

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Ведерниковой А.И. «Расчетно-экспериментальный метод применения теории критических дистанций для оценки динамической прочности металлов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

### **Актуальность темы диссертации.**

Создание перспективных объектов машиностроения, авиационно-космического и оборонного комплексов, обладающих повышенными параметрами рабочих процессов (скоростей, температур, давлений, радиационных, импульсных, аэродинамических воздействий), предполагает совершенствование и разработку новых принципов и методов конструирования и изготовления машин, машинных и человеко-машинных комплексов на основе новейших достижений в области прочности, живучести, ресурса и безопасности. Следует отметить, что критически важные элементы машин и конструкций содержат конструкционные концентраторы напряжений, являющиеся зонами инициирования и развития трещин, а их нагружение реализуется в широком диапазоне скоростей деформации. Среди перспективных моделей и критериальных подходов, направленных на анализ и обоснование прочности при наличии конструкционных концентраторов напряжений, следует отметить концепцию критического расстояния (дистанции в терминологии соискателя) в некоторой области у концентратора напряжений, характеризуемой критическим напряжением или его распределением. Инженерная привлекательность этой концепции продемонстрирована, главным образом, при анализе прочности и ресурса применительно к условиям статического и циклического нагружения. Вместе с тем, задача построения моделей и нелокальных критериев разрушения в рамках концепции критических расстояний в широком диапазоне скоростей нагружения еще требует решения.

На развитие и обоснование концепции критических расстояний (дистанций) в широком диапазоне скоростей динамического нагружения и направлена диссертационная работа соискателя, в которой предложен

расчетно-экспериментальный метод применения теории критических расстояний для оценки динамической прочности металлов в зонах концентрации напряжений. Поэтому, тему диссертации А.И. Ведерниковой следует считать актуальной и удовлетворяющей соответствующим требованиям ВАК РФ.

**Достоверность и новизна основных выводов диссертации.**

Диссертационная работа изложена на 150 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения.

Структура диссертации логично отражает последовательность решения поставленных соискателем задач, а именно: обзор и анализ существующих нелокальных критериев разрушения и основных методов определения масштабов с размерностью длины; методы и результаты экспериментального исследования процесса разрушения металлов и сплавов при квазистатическом и динамическом нагружениях; обобщение теории критических расстояний на случай динамического нагружения металлических образцов с концентраторами напряжений; анализ влияния упругопластических деформаций на величину критического расстояния; анализ взаимосвязи величины критического расстояния и фундаментальной длины автомодельных структур в ансамбле дефектов.

В результате обширного обзора и тщательного анализа литературных источников по нелокальным критериям разрушения соискателем сформулированы задачи по разработке расчетно-экспериментального метода применения теории критических расстояний для оценки динамической прочности металлов. Для решения отмеченных задач предложено использование традиционного подхода на основе анализа полей напряжений в области концентраторов напряжений в линейно-упругом приближении, а также построение более сложной модели, учитывающей величину и чувствительность пластической деформации к скорости нагружения.

Для реализации предложенных методов проведены механические испытания образцов с кольцевыми надрезами в условиях квазистатического и динамического растяжения в широком диапазоне скоростей деформации ( $10^{-3}$ - $10^4$  с<sup>-1</sup>) для 10 металлических материалов. Получены статические и

динамические диаграммы деформирования образцов из исследуемых материалов при растяжении в указанном диапазоне скоростей деформации, на основании которых были определены прочностные и деформационные характеристики материалов. Определены зависимости временного сопротивления исследуемых материалов от номинальной скорости деформации.

Предложено обобщение теории критических расстояний для металлических образцов с концентраторами напряжений при квазистатическом и динамическом нагружениях, основанное на гипотезе о зависимости предельного напряжения в зоне концентрации напряжений и критического расстояния от скорости деформации. При этом критическое расстояние вводится в рассмотрение как степенная функция скорости деформации и определяется численно-экспериментальным методом на основании решения задачи о распределении напряжений в области концентратора напряжений в линейно-упругой постановке. Верификация предложенной обобщенной теории проведена на разных металлических материалах, а, именно, ВТ1-0, ВТ6, АМг6, 08Х18Н10Т, Ст3, 20Х13, А16063-Т5, 301ХН, Rene-41, VASCO Jet-1000.

На примере образцов с концентраторами напряжений из титанового сплава ВТ1-0 продемонстрирована возможность оценки критического расстояния на основе численного решения поставленной задачи в упругопластической постановке, что позволило заменить функцию, описывающую зависимость критической дистанции от скорости деформации, на константу материала.

Следует отметить оригинальную трактовку критического расстояния, рассматриваемого в качестве константы, определяемой структурой материала и условиями перехода от дисперсного разрушения к макроскопическому разрушению.

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов в диссертационной работе подтверждается корректной постановкой задач наряду с привлечением экспериментальных методов, применением широко апробированных алгоритмов и процедур численных расчетов с использованием современных программных средств, а также сопоставлением полученных

результатов с результатами экспериментов.

### **Значимость результатов для науки и практики.**

Проведенные соискателем теоретические, численные и экспериментально-расчетные исследования критических расстояний в широком диапазоне скоростей нагружения разных металлических материалов позволили соискателю обобщить теорию критических расстояний на случай динамического нагружения. Эта теория позволила оценить предельное состояние образцов с концентраторами напряжений при скоростях деформации в диапазоне  $10^{-3}$ - $10^4$  с<sup>-1</sup> как на основе анализа особенности распределения упругих напряжений вблизи вершины концентратора напряжений, так и с учетом процессов пластического деформирования и их зависимости от скорости деформации. Кроме того, на основе моделирования локализации процессов накопления микрповреждений в области концентратора напряжений предложено трактовать критическое расстояние как фундаментальную длину диссипативной структуры в ансамбле дефектов.

Обобщение теории критических расстояний при наличии концентраторов напряжений на случай квазистатического и динамического нагружения может быть широко использовано как при ранжировании конструкционных материалов, так и для оценки прочности металлических конструкций с концентраторами напряжений с целью обеспечения безопасной эксплуатации критически важных элементов конструкций.

### **Оценка диссертации.**

Диссертация написана достаточно подробно и иллюстрирована графиками и фотографиями. По содержанию диссертации можно поставить некоторые вопросы и сделать следующие замечания:

1. Исследования предельного напряжения и критического расстояния перед вершиной концентратора напряжений проведены на элементарных образцах. Можно предположить существование эффекта масштабного фактора и его влияния на вышеотмеченные характеристики. Позволяет ли предложенная обобщенная теория учесть масштабный фактор при анализе крупногабаритных элементов конструкций?
2. Результаты исследований в главе 3 приведены в функции скорости

номинальной деформации образца. Вместе с тем, следует отметить различие в скоростях номинальной деформации и локальной деформации у вершины концентратора напряжений. Не отражается ли это различие на корректности определения предельного напряжения и критического расстояния, а также на функциональной зависимости критического расстояния от скорости деформации? Рецензенту представляется более корректно интерпретировать результаты исследований в функции скорости локальной деформации.

3. На с. 56 отмечено: «Сингулярные концентраторы напряжений (типа трещин) не берутся в рассмотрение». В тоже время на с. 57 (и далее в § 3.1) вводится в рассмотрение и в дальнейшем анализируется критериальная характеристика тела с трещиной, а, именно, вязкость разрушения  $K_{Ic}$ . Представляется более уместным в случае концентраторов напряжений использовать концепцию коэффициентов интенсивности напряжений тел с вырезами, а не с трещинами.
4. Формулы (5.12) и (5.14) являются идентичными.
5. По мнению соискателя (с. 104) «корректный учет пластической деформации в области концентратора напряжений позволяет заменить функцию, описывающую зависимость критической дистанции от скорости деформации, на константу материала». Однако следует обратить внимание на то, что одновременно в этой модели была принята гипотеза равенства предельного напряжения истинному пределу прочности образца без концентратора напряжений (а не временному сопротивлению, как в модели без учета пластической деформации (см. с. 60)), что могло также повлиять на постоянство критического расстояния (дистанции).

Сделанные замечания не отражаются, однако, на положительном решении по диссертации.

**Заключение.** Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, посвященную обобщению теории критических расстояний при наличии концентраторов напряжений на случай квазистатического и динамического нагружения.

Основное содержание диссертации отражено в периодической печати и доложено на конференциях и семинарах.

Автореферат диссертации в целом правильно и полно отражает ее содержание.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, А.И. Ведерникова, заслуживает искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «механика деформируемого твердого тела» за разработку расчетно-экспериментального метода применения теории критических дистанций для оценки динамической прочности металлов.

Официальный оппонент,  
Заведующий отделом  
прочности, живучести и безопасности  
машин Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук,  
докт. техн. наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки РФ



Ю.Г. Матвиенко

101000 Москва, М. Харитоньевский пер., 4

Тел.: (499) 135 12 04

E-mail: ygmatvienko@gmail.com

15.06.2020г.

Подписи Ю.Г. Матвиенко заверяю



Ведущий специалист  
по кадрам  
Ю.С.М. Рожков