

Отзыв

официального оппонента Немировича-Данченко Михаила Михайловича
на диссертационную работу 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

Сегодня композиционные материалы постепенно вытесняют чисто металлические соединения в наиболее ответственных и высокоточных отраслях, таких, как микроэлектроника, авиация и космос, энергетика. Ключевыми характеристиками таких композитов является высокая прочность, высокая твердость, высокая износостойкость. Кроме того, такого рода покрытия имеют характерную геометрию границы между основным материалом и материалом покрытия, которая зависит от технологических факторов технологии нанесения, что в свою очередь приводит к изменению механических характеристик всей композиции.

Диссертационная работа С.А. Мартынова посвящена анализу механизмов деформации и разрушения композиции «сталь – керамическое покрытие». Актуальность тематики представленной работы связана с потребностями математического моделирования напряженно-деформированного состояния материалов с покрытиями для контроля, прогнозирования и оптимизации их механических свойств.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Полученные в работе результаты достаточно обоснованы и подтверждены анализом решений тестовых задач и сравнением полученных данных с результатами экспериментальных исследований других авторов. Полученные автором научные положения и выводы в достаточной мере апробированы на конференциях различного уровня и при опубликовании в рецензируемых научных изданиях.

Достоверность и научная новизна исследования диссертационной работы

Достоверность подтверждается корректностью математической постановки задачи деформирования и разрушения структурно-неоднородной среды, применением апробированных методов решения, проведением тестовых расчетов и согласием отдельных результатов численного моделирования с экспериментом. Полученные автором научные положения и выводы в достаточной мере апробированы на конференциях различного уровня и при опубликовании в рецензируемых научных изданиях.

К числу основных **новых научных результатов** диссертационной работы можно отнести

1. выявлена стадийность локализации напряженно-деформированного состояния в области границы раздела покрытие-подложка,
2. обнаружен различный характер разрушения покрытий в зависимости от скорости ударного сжатия и от наличия переходного слоя между покрытием и подложкой,

3. установлена взаимосвязь процессов локализации пластического течения в подложке и растрескивания покрытия при движении полосы Чернова-Людерса,

4. обнаружен безразмерный комплекс, определяющий значение оптимальной толщины и связанный с кривизной границы раздела.

Значимость результатов диссертационной работы для науки и практики

Результаты диссертационного исследования Мартынова С.А. **представляют интерес** для специалистов в области механики сред со структурой. Практическое значение работы связано с получением необходимой для решения прикладных проблем информации о механизмах деформации и разрушения материала со сложной геометрией границы раздела.

Апробация работы

Все основные результаты работы опубликованы с достаточной полнотой. По теме диссертации имеется 14 работ, из них 5 статей в журналах из списка изданий, рекомендованных ВАК РФ, 3 статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science. Результаты исследований докладывались на многих научных конференциях международного и всероссийского уровня. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Структура и объем диссертации

Работа включает в себя введение, пять глав, заключение, список литературы, состоящий из 116 источников, изложена на 127 страницах, содержит 51 рисунок и 1 таблицу.

Во введении сформулированы актуальность, цель и задачи работы, ее теоретическая и практическая ценность, новизна исследуемой проблемы, основные положения, выносимые на защиту. Определены методы исследования, обоснована достоверность полученных результатов. Приведены данные о связи работы с научными программами и темами и апробации результатов, а также о личном вкладе и публикациях автора.

В первой главе приводится обширный обзор известных результатов по изучению свойств материалов с покрытиями, описанию видов и методов нанесения покрытий, а также методам моделирования деформации и разрушения таких материалов. Судя по литературному обзору, автор обладает достаточными знаниями о проводимых во всем мире теоретических исследованиях поведения материалов с покрытиями в условиях механического нагружения и о подходах и моделях, применяемых для прогнозирования их механических свойств.

Во второй главе изложена математическая постановка задачи континуальной механики применительно к структурно-неоднородным средам. Кратко описаны особенности численной реализации поставленной задачи в рамках метода конечных разностей. Основным результатом данной главы является разработанная модель механического поведения композиции «сталь – керамическое покрытие» при квазистатическом нагружении, включая модели упругопластического поведения стальной подложки с учетом изотропного деформационного упрочнения, возможности движения полосы типа Чернова – Людерса и скоростной чувствительности, и упругохрупкого поведения покрытия.

Третья глава посвящена анализу эволюции концентраторов напряжений при нагружении композиции «сталь-керамика». Получен интересный результат о том, что максимальная концентрация напряжений может наблюдаться в различных местах вдоль границы раздела «покрытие-подложка» в зависимости от стадии деформирования композиционного материала. Это означает, что место разрушения может зависеть от того, на

какой стадии деформирования оно произойдет. Основной вывод главы состоит в том, что наличие упруго-хрупкого переходного слоя, обладающего промежуточными механическими свойствами, при определенных условиях может являться неблагоприятным фактором, приводящему к снижению макроскопической прочности материала с покрытием.

Четвертая глава содержит результаты исследования особенностей и механизмов деформирования и разрушения материала с покрытием, в условиях, когда в металлической подложке происходит движение полосы Чернова-Людерса. Описаны режимы разрушения покрытия. Стоит отметить анализ результатов показавший, что в отличие от растяжения, когда единственная трещина распространяется от границы раздела к поверхности и разгружает композит в направлении приложения нагрузки, при сжатии происходит множественное растрескивание покрытия.

В пятой главе проведено исследование влияния толщины покрытия и кривизны границы раздела «покрытие – подложка» на механическое поведение композиции «стальная подложка – боридное покрытие». Наибольший интерес представляет вывод о том, что чем выше кривизна шероховатости (острота вершин границы раздела), тем выше концентрация напряжений. Особо стоит отметить найденный в главе безразмерный комплекс, представляющий собой отношение толщины сплошного слоя покрытия к периоду синусоидальной границы раздела «покрытие – подложка» или, в общем случае, отношение толщины сплошного слоя покрытия к среднему периоду размещения всех зубцов.

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

Недостатки в содержании и оформлении диссертационной работы

В диссертационной работе есть некоторые недостатки:

По третьей главе:

1. В разделах 3.1 – 3.2 подробно описано влияние концентраторов напряжений на локализацию деформаций. Нужно заметить, что имеется обширная литература, в том числе и справочно – расчетного характера, посвященная наиболее часто встречающимся видам концентраторов напряжений и соответствующих коэффициентов интенсивности напряжений. Хотелось бы, чтобы результаты диссертационной работы были, если это возможно, соотнесены с такими справочными данными.

2. В разделе 3.4 системы полос, полученные расчетным путём, очень хорошо соответствуют известным теоретическим и лабораторным результатам, но в работе об этом соответствии почти ничего не сказано.

По пятой главе:

Необходимо, на мой взгляд, уделять внимание, изменению влияния формы и размеров шероховатости в зависимости от характера воздействия (от длины волны и, возможно, формы огибающей (спектральных свойств)). Частично это показано в пятой главе на примере выделенного автором безразмерного комплекса – отношения толщины сплошного слоя к периоду синусоидальной границы раздела.

Тем не менее, указанные недостатки **не снижают** ценности полученных результатов.

**Заключение о соответствии диссертации критериям,
установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Считаю, что диссертация Мартынова Сергея Андреевича «Моделирование процессов деформации и разрушения материала с криволинейной границей раздела “пластичная подложка–хрупкое покрытие”» представляет собой единолично написанную научную работу, выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, совокупность результатов которой можно

квалифицировать как решение задачи, имеющей существенное значение для развития механики деформируемого твердого тела.

В целом, по уровню решаемых задач, актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, теоретической и практической значимости полученных результатов работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней 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 степени.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук (специальности

25.00.10 — Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых,

01.02.04 — Механика деформируемого твердого тела),

профессор кафедры геофизики

Федерального государственного автономного образовательного учреждения

высшего образования «Национальный исследовательский Томский

политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ)

Немирович-Данченко Михаил Михайлович

Почтовый адрес:

634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30.

Телефон: +7 (3822) 60-63-33

E-mail: tpu@tpu.ru

<http://www.tpu.ru>

Подпись Немировича-Данченко М.М. заверяю.

Ученый секретарь ФГАОУ ВО НИ ТПУ

29.11.2016 г.



О.А. Ананьева