

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 26 декабря 2017 года публичной защиты диссертации Шваба Евгения Анатольевича «Процессы локализации деформации и разрушения на разных масштабных уровнях в материале с композитным металлокерамическим покрытием» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Присутствовали 21 из 26 членов диссертационного совета, из них 8 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.	Пикушак Елизавета Владимировна ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
3.	Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
4.	Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5.	Бубенчиков Алексей Михайлович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
6.	Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
8.	Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
9.	Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
11.	Кульков Сергей Николаевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
12.	Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
13.	Макаров Павел Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
14.	Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
15.	Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
16.	Смоляков Виктор Кузьмич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
17.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
18.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
19.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
20.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
21.	Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14

В связи с невозможностью присутствия на заседании председателя диссертационного совета, доктора физико-математических наук, профессора Гришина Анатолия Михайловича по его письменному поручению 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 – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Е. А. Швабу учёную степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.13,
созданного 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 26.12.2017 № 330

О присуждении **Швабу Евгению Анатольевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Процессы локализации деформации и разрушения на разных масштабных уровнях в материале с композитным металлокерамическим покрытием»** по специальности **01.02.04** -- Механика деформируемого твердого тела принята к защите 20.10.2017 (протокол заседания № 328) диссертационным советом Д 212.267.13, созданным 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 № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Шваб Евгений Анатольевич**, 1976 года рождения.

В 2005 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет».

В 2014 году соискатель очно окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

Работает в должности инженера отдела расчета прочности в Doppelmaug Seilbahnen GmbH (Австрия).

Диссертация выполнена в лаборатории механики структурно-неоднородных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Балохонов Руслан Регович**, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория механики структурно-неоднородных сред, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Немирович-Данченко Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», кафедра геофизики, профессор

Лавриков Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Томский государственный архитектурно-строительный университет**», г. Томск, в своем положительном отзыве, подписанном **Радченко Андреем Васильевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, институт кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве, директор; кафедра геоинформатики и кадастра, заведующий кафедрой), указала, что исследование механического поведения материалов с покрытиями, характеризующихся сложной внутренней структурой, является объемной и достаточно важной задачей, требующей точного и экономически выгодного решения. Развитие численных методик, позволяющих исследовать механическое поведение материалов с покрытиями, является актуальной задачей как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Е. А. Швабом получены следующие результаты, определяющие научную новизну и значимость работы: выявлены особенности локализации НДС в области границы раздела матрица–включение; обнаружено наличие локальных растягивающих

напряжений при внешнем сжимающем воздействии; обнаружен немонотонный характер концентрации напряжений от объемной доли включений в композитном покрытии; показано увеличение периода растрескивания покрытия в зависимости от его толщины; выявлено, что при одноосном сжатии в 1,5 %, вызванном охлаждением структуры в процессе производства, локальные пластические деформации достигают 12 %; показано влияние технологических остаточных напряжений, играющее положительную роль при механическом нагружении до малых степеней деформации, и слабо влияющее на прочность композитного покрытия при деформациях выше 5 %. Результаты и выводы работы могут быть использованы технологами для оптимизации структурно-механических свойств материалов с упрочняющими керамическими покрытиями, работающими в условиях растягивающих и сжимающих динамических нагрузок. Представленные структурно-механические модели могут быть использованы для исследования механического поведения других структурно-неоднородных сред, композиционных материалов и материалов с покрытиями, применяться в вузах и институтах ФАНО при разработке новых курсов лекций и обучении студентов старших курсов и аспирантов по специальности «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ (из них 1 статья в зарубежном научном журнале, индексируемом Web of Science, 1 статья в российском научном журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science), в сборнике материалов зарубежной научной конференции, индексируемом Web of Science опубликована 1 работа, в сборниках материалов международных научных конференций (в том числе Международной конференции по мезомеханике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов и 19 Европейской конференции по механике разрушения) опубликовано 8 работ. Общий объем публикаций автора – 9,36 п.л., личный вклад автора – 2,73 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Балохонов Р. Р. Влияние скорости деформирования на прочность композита «покрытие-подложка». Численное моделирование / Р. Р. Балохонов, В. А. Романова, **Е. А. Шваб** // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 320–340. – 2,43 / 0,81 п.л.

2. Балохонов Р. Р. Моделирование деформации и разрушения материала с покрытием на мезоуровне / Р. Р. Балохонов, В. А. Романова, **Е. А. Шваб**, Н. И. Карпенко // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 9. – С. 21–27. – 0,81 / 0,2 п.л.

3. Balokhonov R. R. Mesoscale analysis of deformation and fracture in coated materials / R. R. Balokhonov, V. A. Romanova, S. Schmauder, **E. Schwab** // Computational Materials Science. – 2012. – Vol. 64. – P. 306–311. – DOI: 10.1016/j.commatsci.2012.04.013. – 0,69 / 0,17 п.л. (*Web of Science*)

На автореферат поступило 5 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **В. Л. Попов**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой «Динамика систем и физика трения» Берлинского технического университета, Германия, *с замечанием*: из автореферата неясно, как учитывалась адгезия металла и керамики на границе их раздела.
2. **С. В. Смирнов**, д-р техн. наук, директор Института машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург, *с замечаниями*: из автореферата неясно, как и из каких соображений задавали адгезионную прочность на границах раздела «матрица-включение», «основа-покрытие»; неясно, зависит ли при численных расчётах траектория распространения трещины от особенностей дискретизации рассчитываемой области.
3. **О. Б. Наймарк**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий лабораторией «Физических основ прочности» Института механики сплошных сред УрО РАН – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, г. Пермь, *с замечанием*: не указаны доверительные интервалы на экспериментальных графиках.
4. **В. В. Поляков**, д-р физ.-мат. наук, проф., декан физико-технического

факультета, заведующий кафедрой прикладной физики, электроники и информационной безопасности Алтайского государственного университета, г. Барнаул, *без замечаний*. 5. **В. Е. Петрова**, д-р физ.-мат. наук, профессор Института тестирования материалов, материаловедения и прочности Штутгартского университета, Германия, *с замечанием*: в автореферате ничего не сказано о сеточной сходимости результатов расчётов распространения трещин.

В отзывах отмечается, что разработка численных моделей механического поведения и выявление свойств металлокерамических композитов и покрытий на их основе является одной из актуальных проблем современной механики деформируемого твердого тела. Материалы с композитными покрытиями широко применяются в различных отраслях промышленности, включая авиационную, автомобильную и др. Поэтому понимание процессов, протекающих в материале с покрытием при различных видах нагрузки, важно для поиска путей оптимизации параметров композиционных покрытий и повышения эксплуатационных характеристик. Е. А. Швабом разработана структурно-механическая модель материала с композитным металлокерамическим покрытием, включающая новую методику генерации трехмерных структур дисперсно-упрочненных композитов; показана зависимость прочности композита от расстояния между упрочняющими частицами и толщины покрытия; выявлены особенности формирования остаточных напряжений. Практическая ценность работы заключается в возможности повышения эксплуатационных характеристик металлических материалов с упрочняющими покрытиями за счет оптимизации внутренних параметров структуры на стадии получения изделий. Результаты исследования могут быть использованы при создании материалов с заданными свойствами, при моделировании поведения других классов композиционных материалов, при разработке технологии поверхностного упрочнения материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **М. М. Немирович-Данченко** является известным специалистом в области численного исследования деформирования и разрушения твёрдых тел, компьютерного моделирования прямых задач сейсмологии и сейсморазведки,

влияния трещиноватости и пористости среды на упругие волны; **С. В. Лавриков** является известным специалистом в области исследования методами математического моделирования напряженно-деформированного состояния структурно-неоднородных сред, в частности, горных массивов, сыпучих и несыпучих сред; **Томский государственный архитектурно-строительный университет** известен своими достижениями в области механики деформируемого твёрдого тела, компьютерного моделирования деформации и разрушения гетерогенных сред при динамических нагрузках, а также изучении фундаментальных проблем механики структурно-неоднородных сред.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны подходы к исследованию механизмов локализации деформации и разрушения в двух- и трёхмерной постановке, методика создания трёхмерных моделей композитных материалов на основе природного механизма дробления хрупких материалов при учёте масштабной инвариантности;

установлены закономерности деформационного поведения всей композиции как целого, в частности, способности сопротивляться внешним нагрузкам материала, имеющего покрытие с определенными физико-механическими свойствами и сложной геометрией;

получены зависимости прочности композита «алюминиевая матрица – включение карбида титана» от объемной доли включений в композитном покрытии и характера разрушения от толщины композитного покрытия. Относительно толстые покрытия растрескиваются реже. Это влечет образование полос локализованного сдвига и снижает прочность материала с покрытием на разрыв;

установлены закономерности формирования остаточных напряжений при охлаждении мезообъема композитного покрытия «алюминиевая матрица – включение карбида титана» из расплава до комнатной температуры в процессе производства методом лазерного сканирования, при котором включение находится в области объемного сжатия, а растягивающие напряжения возникают только в матрице, а также особенности концентрации напряжений и локализации пластического течения при последующем механическом нагружении мезообъема.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

представленные в работе результаты имеют фундаментальный характер и вносят вклад в развитие существующих представлений о процессах локализации деформации и разрушения в дисперсно-наполненных материалах, способствуют углубленному пониманию процессов неоднородного деформирования и разрушения и позволяют расширить теоретические знания в области их применения;

результаты исследований процессов возникновения остаточных напряжений, их интенсивности и величины пластической деформации, полученных в процессе производства металлокерамики методом лазерного сканирования поверхности, позволяют проводить теоретическую оценку и достигать желаемых свойств материалов с минимальным числом практических экспериментов;

результаты работы могут быть полезны специалистам в области механики материалов и инженерии поверхности, могут использоваться в учебных курсах и спецкурсах на технических факультетах высших учебных заведений.

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

разработаны методики моделирования трехмерных структур композитов с учётом геометрических неоднородностей, на основе которых возможно исследование термомеханических свойств широкого диапазона материалов в широком диапазоне рабочих температур.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Полученные результаты и методики исследования механизмов локализации деформации и разрушения могут быть распространены на различные типы перспективных материалов и найти применение в исследованиях по деформации и разрушению твердых тел, по физике конденсированных сред, проводимых в научных и учебных заведениях, таких как: Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН (в частности, в Институте механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь)), Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), Институт физики твердого тела РАН (г. Черноголовка), Институт

проблем химической физики РАН (г. Черноголовка), Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск), Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), Институт машиноведения УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт сильноточной электроники СО РАН (г. Томск), Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск), Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, а также в других организациях, занимающихся исследованиями механизмов деформации и разрушения различных типов перспективных материалов, и использоваться при подготовке высококвалифицированных специалистов в области механики деформируемого твердого тела.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

проведено сравнение данных численных экспериментов с имеющимися экспериментальными данными других исследователей при сопоставимых условиях экспериментов, которое показало хорошее соответствие полученных результатов.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в том, что впервые с использованием оригинальной методики, учитывающей геометрические неоднородности включений, на основе численного моделирования металлокерамического композита Al-TiC получены зависимости прочности от объёмной доли включений в композитном покрытии и характера разрушения в зависимости от толщины покрытия, а также закономерности формирования остаточных напряжений в процессе производства методом лазерного сканирования поверхности, и их влияние на сопротивление композитного покрытия внешним нагрузкам.

Личный вклад соискателя состоит в: совместном с научным руководителем определении цели и задач диссертационного исследования; самостоятельной разработке структурно-механической модели, включая новую методику генерации трехмерных структур «матрица–включения»; проведении расчетов; анализе и интерпретации полученных результатов.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по исследованию процессов локализации деформации и разрушения в металлокерамическом композите на основе алюминия и карбида титана с учетом остаточных напряжений, возникающих в процессе производства композитного покрытия, имеющей значение для развития механики деформируемого твердого тела.

На заседании 26.12.2017 диссертационный совет принял решение присудить **Швабу Е. А.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 21, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета

 Христенко Юрий Федорович

Ученый секретарь
диссертационного совета

 Пикущак Елизавета Владимировна

26.12.2017

