, имеющий важное прикладное значение для авиакосмической отрасли, ядерной энергетики и ряда других отраслей.

Актуальность избранной темы

Тема диссертации В.В. Скрипняка, несомненно, является актуальной. При проектировании элементов конструкций современных и перспективных энергетических установок, авиакосмической техники остро востребованы адекватные модели и методы для описания механического поведения новых высококомодульных керамических материалов. Экспериментальные исследования свойств рассматриваемых материалов, особенно в условиях, приближенных к эксплуатационным условиям, в том числе при динамических воздействиях, дорогостоящи и трудоемки. Одним из перспективных направлений для прогнозирования механического поведения высококомодульных керамических материалов является многоуровневое моделирование, которое развивается в диссертационной работе В.В. Скрипняка.

Диссертация включает введение, три раздела и заключение, а также содержит список литературы из 159 работ.

В первом разделе диссертации обсуждаются вопросы построения двухуровневой физико-математической модели, позволяющей описывать процессы деформации, повреждения и разрушения керамических материалов с учетом фазовой, зеренной и поровой структуры. Для определения механического отклика высококомодульных материалов на внешние воздействия была сгенерирована трехмерная модель объема материала с заданными параметрами зеренной структуры матрицы, концентрации,

размеров и пространственного распределения размеров, относительного объема пор и дисперсных фаз.

Во втором разделе приведены результаты экспериментальных исследований закономерностей деформации и разрушения керамики ZrB_2 , $ZrB_2 - ZrO_2$, $ZrB_2 - B_4C$ в диапазоне скоростей деформаций от 10^{-3} до 10^3 с^{-1} при сжатии, изгибе и растяжении. Представлены полученные экспериментальные данные о трещиностойкости, изгибной прочности, прочности на сжатие, растяжение, включая откол, керамики ZrB_2 .

В третьем разделе диссертационной работы представлены результаты моделирования динамического разрушения наноструктурных материалов $ZrB_2 - ZrO_2$, $ZrB_2 - B_4C$, $ZrB_2 - SiC$.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

- в разработке двухуровневой вычислительной модели, позволяющей описывать процессы деформации, повреждения и разрушения высокомодульных керамических материалов с учетом фазовой, зеренной и поровой структуры в диапазоне скоростей деформаций от 10^{-3} до 10^3 с^{-1} ;
- в разработке методики трехмерного численного моделирования на мезоскопическом уровне процессов деформации и разрушения высокотемпературных наноструктурных керамических материалов для прогнозирования сдвиговой и откольной прочности при ударно-волновых воздействиях с амплитудами до 20 ГПа;
- в результате трехмерного численного моделирования ударно-волнового нагружения нанокompозитов ZrB_2-B_4C , ZrB_2-ZrO_2 , ZrB_2-SiC с пористостью от 1 до 10% установлено, что повреждение высокотемпературной керамики при сжатии и откольном разрушении связано с механизмами транскристаллитного и интеркристаллитного разрушения и определяет квазихрупкий характер макроскопического разрушения;
- показано, что величина внутренних напряжений вокруг частиц упрочняющих фаз влияет на величину пределов упругости Гюгонио композитов и барьерные напряжения откольного разрушения;
- в результате проведенных экспериментальных исследований получены новые данные о закономерностях деформации, разрушения материалов на основе ZrB_2 в диапазоне скоростей деформации от 10^{-3} до 10^3 с^{-1} при сжатии, изгибе и растяжении;
- в результате трехмерного численного моделирования процессов деформации, повреждения и разрушения пластин из композитов WC-Co при шлифовании алмазными кругами в диапазоне скоростей от 15 м/с до 45 м/с при температурах 700 К, 1000 К и прижимающих усилиях от 10 Н до 300 Н, установлено, что степень повреждения приповерхностных слоев и размеры фрагментов разрушения в краевых зонах пластин

зависят от комбинации скорости шлифования, прижимающего давления и температуры в зоне шлифования.

Указанные выше результаты диссертации В.В. Скрипняка являются новыми.

Достоверность основных результатов и выводов диссертации В.В. Скрипняка сомнения не вызывает. Обоснованность и достоверность результатов, полученных в работе, обеспечивается математической корректностью постановок задач, подтверждается сравнением результатов численного моделирования с экспериментальными данными, корреляцией полученных экспериментальных данных с известными результатами исследований других авторов.

Материалы диссертации свидетельствуют о том, что В.В. Скрипняком решена задача, имеющая важное значение для исследований законов деформирования, повреждения и разрушения искусственных и вновь создаваемых керамических материалов, разработки математических моделей и численных методов анализа применительно к динамическим задачам, не допускающим прямого аналитического исследования. Это соответствует пунктам 1 и 8 паспорта специальности 01.02.04 –Механика деформируемого твердого тела.

Как следует из представленных в диссертации материалов, исследования В.В. Скрипняка проводились при поддержке программы стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации Российской экономики (СП 1783.2012.5) НИР: «Исследование прочностных свойств наноструктурных керамических материалов в условиях высокоэнергетических воздействий», гранта РФФИ 12-01-00805 «Развитие реологических моделей для математического моделирования процессов деформирования и разрушения хрупких гетерогенных материалов, находящихся в стесненных условиях, с учетом зависимости механического отклика от скорости нагружения», проекта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г., мероприятие 1.3.2 «Компьютерное моделирование деформации и разрушения наноматериалов при механических воздействиях на основе многоуровневого подхода», в рамках ГК № 14.132.21.1700 от 01.10.2012 г.; проекта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., соглашение № 14.В37.21.0441 Минобрнауки РФ; НИР в рамках ГК ФГАОУ ВО ТГУ №2014.223 (код проекта 1943).

Разработанные в диссертационной работе В.В. Скрипняка модели и вычислительные алгоритмы многоуровневого моделирования расширяют возможности исследования процессов деформации и разрушения керамических композиционных материалов, включая нанокомпозиты, в условиях интенсивных динамических воздействий. Они могут

использоваться при решении как прикладных, так и научных поисковых задач и обеспечивают более полное понимание закономерностей процессов деформации и разрушения субмикроструктурных керамических композиционных материалов. Результаты диссертации имеют фундаментальный характер и могут быть полезны коллективам, занимающимся решением прикладных задач, связанных с проектированием изделий из высокотемпературных керамических материалов, подвергающихся интенсивным динамическим воздействиям.

Это свидетельствует о несомненной значимости полученных в диссертации В.В. Скрипняка результатов для науки и практики.

Результаты и выводы диссертации В.В. Скрипняка могут быть рекомендованы к использованию в организациях и предприятиях, выполняющих исследовательские, проектные и опытно-конструкторские работы, связанные с созданием элементов конструкций из высокомодульных керамических материалов, в том числе высокотемпературных керамических нанокмпозитов, а также в исследовательских университетах РФ.

По диссертации В.В. Скрипняка имеется ряд замечаний:

1. В диссертации микроповреждения описываются скалярным параметром D , который имеет смысл неупругой деформации. В керамике неупругие деформации происходят за счет возникновения микротрещин и смещения берегов трещин друг относительно друга в плоскости микротрещины. В результате этого происходит релаксация касательных напряжений. При сжатии в упругопластической волне микротрещины имеют «нулевой» объем, и через поверхность микротрещин передается нормальное к этой поверхности напряжение. Отсюда следует, что при возникновении и развитии микротрещин релаксации давления не происходит. Однако в диссертации при определении средних напряжений используются формулы (1.34, 3.16), из которых видно, что при увеличении параметра поврежденности происходит уменьшение среднего давления в керамике по линейному закону.
2. В диссертации не представлены серии расчетов на сгущающихся сетках, которые позволили бы дать заключение о точности использованных схем и сходимости результатов при измельчении сетки.
3. В п.3.4. приведены результаты моделирования задачи о деформации и повреждении композитных высокопрочных материалов при шлифовке алмазными кругами. Данная частная задача выпадает из общего контекста диссертации.

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

По теме диссертации опубликовано 27 работ, в том числе 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 (из них 2 сборника материалов, индексируемых в Web of Science и Scopus).

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. В целом диссертация выполнена на высоком научном уровне, текст диссертации и автореферата написаны в научном стиле, достаточно хорошо иллюстрированы.

На основании анализа диссертации и автореферата можно сделать следующее заключение:

диссертация Владимира Владимировича Скрипняка является законченной научной квалификационной работой, в которой установлены закономерности деформации, повреждения и разрушения керамических материалов, наноккомпозитов в широком диапазоне скоростей нагружения. Развита методика многоуровневого моделирования для прогнозирования механического поведения высокопрочных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружении, имеющие важное значение для специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела в областях исследования - законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых» (п. 1 паспорта специальности), «математические модели и численные методы анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования» (п. 8 паспорта специальности).

Считаю, что диссертация "Моделирование деформации и разрушения высокопрочных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях" полностью соответствует требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", предъявляемым 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.

26.11.2015 г.

Официальный оппонент,

ведущий научный сотрудник лаборатории Физики многофазных сред
федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН),
доктор физико-математических наук,
профессор



Киселев Сергей Петрович

Россия, 630090, Новосибирск, Институтская, 4/1

<http://www.itam.nsc.ru>

Телефон: +7(383) 330-85-34, Факс: +7(383) 330-72-68

E-mail: kiselev@itam.nsc.ru

Я, Киселев Сергей Петрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Скрипняк Владимира Владимировича, и их дальнейшей обработкой.

Подпись С.П. Киселева заверяю

Ученый секретарь ИТПМ СО РАН

27.11.2015



Кратова Ю.В.