

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

\_\_\_\_\_ И. Цхе  
« 04 » декабря 2014 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» на диссертацию Шваба Евгения Анатольевича «Процессы локализации деформации и разрушения на разных масштабных уровнях в материале с композитным металлокерамическим покрытием», 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, характеризующихся сложной внутренней структурой является объёмной и достаточно важной задачей, требующей 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 механического поведения материалов с покрытиями, является актуальной задачей как с фундаментальной, так и с практической точек зрения.

**Структура и содержание диссертационной работы.** Диссертация Е.А. Шваба состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы из 170 наименований, изложена на 141 страницах машинописного текста, включая 68 рисунков и 4 таблицы. Структура работы логична и соответствует цели и задачам исследования. Диссертация аккуратно оформлена, ее текст изложен грамотным научным языком. По структуре и объёму 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** представлен обзор литературных источников за предыдущие годы исследований, посвященные изучению свойств материалов с покрытиями, описанию видов и методов нанесения покрытий, методам создания численных моделей деформации и разрушения, и приведены примеры готовых изделий с композитными

металлокерамическими покрытиями. Обзор российских и зарубежных научных работ по теме диссертации написан достаточно квалифицированно и имеет аналитический характер.

**Во второй главе** проводится постановка математической задачи и рассматриваются особенности численной реализации. Сделан акцент на исследования в двумерной постановке. Проверка сходимости выбранного метода расчётов показывает его состоятельность. Выделены локальные области в композите в которых наблюдаются характерные стадии деформирования матрицы и разрушения включения при различных видах нагружения. Корреляция полученных результатов с экспериментальными данными указывает на их обоснованность. Показана нелинейная зависимость концентрации пластической деформации от концентрации включений. Выявлена зависимость деформации и разрушения материала с композитным покрытием на макроуровне под влиянием толщины покрытия.

**Третья глава** описывает найденные закономерности локализации деформации в композитных покрытиях в трёхмерной постановке и проведена оценка влияния остаточных напряжений на НДС в композиции «матрица-включение» при различных видах и степенях нагружения. Описана разработанная методика формирования трёхмерных цифровых моделей структур из предположения о масштабируемости процесса дробления хрупких материалов. Анализ сходимости выбранного пакета программного обеспечения CAE ANSYS показывает его состоятельность. Показано влияние модуля Юнга включения на концентрацию напряжений в композиции «матрица-включение». Проведённый сравнительный анализ упругопластического НДС композиции «матрица-включение» при всестороннем и одноосном сжатии достаточно полно освещает проблематику. Учёт остаточных напряжений дал возможность провести оценку их влияния на прочность планируемого композитного металлокерамического покрытия при механическом нагружении при различных степенях деформации.

**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:

– 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%.

– Исследования показывают влияние технологических остаточных напряжений играет положительную роль при механическом нагружении до малых степеней деформации, и слабо влияют на прочность композитного покрытия при деформациях выше 5 %.

**Научная и практическая значимость.** 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 численные модели могут быть использованы для исследования



механического поведения других структурно-неоднородных сред, композиционных материалов и материалов с покрытиями. Результаты диссертационного исследования могут применяться в вузах и институтах ФАНО при разработке новых курсов лекций и обучении студентов старших курсов и аспирантов по специальности механика деформируемого твердого тела (МДТТ).

**Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Выводы, рекомендации и научные результаты диссертации Е.А. Шваба 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 15 работах, в том числе 6 статьях 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 (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), 1 статье в сборнике материалов зарубежной научной конференции, индексируемом Web of Science, 8 публикациях в сборниках материалов международных научных конференций.

#### **Замечания по диссертации**

1. Не очерчены границы применимости используемых моделей и подходов: по скоростям деформаций, уровню внешних воздействий.

2. Не проведено исследование влияния относительно высоких температур возникающих в процессе эксплуатации деталей на поведение металлокерамического композита.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации.

**Заключение.** Диссертация Шваба Е.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 ТГАСУ считает, что диссертация «Процессы локализации деформации и разрушения на разных масштабных уровнях в материале с композитным металлокерамическим покрытием» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи о локализации деформации и разрушения композиции «алюминиевая подложка-металлокерамическое покрытие» в условиях растяжения и сжатия с учётом остаточных напряжений полученных в процессе производства, имеющей значение для развития механики деформируемого твёрдого тела, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела, а ее автор, Шваб Евгений Анатольевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Отзыв обсужден на заседании кафедры геоинформатики и кадастра Томского государственного архитектурно-строительного университета, протокол № 2, от 25.11.2017.

Директор института кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве, заведующий кафедрой геоинформатики и кадастра федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования архитектурно-строительный университет», (634003, г. Томск, пл. Соляная, д. 2; (3822) 65-39-67; rector@tsuab.ru; <http://www.tsuab.ru>), доктор физико-математических наук, (01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела), профессор

04.12.2017

Радченко Андрей Васильевич