

Отзыв

официального оппонента

на диссертационную работу 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. Представленная работа посвящена исследованию процессов деформирования и анализу концентрации напряжений в композитных материалах с металлокерамическими покрытиями. Подобные материалы широко используются в различных областях: машиностроении, нефтегазовой, строительной и других отраслях промышленности. Поверхностно-упрочненные материалы обладают комплексом уникальных эксплуатационных свойств: высокой твердостью, износостойкостью, коррозионной устойчивостью при эксплуатации в агрессивных средах, тепловой прочностью и т.д. Кроме этого, металлокерамические покрытия имеют различные свойства, которые зависят от технологических факторов нанесения, толщины, размера включений и их плотности, разницы в твердости включений и подложки, что в свою очередь приводит к изменению механических характеристик всей композиции.

В связи с изложенным, тема диссертационной работы Шваба Е.А. является актуальной.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 170 наименований. Она изложена на 141 странице, содержит 68 рисунков и 4 таблицы.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулирована цель работы, отмечены основные характеристики, которые определяют ее научную новизну, теоретическую и практическую значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность результатов и выводов, отмечен личный вклад автора и приведены данные об апробации работы. Кратко изложено содержание диссертации по главам.

В первой главе приведен обзор литературных источников, посвященных изучению свойств материалов с покрытиями. Описаны виды и методы их нанесения, а также методы численного моделирования процессов деформирования и разрушения таких материалов. Следует отметить обстоятельный характер приведенного обзора российских и зарубежных научных работ по теме диссертации.

Вторая глава посвящена математической постановке задачи и особенностям ее численной реализации. Структура композита учитывается явно и соответствует

наблюдаемой в экспериментах. Для математического описания поведения алюминиевой матрицы использована динамическая модель упругопластического деформирования с ассоциированным законом течения. Поверхность текучести представлена экспериментальной зависимостью интенсивностей напряжений и накопленной пластической деформации, аппроксимированной экспоненциальной функцией. Для анализа разрушения материала во включениях (карбид титана) автором использован критерий Губера-Мизеса, модифицированный с учетом различных пределов прочности при растяжении и сжатии.

Рассмотрена плоская постановка задачи. В качестве численного метода выбран метод конечных разностей. Осуществлена проверка сходимости выбранного метода расчетов. Показаны характерные стадии деформирования матрицы и разрушения включения при различных видах нагружения. Установлена корреляция полученных результатов с экспериментальными данными. Выявлены закономерности концентрации пластической деформации в зависимости от вида приложенной нагрузки и концентрации включений. Показано, что при одноосном растяжении и одноосном сжатии трещины распространяются в различных направлениях – перпендикулярно и вдоль приложенной нагрузки соответственно. Установлены закономерности деформирования и разрушения материала в зависимости от объемной доли включений и от расстояния между включениями. На макроуровне выявлено влияние толщины покрытия на процесс пластического деформирования и разрушения материала с покрытием. В частности, показано, что чрезмерное увеличение толщины покрытия может давать негативный результат – приводить к формированию магистральных изолированных трещин и к снижению макропрочности всего композита.

Третья глава посвящена пространственному анализу закономерностей локализации деформации в композитных покрытиях и оценке влияния остаточных напряжений на напряженно-деформированное состояние при нагружении. Представлена методика формирования трехмерных структур из предположения о масштабируемости процесса дробления хрупких материалов.

Пространственная задача решается с помощью программного комплекса ANSYS. Проведен анализ сходимости выбранного пакета при различных размерах сетки конечно-элементного разбиения.

Исследовано влияние механических свойств включения на концентрацию напряжений. Проведен сравнительный анализ упругопластического напряженно-деформированного состояния композиции «матрица-включение» при всестороннем и одноосном сжатии. Всестороннее сжатие моделировалось с помощью охлаждения структуры от 660 градусов Цельсия до комнатной температуры. При таком нагружении исходная модель (шаровая часть

тензора напряжений) дополнялась слагаемым, описывающим термическое расширение – модель Дюамеля-Неймана.

При моделировании всестороннего сжатия за счет охлаждения структуры использованы две модели – без учета и с учетом зависимости предела текучести от температуры. Автором показано, что, хотя в процессе охлаждения учет зависимости предела текучести от температуры существенно меняет картину пластического деформирования, тем не менее, конечная картина локализации пластической деформации меняется при этом не очень значительно.

Деформирование путем термического охлаждения структуры приводит к тому, что в среде формируются остаточные напряжения. Известно, что на практике технологические остаточные напряжения в зависимости от характера их формирования и распределения по конструкции могут играть как позитивную, так и негативную роль в вопросах прочности конструкций. В настоящей работе, автором показано, что сформированные при охлаждении остаточные напряжения на начальных этапах деформирования (при малых степенях деформации), оказывают положительное влияние на прочность композита. При увеличении степени деформации их роль нивелируется, и они перестают оказывать существенное влияние на прочность.

В заключении приведены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В целом работа направлена на развитие математических моделей и численного метода решения плоских и пространственных задач упругопластического деформирования и разрушения материалов с хрупкими покрытиями при явном учете структурной неоднородности под действием нагрузок.

К новым научным результатам работы можно отнести:

1. установление стадийности локализации напряженно-деформированного состояния в области границы раздела матрица-включение;
2. установление закономерности о немонотонном характере зависимости концентрации напряжений от объемной доли включений в композитном покрытии;
3. определение зависимости расстояния между трещинами в покрытии от его линейных размеров (толщины);
4. выявление роли технологических остаточных напряжений, которые могут оказывать положительное влияние на начальных стадиях нагружения материала с композитным покрытием.

Достоверность полученных результатов хорошо обоснована, подтверждена анализом решений тестовых задач и сравнением полученных данных с результатами

экспериментальных исследований и численных решений задач мезомеханики, выполненных другими авторами.

Значимость работы для науки и практики заключается в развитии численного метода и комплекса программ для анализа особенностей процессов деформирования перспективных материалов с покрытиями, а также в полученных в работе результатах анализа и выводах о влиянии геометрии границы раздела на прочность композиции в целом.

Работа изложена ясно и хорошо оформлена. Основные результаты автора опубликованы в 15 работах, включая 6 статей в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, и 9 публикаций в сборниках материалов международных научных конференций (из них 2 статьи опубликованы в изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, и 1 статья в журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science).

Аннотация правильно отражает содержание работы.

По содержанию и изложению работы имеются некоторые **замечания и неточности**:

1. В математической модели использована производная Яумана и сказано, что структурные включения (карбид Титана) могут испытывать значительные повороты. При этом конечно-разностная сетка встроена в материал и деформируется вместе с ним. Из описания неясно, как при этом учитывается возможное искажение сетки (перехлест узлов) при развитии больших (конечных) деформаций.
2. В работе постулируется непрерывность смещений на границе раздела матрицы и включения. Факт возможного расслоения вдоль границы при этом не учитывается.
3. Вывод о том, что технологические остаточные напряжения слабо влияют на развитие пластической деформации на конечных стадиях нагружения, следует считать локальным для рассмотренных видов нагружения. Представляется, что при иных значениях параметров деформирования материала с покрытием, такие напряжения могут оказать негативное влияние на макропрочность композита.
4. На стр. 44 использовано неудачное обозначение для обычной производной по времени от компонент девиатора тензора напряжений и Яумановской производной (обе производные обозначены одинаково).
5. В работе использовано отличное от принятого в механике деформируемого твердого тела обозначение для растягивающих и сжимающих напряжений: растягивающие напряжения приняты отрицательными, сжимающие - положительными.

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку работы и квалификации автора.

Квалификационная оценка работы. Диссертация Шваба Е.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную в рамках актуального научного направления – физическая мезомеханика структурно-неоднородных сред, и содержащую решение ряда задач моделирования процессов локализации деформации и разрушения материалов с покрытиями, которые имеют существенное значение для развития математических методов механики деформируемого твердого тела. По своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне работа соответствует п.3 «Мезомеханика многоуровневых сред со структурой» паспорта специальности 01.02.04. – «Механика деформируемого твердого тела».

Заключение. Диссертационная работа Шваба Евгения Анатольевича удовлетворяет требованиям п.11.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела», а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник лаборатории механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН,
доктор физико-математических наук (01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела),
старший научный сотрудник

Лавриков Сергей Владимирович

08.12.2017г.

Служебный адрес:

630091, г. Новосибирск, Красный пр., 54

Тел. +7(383)205-30-30, доб. 184, email: lvk64@mail.ru, <http://www.misd.ru/>

Подпись Лаврикова Сергея Владимировича заверяю,

Ученый секретарь ИГД СО РАН,

к.т.н.



Хмелинин Алексей Павлович