

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», доктор технических наук, профессор

В.А. Клименов

«05» ноября 2016 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет»  
на диссертацию Мартынова Сергея Андреевича  
«Моделирование процессов деформации и разрушения материала с криволинейной границей раздела «пластичная подложка – хрупкое покрытие», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

**Актуальность темы диссертации.** Исследование механического поведения материалов с покрытиями, характеризующимися сложной геометрией границы раздела «основной материал-покрытие», является сложной и важной задачей, требующей точного и экономически выгодного решения. Отличительной особенностью математического моделирования является 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 практической точек зрения.

**Структура и содержание диссертационной работы.** Диссертация С.А. Мартынова состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 116 наименований, изложена на 127 страницах машинописного текста, включая 61 рисунок и 1 таблицу. Структура работы логична и соответствует цели и задачам исследования. Диссертация аккуратно оформлена, ее текст изложен грамотным научным языком. По структуре и объему работы, стилю ее изложения замечаний нет.

**Во введении** сформулированы актуальность и степень разработанности выбранной темы исследования, приведены цель и задачи работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, показана теоретическая и практическая значимость полученных выводов и указана их достоверность, приведены сведения о личном вкладе и публикациях автора, апробации работы, ее связи с научными направлениями и краткое содержание работы.

**В первой главе** описаны некоторые технологии упрочнения поверхности металлов. Рассмотрены технологические факторы, влияющие на свойства и внутреннюю структуру композиции «сталь – покрытие». К достоинствам этой части работы следует отнести аналитический характер представленного обзора и обоснование постановки диссертационного исследования.

**Вторая глава** посвящена математической постановке краевой задачи механики структурно-неоднородных сред и особенностям численной реализации решения задачи в двумерном случае. Рассмотрены особенности конечно-разностной аппроксимации для случая сред со структурой. Приведены модели упругопластического поведения металлической подложки, учитывающие деформационное упрочнение, скоростную чувствительность, возможность распространения полосы Чернова – Людерса, а также модель хрупкого разрушения покрытия.

**Третья глава** содержит результаты численного моделирования процессов деформирования и разрушения материала с боридным покрытием при квазистатическом растяжении и сжатии. Проведен численный анализ процессов локализации пластической деформации и растрескивания керамического покрытия при одноосном растяжении. Выявлено, что эволюция концентраций напряжений в покрытии связана с различием в механизмах локализации пластического течения в подложке и, как следствие, сделан вывод о влиянии прочности покрытия на место разрушения. Проведена оценка влияния переходного слоя между покрытием и подложкой. Интересно отметить, что наличие переходного слоя может отрицательно сказываться на макроскопических характеристиках композиции. Установлено, что характер растрескивания покрытия существенно зависит от скорости нагружения.

Исследования, представленные **в четвертой главе**, посвящены анализу взаимовлияния процессов неоднородного пластического деформирования стальной подложки на характер разрушения керамического покрытия. Установлена зависимость деформации материала с покрытием, при которой происходит разрушение, а также характера растрескивания покрытия от средней скорости распространения полосы Чернова – Людерса в стальной подложке.

**В пятой главе** проведено исследование влияния толщины покрытия на механическое поведение композиции «стальная подложка – боридное покрытие». Следует отметить интересный результат, касающийся выявленной оптимальной толщины покрытия в зависимости от степени неоднородности границы раздела «покрытие – подложка». Проанализировано влияние геометрических характеристик покрытия на прочность композиции. Показано,

что на величину оптимальной толщины покрытия влияет период размещения зубцов криволинейной границы раздела «покрытие – подложка».

На основе совокупности представленных в главах 3–5 результатов выполнено подробное качественное описание закономерностей пластической деформации и разрушения в материале с боридным покрытием.

**Заключение** содержит основные результаты и выводы диссертационной работы, подтверждающие выполнение поставленной цели и задач исследования.

**Научная новизна исследования и полученных результатов.** Отметим основные результаты, полученные соискателем и определяющие научную новизну и значимость работы:

- 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.

**Практическая значимость** работы связана с перспективами использования полученных результатов и выводов специалистами для оптимизации внутреннего строения и механических свойств материалов с упрочняющими керамическими покрытиями, работающими в условиях растягивающих и сжимающих динамических нагрузок. **Научная значимость** работы обусловлена возможностью применения структурно-механической численной модели и программного комплекса, разработанных в рамках диссертации, для исследования механического поведения других структурно-неоднородных сред, включая композиционные материалы и материалы с покрытиями, а также использованием результатов диссертации при создании новых лекционных спецкурсов и методических пособий, ориентированных на магистрантов и аспирантов по специальности «механика деформируемого твердого тела».

**Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Выводы, рекомендации и научные результаты диссертации С. А. Мартынова могут быть полезны для дальнейших исследований в учреждениях РАН, таких как Институт прикладной механики РАН (Москва), Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН (Москва), Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск), Институт физики твердого тела РАН (Черноголовка) и в высших учебных заведениях, как, например, Томский государственный архитектурно-строительный университет (Томск), Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск), Национальный исследовательский Томский

государственный университет (Томск), Сибирский федеральный институт (Красноярск), Московский энергетический институт (Москва), Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Москва) и др.

**Обоснованность и достоверность основных положений, выносимых на защиту, результатов и выводов работы** обеспечена их воспроизводимостью для различных структур композиций, применением фундаментальных законов механики при формулировке задач и апробированных численных методов для их решения, проведением тестовых расчетов и исследованиями на сеточную сходимость, а также соответствием результатов экспериментам.

**Содержание диссертационной работы**, ее цели и задачи соответствуют п. 3 «Мезомеханика многоуровневых сред со структурой» паспорта специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

**Автореферат диссертации** соответствует ее содержанию, отражает актуальность темы исследования, его цель и задачи, научную новизну, практическую значимость, обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов, сформулированных в диссертации.

**Публикация основных результатов диссертации в научной печати.** Результаты исследований, представленных в диссертации, опубликованы в 14 работах. Пять статей опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Опубликованные работы отражают основное содержание диссертации. Также стоит отметить обширную апробацию работы на международных и всероссийских конференциях.

#### **Замечания по диссертации**

1. Не очерчены границы применимости используемых моделей и подходов: по скоростям деформаций, уровню внешних воздействий.
2. В работе рассмотрена только двумерная постановка.
3. При моделировании криволинейных границ раздела корректно использовать нерегулярную сетку, что приведет к приданию гладкости.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации.

**Заключение.** Диссертация Мартынова С.А. обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Ведущая организация, ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» считает, что диссертация «Моделирование процессов деформации и разрушения материала с криволинейной границей раздела «пластичная подложка–хрупкое покрытие» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи о локализации деформации и разрушения композиции «стальная подложка – керамическое покрытие» в условиях растяжения и сжатия, имеющей значение для развития механики деформируемого твердого тела, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г.

№ 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, а ее автор, Мартынов Сергей Андреевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры геоинформатики и кадастра, протокол № 3, от 23.11.2016 г.

Заведующий кафедрой  
геоинформатики и кадастра  
института кадастра, экономики  
и инженерных систем в строительстве  
Томского государственного  
архитектурно-строительного университета,  
доктор физико-математических наук  
(01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела),  
профессор



Радченко Андрей Васильевич

Федеральное государственное бюджетное  
образовательного учреждения высшего образования  
«Томский государственный  
архитектурно-строительный университет»  
634003, г. Томск, пл. Соляная, д. 2  
(3822) 65-39-67, rector@tsuab.ru, <http://www.tsuab.ru>