

## 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 16 декабря 2016 года публичной защиты диссертации Мартынова Сергея Андреевича «Моделирование процессов деформации и разрушения материала с криволинейной границей раздела «пластичная подложка–хрупкое покрытие»» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

На заседании 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.	Герасимов Александр Владимирович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
8.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9.	Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10.	Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
11.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
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.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
17.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
18.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
19.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
20.	Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
21.	Якутенок Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05

**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 С.А. Мартынову 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 16.12.2016 г., № 293

О присуждении **Мартынову Сергею Андреевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Моделирование процессов деформации и разрушения материала с криволинейной границей раздела «пластичная подложка–хрупкое покрытие»»** по специальности **01.02.04** – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 08.10.2016 г., протокол № 280, 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 № 105/нк от 11.04.2012 г.).

Соискатель **Мартынов Сергей Андреевич**, 1988 года рождения.

В 2012 г. соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2016 г. соискатель очно окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

Работает в должности инженера лаборатории механики структурно-неоднородных сред в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций, по совместительству – в должности младшего научного сотрудника лаборатории

проблем опасных космических объектов в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

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 и в лаборатории проблем опасных космических объектов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Балохонов Руслан Ревович**, 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, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**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

заклучении, подписанном **Радченко Андреем Васильевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра геоинформатики и кадастра, заведующий кафедрой), указала, что актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью исследования механического поведения материалов с покрытиями, характеризующихся сложной геометрией границы раздела «основной материал-покрытие», которая в свою очередь является сложной и достаточно важной задачей, требующая точного и экономически выгодного решения. Отличительной особенностью математического моделирования являются возможность исследования напряженно – деформированного состояния непосредственно в момент нагружения, кроме того такого рода исследования не требуют больших финансовых и временных затрат. В связи с этим развитие численных методик, позволяющих исследовать механическое поведение материалов с покрытиями, является актуальной задачей как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Автором выявлена стадийность локализации напряженно-деформированного состояния в области границы раздела «покрытие–подложка»; обнаружен различный характер разрушения покрытий в зависимости от скорости ударного сжатия и от наличия переходного слоя между покрытием и подложкой; установлена взаимосвязь процессов локализации пластического течения в подложке и растрескивания покрытия при движении полосы Чернова-Людерса; обнаружен безразмерный комплекс, определяющий значение оптимальной толщины и связанный с кривизной границы раздела. Структурно-механическая численная модель и программный комплекс, разработанные в рамках диссертации, могут применяться для исследования механического поведения других структурно-неоднородных сред, включая композиционные материалы и материалы с покрытиями, а также при создании новых лекционных курсов и методических пособий, ориентированных на магистрантов и аспирантов по специальности «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 21 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации – 14 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 5, в зарубежных научных журналах, индексируемых Wen of Science, в сборниках материалов всероссийских и международных научных и научно-практических

конференций и семинаров – 6. Общий объем публикаций – 5,03 п.л., авторский вклад – 1,43 п.л.

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 распространения фронтов медленных течений на прочность композита «покрытие–подложка». Численное моделирование / Р. Р. Балохонов, В. А. Романова, З. Шмаудер, Е. А. Шваб, **С. А. Мартынов** // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18. – № 2. – С. 169–189. – 1,08 / 0,21 п.л.

2. Balokhonov R. R. Simulation of Deformation and Fracture of Coated Material with Account for Propagation of a Lüders- Chernov Band in the Steel Substrate / R. R. Balokhonov, V. A. Romanova, **S. A. Martynov**, E. A. Schwab // Physical Mesomechanics. – 2013. – V. 16. – is. 2. – P. 133–140. – DOI 10.1134/S1029959913020045. – 0,5 / 0,12 п.л.

3. Балохонов Р. Р. Особенности формирования деформационного рельефа на поверхности материала с криволинейной границей раздела «покрытие-подложка» / Р. Р. Балохонов, В. А. Романова, **С. А. Мартынов**, Ж. Г. Ковалевская // Физическая мезомеханика. – 2014. – Т. 17. – № 2. – С. 35–41. – 0,55 / 0,13 п.л.

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

На автореферат поступило 6 положительных отзывов. Отзывы представили:  
1. **С. В. Смирнов**, д-р техн. наук, директор Института машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, с замечанием: из автореферата не ясно, как определяли пределы прочности материала покрытия на растяжение и сжатие и свойства переходного слоя между подложкой и покрытием для осуществления численного моделирования. 2. **П. В. Трусов**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой математического моделирования систем и процессов

Пермского национального исследовательского политехнического университета, *с замечаниями*: в автореферате не уделено должного внимания анализу технологических остаточных напряжений, неминуемо возникающих в процессе нанесения покрытий, возможности фазовых превращений в материале подложки; в должной мере не описаны определяющие соотношения, в связи с чем не ясна их область применимости (например, для анализа сложного нагружения); судя по приведенным соотношениям, модель в целом ориентирована на описание деформирования изотропных материалов, в связи с этим возникает вопрос о масштабах, на которых возникают повреждения и микротрещины – допустимо ли на этих масштабах предположение об изотропии? не ясно, чем обосновывается введение условия (с. 8)  $\varepsilon_{eq}^p = \varepsilon_0$  (если не принимать в расчет желание автора организовать волновое движение фронта пластической деформации). Оно вносит некоторую непоследовательность в разрабатываемую модель, в которой используется аксиома локальности действия во всех уравнениях, включая основное определяющее соотношение.

3. **В. Е. Петрова**, д-р физ.-мат. наук, Институт тестирования материалов, материаловедения и прочности (IMWF), Штутгартский университет, Генмания, *с замечанием*: из автореферата не ясно, как реализовано разрушение после выполнения критической условий.

4. **И. В. Пантелеев**, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории физических основ прочности Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, и **О. А. Плехов**, д-р физ.-мат. наук, профессор РАН, заместитель директора по науке Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь, *с замечаниями*: в автореферате не уделено достаточно внимания вопросам создания виртуального образа исследуемого объекта, не описаны особенности генерации криволинейной границы и оценки её соответствия реальному объекту, нет информации об особенностях генерации сетки в области концентраторов напряжений, и о машинном времени необходимом для расчёта представленных результатов; ввиду того, что в тексте автореферата не приведена полная математическая постановка задачи, не ясно, какие ограничения на максимальную интенсивность динамического воздействия имеют используемые при численном моделировании определяющие соотношения; в автореферате приведены расчетные

кривые течения стали STE250 для скорости деформации  $8000 \text{ с}^{-1}$ . При этом отсутствует пояснение о том, почему в этом случае можно пренебречь температурными эффектами и их влиянием на процесс деформирования и разрушения системы «подложка–покрытие». 5. **В. Л. Попов**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой системной динамики и физики трения Института механики Берлинского технического университета, Германия, *без замечаний*. 6. **А. В. Ковалев**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой механики и компьютерного моделирования Воронежского государственного университета, *без замечаний*.

В отзывах отмечается актуальность изучения влияния структуры и геометрических характеристик покрытия на характер локализованного пластического течения в стальной подложке и разрушения боридного покрытия при различных видах внешнего воздействия, связанная с оптимизацией механических свойств композиционных материалов. Автором получены новые результаты влияния ряда факторов (наличие переходного слоя; толщины покрытия; степени неровности границы раздела; вида и скорости нагружения; распространение в стальной подложке полосы Чернова – Людерса) на механическое поведение материала с покрытием. Представлена модель, учитывающая возможность распространения фронтов неоднородной пластической деформации. Выводы, представленные в работе, имеют фундаментальный характер и способствуют углубленному пониманию закономерностей деформации структурно-неоднородных материалов на разных масштабных уровнях. Результаты работы в дальнейшем могут быть полезны при разработке технологии поверхностного упрочнения материалов. разработанная структурно-механическая модель и программный комплекс имеют перспективу быть использованными для исследования механического поведения различных структурно-неоднородных сред и материалов с покрытиями.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **М.М. Немирович-Данченко** является известным специалистом в вопросах решения прямых задач сейсмологии и сейсморазведки методами компьютерного моделирования и изучения 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 не сыпучих 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:**

*выявлена* стадийность локализации напряженно–деформированного состояния в области границы раздела покрытие–подложка;

*обнаружено*, что различный характер разрушения покрытий зависит от скорости ударного сжатия и от наличия переходного слоя между покрытием и подложкой;

*установлена* взаимосвязь процессов локализации пластического течения в подложке и растрескивания покрытия при движении полосы Чернова–Людерса;

*показано*, что существует оптимальная толщина покрытия, и найден безразмерный параметр, связанный с кривизной границы раздела и определяющий значение оптимальной толщины.

**Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:**

в работе получены результаты, которые вносят вклад в развитие численных методов решения краевых задач механики деформируемого твердого тела, а именно:

*получены* расчетные зависимости и картины напряженно–деформированного состояния, определяющие условия и места концентрации напряжений, и локализации пластических деформаций вдоль криволинейной границы раздела «сталь–боридное покрытие»;

*Полученные результаты и сделанные выводы* относительно влияния переходных слоев, скорости нагружения, механических и геометрических свойств покрытия и стальной подложки имеют фундаментальный характер и способствуют углубленному пониманию процессов деформирования в структурно–неоднородной среде.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики:**

*полученные результаты и выводы работы* могут быть использованы технологами для оптимизации структурно–механических свойств материалов с упрочняющими покрытиями, работающими в условиях растягивающих и сжимающих динамических нагрузок;

*модифицированная структурно–механическая численная модель и разработанный программный комплекс* могут быть использованы для исследования механического поведения других структурно–неоднородных сред, композиционных материалов и материалов с покрытиями;

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Результаты и выводы работы могут быть использованы технологами для оптимизации структурно–механических свойств материалов с упрочняющими покрытиями, работающими в условиях растягивающих и сжимающих динамических нагрузок. Результаты, полученные в диссертации, могут быть рекомендованы для расширенного использования в учреждениях и академических институтах, которые занимаются исследованием поверхностно упрочнённых материалов, таких как Институт прикладной механики СО РАН (г. Москва), Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского (г. Казань), Казанский федеральный университет и другие образовательные и академические организации.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*для решения задачи использованы апробированные методы;*

*достоверность подтверждается исследованиями на сеточную сходимость;*

*установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами экспериментов, представленными в независимых источниках по тематике диссертации.*

**Новизна результатов диссертационного исследования** заключается во впервые полученных результатах, имеющих фундаментальный характер, которые вносят вклад в расширение существующих представлений о закономерностях

деформации и разрушения в материалах с керамическим покрытием, а именно: выявлена стадийность локализации напряженно-деформированного состояния в области границы раздела покрытие-подложка; обнаружен различный характер разрушения покрытий в зависимости от скорости ударного сжатия и от наличия переходного слоя между покрытием и подложкой; установлена взаимосвязь процессов локализации пластического течения в подложке и растрескивания покрытия при движении полосы Чернова-Людерса; показано, что существует оптимальная толщина покрытия, и найден безразмерный параметр, определяющий значение оптимальной толщины и связанный с кривизной границы раздела.

**Личный вклад автора заключается в:** непосредственном выполнении, обработке и анализе всех расчетов, проведенных в работе; в совместной с научным руководителем постановке задач кандидатской диссертации, формулировке положений и выводов, выносимых на защиту, написании статей по теме кандидатской диссертации.

Диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, установленным для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, согласно пункту 9, является научно-квалификационной работой, в которой содержится комплексное исследование деформации и разрушения в материале с керамическим покрытием с позиции мезомеханики материалов.

На заседании 16.12.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить **Мартынову С.А.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

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

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

16 декабря 2016 г.



Христенко Юрий Федорович

Пикушак Елизавета Владимировна