

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Кузнецова Дениса Александровича
«Компьютерное моделирование и экспериментальные исследования
процессов разрушения квазихрупких материалов при смешанном
нагрузении», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
1.1.8 — «Механика деформируемого твердого тела»

Появление новых, современных материалов, более жесткие условия эксплуатации конструкций, необходимость увеличения сроков их жизни и усовершенствование процессов изготовления их элементов — все это выявляет необходимость модернизации подходов к расчетам на прочность и к исследованиям разрушения материалов, из которых они изготавливаются. Наличие трещин и трещиноподобных дефектов является одним из самых важных факторов, вызывающих разрушение в конструкциях, и делает актуальными исследования в области построения простых аналитических моделей, наиболее подходящих для использования в инженерных расчетах. Описанная проблематика, особенно в части хрупкого и квазихрупкого разрушения, представляет интерес для многих отраслей национальной экономики таких, как машиностроение, добывающая промышленность, строительство.

Для оценки предельного состояния тел с трещинами-разрезами в механике разрушения обычно используются различные критерии разрушения. Широкое распространение получили силовые и деформационные критерии, модели в которых основаны на однопараметрическом подходе к описанию разрушения хрупких и квазихрупких материалов. Однако в последние годы наблюдается устойчивый рост интереса к разработке и использованию новых моделей исследования напряженного состояния тел с трещинами, изучаемых двухпараметрической механикой разрушения и позволяющих более точно описать напряженно-деформированное состояние (НДС) в окрестности вершины трещины. Для учета влияния геометрии на прогноз разрушения хрупких и квазихрупких материалов необходимо применять двухпараметрические критерии разрушения, учитывающие локальное стеснение деформаций в окрестности вершины трещины, обусловленное влиянием первого несингулярного члена распределения поля напряжений у вершины трещины (T -напряжения).

Исходя из вышеизложенного, работу Кузнецова Д.А. на тему «Компьютерное моделирование и экспериментальные исследования процессов разрушения квазихрупких материалов при смешанном нагружении» следует признать актуальной.

Содержание работы. Общий объем диссертационной работы составляет 122 страницы и включает список литературы из 111 ссылок. Текст работы содержит 42 рисунка и 5 таблиц.

Во введении отражены актуальность и степень разработанности темы исследования. Сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации представляет обзор механизмов разрушения и дает представление о критериях оценки предельного состояния тел с трещинами.

Во второй главе для исследования механизма разрушения по смешанному типу (I+II) представлен образец эксцентричной балки прямоугольного поперечного сечения с надрезом (трещиной), рассмотрено его поведение при асимметричном изгибном нагружении. С помощью метода конечных элементов получены, величины параметров разрушения: коэффициенты интенсивности напряжений, T -напряжение и параметр двухосности B , при разных геометрических условиях и условиях нагружения.

Для прогнозирования направления распространения (или зарождения) трещины и величины критической нагрузки применен обобщенный критерий максимальных окружных напряжений. Приведен анализ соответствия экспериментальных данных результатам численного расчета.

В третьей главе рассматривается образец в виде эксцентричной балки прямоугольного поперечного сечения с краевой трещиной, подвергнутый антисимметричному четырехточечному нагружению. Приводится анализ влияния T -напряжения на разрушение при различных геометрических параметрах образца, в том числе при помощи безразмерного параметра двухосности B .

Для прогнозирования как направления разрушения, так и величины критической нагрузки в вычислительных экспериментах применены шесть критериев разрушения: обобщенный критерий максимальных растягивающих напряжений, расширенный критерий максимальных окружных деформаций, обобщенный критерий плотности энергии деформирования, обобщенный

критерий максимальных окружных осредненных напряжений, критерий максимальной скорости высвобождения упругой энергии и обобщенный критерий максимальной скорости высвобождения упругой энергии. Приведено сравнение экспериментальных данных с результатами численного расчета.

Четвертая глава посвящена анализу разрушения образца бразильского диска с центральным круглым отверстием в смешанном режиме. Образец ослаблен двумя внутренними краевыми радиальными трещинами. Вычисления коэффициентов интенсивности напряжений для I и II режимов разрушения, а также T -напряжений для различных геометрических параметров диска и радиальных трещин проводятся методом конечных элементов.

Для прогнозирования направления роста трещины и критической нагрузки применены следующие критерии разрушения: обобщенный критерий максимальных растягивающих напряжений, расширенный критерий максимальных окружных деформаций, обобщенный критерий плотности энергии деформирования. Представлено сравнение экспериментальных данных с результатами численного расчета.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна работы состоит в том, что Кузнецовым Д.А. в диссертационной работе предложены модифицированные конфигурации опытных образцов с трещинами, позволяющие получить весь диапазон смешанности режимов разрушения I+II, включая чистый I и чистый II. В результате компьютерного моделирования получены массивы данных, содержащие параметры, управляющие ростом и направлением распространения трещины при смешанном нагружении образцов различной геометрии. Проведены экспериментальные исследования вязкости разрушения новых материалов (эбонит, сферопласт) в условиях смешанного нагружения. Выполнен критический анализ направления распространения (зарождения) трещины и величины критической нагрузки, полученных с использованием десяти двухпараметрических критериев разрушения, учитывающих T -напряжения. Получено точное представление обобщенной вязкости разрушения (обобщенный критический коэффициент интенсивности напряжений) для расширенного критерия максимальных окружных деформаций и обобщенного критерия плотности энергии деформирования.

Теоретическая значимость работы состоит в оценке и сравнении двухпараметрических критериев разрушения с критериями, используемыми в классической (однопараметрической) механике разрушения.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования предложенных образцов для исследования вязкости разрушения и критериев оценки критического состояния хрупких и квазихрупких материалов без затрат ресурсов и времени на верификацию. Уникальные массивы данных, полученные в результате проведенных конечно-элементных вычислений, могут быть использованы для построения алгоритмов (аппроксиматоров) для ускоренного нахождения параметров напряженного состояния нестандартных образцов с трещинами.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением математического аппарата, соотношений линейной механики разрушения, апробированных методов прикладной математики, соответствием численных решений известным решениям, приведенным в справочной литературе, сопоставлением и качественным совпадением результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными, а также сравнением полученных результатов с результатами других исследователей.

Обсуждение полученных результатов на научно-технических конференциях и семинарах, публикации в ведущих научных журналах подтверждают обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Результаты диссертационной работы апробированы на научных конференциях и опубликованы в 6 работах, в том числе в 3-х статьях в российских журналах из перечня ВАК и индексируемых в Scopus, в 1-ой статье в зарубежном журнале, индексируемом в Web of Science/Scopus, входящем в первый квартиль Q1 Web of Science, и в 2-х статьях в сборниках трудов всероссийских конференций.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности.

Объекты, цели и методы проведенных исследований соответствуют паспорту специальности 1.1.8 — «Механика деформируемого твердого тела» по трем пунктам: «Прочность при сложных режимах нагружения. Теория накопления повреждений. Механика разрушения твёрдых тел» (п. 10), «Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела» (п. 12) и «Экспериментальные методы исследования процессов деформирования,

повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях» (п. 13).

Оценка изложения материалов диссертации и автореферата.

Материал, изложенный в диссертации, понятен, логичен, хорошо структурирован. Проведенные исследования можно считать завершенными. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По диссертации имеются замечания, как по существу, так и редакционного характера.

1. Неконкретная формулировка положения номер 2, выносимого на защиту. Положение должно отражать новое научное знание.

2. Формулировка пункта 3 научной новизны не позволяет оценить научную значимость результата.

Указанные замечания и недостатки не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы.

Заключение

Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий научный уровень, строгую обоснованность решений при изложении их в тексте диссертации, актуальность и ценность результатов, как с теоретической, так и с практической точек зрения, аккуратность, скрупулезность, тщательность и дотошность в проведении огромного массива численных расчетов. Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования и взаимосвязью выводов. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой лично автором проведены обработка экспериментальных результатов, компьютерное моделирование и исследование предельных состояний образцов с трещинами, а также анализ полученных результатов, формулировка основных научных положений и выводов. Поставленные задачи решены полностью, все положения, выносимые на защиту, являются новыми и достоверными.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор Кузнецов Денис Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 — «Механика деформируемого твердого тела».

Оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Доктор физико-математических наук (по специальности 1.1.8 — «Механика деформируемого твердого тела»), доцент, научный сотрудник лаборатории механики структурно-неоднородных сред Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е. Панина Сибирского отделения Российской академии наук

Павел Андреевич Радченко

«31» августа 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е. Панина Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН).

634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4.

+7 (3822) 49-21-25 (Ученый секретарь), +7 (3822) 49-18-81 (приемная директора), факс: + (3822) 49-25-76, e-mail: pavel@ispms.ru

Подпись Радченко П.А. заверяю.

Ученый секретарь ИФПМ СО РАН



Матолыгина Н.Ю.