

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 24 декабря 2015 года публичной защиты диссертации Скрипняка Владимира Владимировича «Моделирование деформации и разрушения высококомодульных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Время начала заседания: 16.20

Время окончания заседания: 18.00

На заседании присутствовали 25 из 26 членов диссертационного совета, из них 9 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела:

1.	Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р техн. наук	01.02.04
2.	Васенин Игорь Михайлович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
3.	Пикущак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
4.	Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5.	Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
6.	Бубенчиков Алексей Михайлович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7.	Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
8.	Ворожцов Александр Борисович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9.	Герасимов Александр Владимирович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
11.	Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
12.	Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
13.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
14.	Кульков Сергей Николаевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
15.	Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
16.	Макаров Павел Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
17.	Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
18.	Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
19.	Смоляков Виктор Кузьмич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
20.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
21.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
22.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
23.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
24.	Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
25.	Якутенко Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05

Заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 25, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить В.В. Скрипняку учёную степень кандидата физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.13
на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.12.2015 г., № 246

О присуждении **Скрипняку Владимиру Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Моделирование деформации и разрушения высококомодульных керамических материалов при квазистатическом и динамическом нагружениях»** по специальности **01.02.04** – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 19.10.2015 г., протокол № 237, диссертационным советом Д 212.267.13 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 203-161 от 08.02.2008 г.).

Соискатель **Скрипняк Владимир Владимирович**, 1989 года рождения.

В 2012 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

В 2015 году соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности лаборанта-исследователя лаборатории проблем опасных космических объектов (в период подготовки диссертации – в должности старшего лаборанта кафедры механики деформируемого твердого тела) в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования

«Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре механики деформируемого твердого тела федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Кульков Сергей Николаевич**, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория физики наноструктурных функциональных материалов, заведующий лабораторией; по совместительству – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра прочности и проектирования, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Киселев Сергей Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория 6. Физики многофазных сред, ведущий научный сотрудник

Иванова Оксана Владимировна, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Томский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, отдел структурной макрокинетики, старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук**, г. Пермь, в своем положительном заключении, подписанном **Наймарком Олегом Борисовичем** (доктор физико-математических наук, профессор, лаборатория физических основ прочности, заведующий

лабораторией) указала, что актуальность диссертации В.В. Скрипняка для механики деформируемого твердого тела связана с необходимостью разработки и обоснования адекватных моделей деформирования и разрушения перспективных керамических материалов с учетом их состава и структуры в условиях квазистатических и динамических воздействий для выполнения поисковых работ по созданию конструкций новой техники. Новыми являются развитый подход многоуровневого моделирования в трехмерной постановке для исследования закономерностей разрушения керамики и наноккомпозитов на мезоскопическом уровне при динамическом нагружении, установленные закономерности деформации, повреждения и разрушения наноструктурных керамических материалов на основе диборида циркония. Полученные результаты могут быть использованы для решения широкого круга научных и практических задач механики структурно-неоднородных сред, в том числе для прогнозирования механических свойств новых материалов, а также при проектировании элементов конструкций из новых высокомодульных керамических материалов для высокотехнологичных объектов аэрокосмической отрасли, атомной энергетики, машиностроения и транспорта.

Соискатель имеет 49 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 29 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 9 (из них 2 статьи в журналах, индексируемых Web of Science), свидетельств на программы для ЭВМ – 2, статей в научных журналах – 2, статей в сборниках научных трудов – 2, публикаций в сборниках международных и всероссийских научных конференций – 14 (из них 2 сборника, индексируемых Web of Science и Scopus). Общий объем публикаций – 10.14 п.л., авторский вклад – 3.31 п.л.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные 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:

1. Skripnyak V. V. Computer simulation of fracture quasi-brittle ceramic nanocomposites under pulse loading / V. V. Skripnyak, E. G. Skripnyak,

V. A. Skripnyak, I. K. Vaganova // Source of the 11th World Congress on Computational Mechanics WCCM 2014, 5th European Conference on Computational Mechanics, ECCM 2014 and 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECFD 2014. –Vol. IV. – P. 3904–3914. – 0,66 / 0,21 п.л.

2. Ваганова И. К. Моделирование процессов разрушения керамических нанокompозитов при высокоэнергетических воздействиях / И. К. Ваганова, **В. В. Скрипняк**, В. А. Скрипняк, Е. Г. Скрипняк // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 7/3. – С. 23–25. – 0,19 / 0,1 п.л.

3. Скрипняк В. А. Многоуровневое моделирование процессов деформации и разрушения структурированных твердых тел. Проблема определения представительного объема для динамических условий нагружения / В. А. Скрипняк, Е. Г. Скрипняк, **В. В. Скрипняк**, И. К. Ваганова // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 7/3. – С. 80–82. – 0,25 / 0,1 п.л.

На автореферат поступило 9 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **В.Е. Громов**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой физики им. профессора В.М. Финкеля Сибирского государственного индустриального университета, г. Новокузнецк, и **С.А. Невский**, канд. техн. наук, доцент кафедры физики им. профессора В.М. Финкеля Сибирского государственного индустриального университета, г. Новокузнецк, *без замечаний*.
2. **А.Ф. Ревуженко**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий отделом моделирования процессов деформирования и разрушения горных пород Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, **С.В. Лавриков**, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., главный научный сотрудник лаборатории механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, *без замечаний*.
3. **Ю.В. Маслов**, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры «Технологическое проектирование и управление качеством» Московского авиационного института (национальный исследовательский университет), *с замечанием*: к недостаткам работы можно отнести некоторые стилистические ошибки, которые не влияют на практическую и научную ценность работы.

4. **А.М. Брагов**, д-р техн. наук, проф., заведующий лабораторией механики материалов НИИ механики при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, **А.К. Ломунов**, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории механики материалов НИИ механики при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, *с замечанием*: следовало более подробно отразить результаты о влиянии пористости на квазихрупкий характер разрушения исследуемых керамических материалов. 5. **Б.А. Надыкто**, д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник Российского федерального ядерного центра Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики, г. Саров, *с замечаниями*: на рис. 4а расчетная ударная адиабата ZrB_2 в области низких давлений заметно отличается от эксперимента, а учитывая, что в диссертации моделирование свойств материалов проводится при давлениях ниже 20 ГПа, эта область должна быть описана в расчетах наиболее точно; не указана начальная плотность и температура образцов; не дана ссылка на эксперимент; в ряде материалов (в частности, ZrB_2 , SiC , B_4C) можно ожидать фазовые превращения при сжатии, которые могут влиять на расчетное описание материалов, поэтому для надежной характеристики образцов уже недостаточно данных экспериментов со сплошными образцами при комнатной температуре и необходимо привлекать эксперименты с нагретыми и пористыми образцами; на рисунке 2б не указаны единицы измерения размеров пор; на рис. 3б не пояснено, чем отличаются двойные кривые для скоростей звука. 6. **В.Э. Вильдеман**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры механики композиционных материалов и конструкций, директор Центра экспериментальной механики Пермского национального исследовательского политехнического университета, *с замечаниями*: из текста автореферата не понятно, какие кривые на рисунке 5б соответствуют зависимостям скорости нагружения и напряжения от времени при раскалывании опытных образцов нанокерамики; в работе получен большой объем результатов численного моделирования механического поведения керамик в широком диапазоне скоростей нагружения, однако, отсутствует информация о сходимости и устойчивости численных процедур. 7. **В.Н. Удодов**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий

лабораторией физики твердого тела, заведующий кафедрой теоретической физики и информационных технологий в образовании Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан, и **А.А. Попов**, канд. физ.-мат. наук, доц., проректор по науке и инновациям Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан, *с замечанием*: в основных результатах и выводах (С. 18-19) хотелось бы видеть не только констатацию результатов, но и их более глубокий анализ. 8. **В.И. Халиулин**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Производство летательных аппаратов», руководитель Центра композитных технологий Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, без замечаний. 9. **И.А. Зырянов**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент кафедры «Прикладная механика» Сибирского федерального университета, г. Красноярск, и **Е.Н. Федорова**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Прикладная механика» Сибирского федерального университета, г. Красноярск, *с замечаниями*: на рис. 2 представлены количества зерен и пор, распределение их размеров, но не указано, в каком объеме проводились измерения (следовало бы привести в %); на той же странице сказано: «Проведенные испытания показали несущественное изменение удельной ударной вязкости керамики 25 ± 5 кДж/м² от скорости прогиба образцов в диапазоне от 1 до 5 м/с. Величина удельной ударной вязкости исследуемой керамики ZrB₂ превышает 3 кДж/м²» – непонятно, зачем такая констатация; недостаточно представлен переход к трехмерному моделированию процессов деформации, повреждения и разрушения пластин твердого сплава WC-Co и связь с остальными разделами диссертации.

В отзывах отмечается, что разработка новых и развитие существующих методов и моделей многоуровневого компьютерного моделирования высококомодульных керамических материалов при различных видах динамического и квазистатического нагружения являются на сегодняшний день актуальными задачами для механики деформируемого твердого тела. Автором на основе многоуровневого подхода разработана вычислительная модель, описывающая процесс деформирования с учетом накопления повреждений и разрушения высококомодульных керамических материалов в широком диапазоне скоростей

прикладываемой нагрузки, изучены закономерности деформации, повреждения и разрушения высокомодульных материалов на основе диборида циркония при интенсивном динамическом нагружении. Разработанные автором модели и алгоритмы могут быть использованы при создании новых керамических материалов и нанокомпозитов для прогнозирования их механического поведения в широком диапазоне скоростей нагружения, при проектировании элементов конструкций из высокомодульных керамических материалов, а также для определения рациональных режимов алмазного шлифования при обработке высокомодульных керамических композиционных материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что в сферу интересов **С.П. Киселева** входят механика перспективных конструкционных и функциональных материалов, механика деформирования структурно-неоднородных сред, вычислительная механика сред со структурой, соответствующие тематике диссертации; в сферу интересов **О.В. Ивановой** входят вычислительная механика деформируемых материалов, математические модели сред со структурой, численные методы в механике деформируемого твердого тела, механика деформирования структурно-неоднородных сред, нелинейная механика деформируемого твердого тела, соответствующие тематике диссертации; **Институт механики сплошных сред Уральского отделения РАН** является одним из ведущих учреждений науки в области механики деформируемого твердого тела, в котором ведутся исследования в соответствующих диссертации сферах науки, а именно в механике перспективных конструкционных и функциональных материалов, в вычислительной механике деформируемых материалов, прочности материалов, в механике деформирования структурно-неоднородных сред, методов математического моделирования, в нелинейной механике деформируемого твердого тела.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана двухуровневая вычислительная модель, позволяющая описывать процессы деформации, повреждения и разрушения многофазных

высокотемпературных керамических материалов с учетом фазовой, зеренной и поровой структуры в диапазоне скоростей деформации от 0.001 до 10^5 с^{-1} ;

предложена методика трехмерного численного моделирования на мезоскопическом уровне процессов деформации и разрушения многофазных высокотемпературных наноструктурных керамических материалов для прогнозирования сдвиговой и откольной прочности при ударно-волновых воздействиях с амплитудами до 20 ГПа;

доказано наличие общих закономерностей деформации, разрушения высококомодульных наноструктурных материалов на основе ZrB_2 в диапазоне скоростей деформации от 10^{-3} до 10^3 с^{-1} при сжатии, изгибе и растяжении.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказано существование общих закономерностей механического поведения высококомодульных керамических материалов и высококомодульных керамических нанокомпозитов, а именно:

изложены доказательства изменения пороговых значений напряжений начала повреждения керамических материалов на основе ZrB_2 от скорости деформации в диапазоне от 10^{-3} до 10^3 с^{-1} ;

раскрыты закономерности процессов деформации, повреждения и разрушения на мезоскопическом и макроскопическом уровнях в наноструктурной керамике ZrB_2 , высококомодульных нанокомпозитах $\text{ZrB}_2\text{--B}_4\text{C}$, $\text{ZrB}_2\text{--}t \text{ ZrO}_2$, $\text{ZrB}_2\text{--SiC}$ при сжатии и растяжении в широком диапазоне скоростей нагружения, процессы повреждения пластин из композитов WC–Co при высокоскоростном шлифовании алмазными кругами;

изучены закономерности развития повреждений и квазихрупкого разрушения нанокомпозитов $\text{ZrB}_2\text{--B}_4\text{C}$, $\text{ZrB}_2\text{--}t \text{ ZrO}_2$, $\text{ZrB}_2\text{--SiC}$ в диапазоне изменения концентрации упрочняющих фаз до 30 об. % при нагружении ударными импульсами с амплитудами от 0,7 до 3 пределов упругости Гюгонио.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены модели, методика численного моделирования, которые могут применяться для установления закономерностей механического поведения вновь разрабатываемых материалов для атомной энергетики, авиастроения и других отраслей техники;

получены новые экспериментальные данные о механических свойствах материалов на основе ZrB_2 в широком диапазоне скоростей деформации, которые могут быть использованы при применении указанных материалов в инженерной практике;

созданы модели и алгоритмы, которые могут применяться при решении прикладных задач, связанных с проектированием изделий из высокопрочных керамических материалов, подвергающихся интенсивным динамическим воздействиям.

Результаты диссертации получены при выполнении ряда проектов, включая гранты Президента РФ, РФФИ, ФЦП.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы при проведении ПНИР и НИОКР в учреждениях РАН, вузах, федеральных ядерных центрах, таких как Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург), Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), Институт механики УрО РАН (Ижевск), Институт механики сплошных сред УрО РАН (Пермь), Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (Новосибирск), Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск), Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Санкт-Петербургский государственный университет, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева (Красноярск), Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики

(Саров), Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ технической физики имени академика Е.И. Забабахина (Снежинск) и в ряде других российских и зарубежных организаций.

Новизна результатов диссертационного исследования заключается в том, что развит подход многоуровневого моделирования в трехмерной постановке для исследования закономерностей разрушения высококомодульной керамики и наноккомпозитов на мезоскопическом уровне при динамическом нагружении, получены экспериментальные данные о комплексе механических характеристик наноструктурной керамики на основе диборида, о закономерностях протекания во времени процессов деформации и разрушения в широком диапазоне скоростей нагружения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использованы корректные математическая и физическая постановки задач деформирования структурно-неоднородных сред;

использованы для решения задач апробированные численные методы;

проведена серия тестовых расчетов, доказывающих корректное описание процессов деформации и разрушения высококомодульных керамических материалов в исследуемом диапазоне скоростей нагружения;

проведено сравнение полученных результатов численного моделирования с экспериментальными данными и численными результатами, полученными другими авторами, показавшее хорошее согласие с экспериментальными данными; экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании,

показана воспроизводимость результатов в исследованном диапазоне условий испытаний.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии на всех этапах в подготовке и проведении экспериментальных исследований, выполнении всех расчетов, обработке и анализе их результатов проведенных в работе. Постановка задач кандидатской диссертации и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем. Соискатель принимал личное

участие в апробации результатов исследования. При активном участии автора подготовлены основные публикации по теме диссертации.

Диссертация соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и является 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, имеющей значение для развития механики деформируемого твердого тела.

На заседании 24.12.2015 г. диссертационный совет принял решение присудить **Скрипняку Владимиру Владимировичу** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 25 человек, из них 9 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 25, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

24 декабря 2015 г.



Христенко Юрий Федорович

Пикущак Елизавета Владимировна