

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Ведерниковой Алены Ильиничны

«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 диссертационного исследования

Для обеспечения безопасной эксплуатации механических изделий различного назначения важнейшим вопросом является корректная оценка их прочности при различных воздействиях. **Актуальность темы диссертационной работы** обоснована необходимостью создания простых, обоснованных и эффективных критериев разрушения при нагружении в широком диапазоне скоростей деформации. Диссертационная работа посвящена развитию теории критических дистанций на случай динамического нагружения и теоретическому анализу нелокального процесса разрушения (обоснованию определения величины критической дистанции) на основе моделирования процессов эволюции дефектов в материале.

Структура диссертации и основные научные результаты

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 174 наименования. Общий объем диссертации составляет 150 страниц.

Введение содержит обоснование актуальности выбранной темы исследования и характеристику степени ее разработанности. Сформулирована цель работы – развитие теории критических дистанций для описания процессов динамического разрушения и оценки предельного состояния конструкций с концентраторами напряжений, перечислены решенные для достижения этой цели задачи. Освещены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, подходы и методы исследования, положения, выносимые на защиту. Приведена информация о степени достоверности и о достаточной апробации результатов. Представлено краткое описание содержания глав диссертационной работы.

В первой главе содержится аналитический обзор работ, посвященных нелокальным критериям разрушения, основанным на введении характерного линейного масштаба различной физической природы. Обоснована важность и актуальность разработки таких критериев. Основное внимание в обзоре уделено сравнению различных подходов к определению линейного масштаба. На основании обзора для дальнейшего развития выбрана теория критических дистанций (ТКД). Подробно рассмотрены методы теории критических дистанций в традиционной для европейских механиков формулировке Тейлора – Сусмеля, описываются существующие работы, посвященные применению ТКД для прогнозирования статического и усталостного разрушения. Как направление развития ТКД обозначено обобщение на случай динамического нагружения, также отмечается важность выявления физического смысла критической дистанции (в значительной степени работа посвящена решению этих вопросов).

Вторая глава диссертации посвящена описанию методик и результатов экспериментальных исследований прочностных характеристик металлических образцов с концентраторами напряжений при квазистатическом и динамическом растяжении. Результаты, представленные в главе, далее используются для обоснования теории критических дистанций. В диссертации отмечено, что автор принимала непосредственное участие в проведении экспериментальных исследований, реализовывала методы и алгоритмы обработки экспериментальных данных.

В третьей главе представлена методика, обобщающая ТКД на случай динамического нагружения. Предложено введение критической дистанции как степенной функции от скорости деформации и ее определение численно-экспериментальным методом на основании решения задачи о распределении напряжений в области концентратора напряжений в линейно-упругой постановке. Представлена методика оценки предельного состояния образцов с концентраторами напряжений с использованием предложенного обобщения. Приводится значительный объем результатов применения данной методики для металлических образцов из ряда материалов, в частности ВТ1-0, ВТ6, АМг6, 08Х18Н10Т, Ст3, испытанных в широком диапазоне скоростей деформации. Результаты показывают, что предложенное обобщение ТКД позволяет прогнозировать прочность образцов с концентраторами напряжений из

металлических материалов в исследованном диапазоне скоростей нагружения с погрешностью $\pm 20\%$ и может рассматриваться как эффективный инженерный метод оценки предельного состояния, не требующий значительных экспериментальных усилий и затрат машинного времени.

В **четвертой главе** методика, предложенная в главе 3, обобщается путем рассмотрения (вместо упругого приближения) в качестве определяющего соотношения вязкопластической модели Джонсона – Кука. Показано, что использование ТКД совместно с результатами моделирования методом конечных элементов в упругопластической постановке позволяет повысить точность предсказания момента разрушения, а корректный учет пластической деформации в области концентратора напряжений дает возможность применять в качестве критической дистанции константу (а не функцию от скорости деформации, используемую в методике применения ТКД с упругими решениями).

Пятая глава диссертации посвящена описанию процессов накопления и локализации дефектов в области концентрации напряжений. Для описания эволюции дефектов использована статистическая модель поведения ансамбля мезодефектов, предложенная профессором О.Б. Наймарком. С помощью проведенного с участием автора моделирования показано, что критическая дистанция может быть напрямую связана с характеристиками ансамбля дефектных структур вблизи концентратора напряжений.

В **заключении** приведены основные результаты и выводы, полученные в ходе диссертационного исследования, подтверждающие достижение поставленной цели, рекомендации по применению результатов и перспективы дальнейшей разработки темы.

Основное содержание диссертации отражено в 11 публикациях, проиндексированных в международных системах цитирования и входящих в перечень рецензируемых научных изданий, установленный Министерством образования и науки Российской Федерации для представления результатов кандидатских диссертаций и/или индексируемых в международных базах данных. Результаты, выносимые на защиту, прошли широкую апробацию, в частности, обсуждались на 14 международных и российских научных конференциях.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В работе использованы известные положения механики деформируемого твердого тела, апробированные численные методы, многократно проверенные программные комплексы, их реализующие. Показана сходимость численных решений. При экспериментальных исследованиях использовались известные методики проведения и обработки результатов, наблюдалась их устойчивая воспроизводимость. Совокупность указанных факторов обеспечивает **достоверность** результатов исследования.

По защищаемым положениям диссертации приводится достаточное **обоснование**. Представленное в заключении описание основных полученных результатов и выводов по итогам выполненного исследования, рекомендаций по применению результатов и перспектив дальнейшей разработки темы соответствует содержанию глав диссертации и является **обоснованным**.

Научная новизна основных результатов работы, их теоретическая и практическая значимость

Предложено **новое** обобщение ТКД на случай динамического нагружения, позволяющее оценить предельное состояние образцов с концентраторами напряжений при скоростях деформации в диапазоне 10^{-3} – 10^4 с⁻¹. **Впервые** развита методика применения ТКД с учетом пластического деформирования, позволяющая повысить точность оценки предельного состояния образцов. Предложена модель, с помощью которой величина критической дистанции **впервые** трактуется как связанная с длиной диссипативной структуры в ансамбле дефектов. **Теоретическая значимость** работы заключается в развитии ТКД в обозначенных направлениях. **Практическая значимость** работы связана с тем, что разработанные автором методики и программы, их реализующие, могут использоваться для оперативного определения прочностных характеристик металлических конструкций с концентраторами напряжений.

Замечания и вопросы по диссертации

1. Понятие «критическая дистанция» (по крайней мере, в исходной ТКД), характеризует расстояние от концентратора напряжений, т.е. является скорее параметром конструкции, чем параметром материала. Как с позиций МДТТ можно объяснить, почему переход к упругопластической

модели (глава 4) позволяет трактовать критическую дистанцию как универсальную константу материала?

2. В (5.26) сопоставляются длина диссипативной дефектной структуры и расстояние от концентратора напряжений, на котором рассматриваются напряжения в ТКД. Этот результат является универсальным, т.е. применимым для различных видов концентраторов напряжений?
3. Ряд замечаний по представлению постановок задач и результатов:

- На стр. 64, 94 предлагается определение относительной погрешности как отклонения решений при разных размерах элементов, хотя погрешность логично определять относительно аналитического решения или экспериментальных данных, а здесь уместней кажется употребление именно выражения «отклонение решений»;

- При построении экспериментальных зависимостей (типа (3.38)) стоило уйти к безразмерному представлению, чтобы избежать вопроса о физической размерности параметров;

- Не полностью описана постановка краевой задачи (стр.93): не приведено уравнение для связи пластической составляющей скорости деформации с девиатором тензора напряжений Коши (ассоциированного закона пластического течения), записано только соотношение для упрочнения; граничные условия, похоже, они не на всей области заданы, пояснения не приведены, кроме того, не указано, что для динамической задачи ГУ могут меняться со временем.

- На стр.104 говорится о том, что учет пластических деформаций «значительно увеличивает время ... моделирования реальных конструкций», но в диссертации не указано, насколько значительно это увеличение хотя бы для рассмотренных задач;

- Из текста диссертации не ясно, проводилось ли исследование чувствительности к параметрам в аппроксимациях (в них много значащих цифр, до 6).

Сомнений в корректности результатов при этом нет, поскольку, в частности, используются верифицированный МКЭ комплекс программ, проведена верификация. Данное замечание носит рекомендательный характер для дальнейшей научной работы соискателя.

4. В незначительном количестве имеются опечатки и неточности в оформлении. Например, лишняя запятая после ФИО руководителя на титульном листе, на стр. 18 – «напряжено-деформированного», на стр. 33 «напряжений», в (1.24) вместо « σ » должно быть « σ_j », на стр. 68 «напряжений используя соотношение (3.21)» (пропущена запятая). Не расшифрована легенда к рис. 3.7 (из контекста можно понять, что речь о методе точки, методе линии и методе площади, но лучше было бы расшифровать и дать пояснения в тексте). При переходе от (3.3) к (3.4) используется формула (1.25), на что не указано.

Обозначенные замечания и возникшие вопросы не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и квалификации ее автора.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Ведерниковой Алены Ильиничны «Расчетно-экспериментальный метод применения теории критических дистанций для оценки динамической прочности металлов» является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполненной автором на высоком уровне. Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования. Диссертация хорошо оформлена, написана грамотным научным языком и легко читается. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации.

Результаты научных исследований, выполненных автором, обладают свойством научной новизны, имеют теоретическую и практическую значимость. Совокупность полученных результатов можно квалифицировать как решение актуальной научной задачи, имеющей значение для развития МДТТ в области механики разрушения. Выдвигаемые соискателем положения, а также сформулированные выводы достоверны. Основные положения работы отражены в публикациях в достаточном количестве рецензируемых журналов, прошли апробацию при представлении на множестве международных и всероссийских научных конференций.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела. Диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.),

предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Ведерникова Алена Ильинична – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры «Математическое моделирование
систем и процессов» Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»
614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д.29,
ПНИПУ, каф. ММСП
тел.+7 (342) 239-12-97, e-mail: alexsh59@bk.ru

/ Швейкин Алексей Игоревич /

23 июня 2020 г.

Подпись А.И. Швейкина удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ПНИПУ,
доцент, кандидат исторических наук



М.П.

В.И. Макаревич