

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Вшивкова Алексей Николаевича «Расчётно-экспериментальный метод построения уравнения роста усталостной трещины в металлах на основе оценки диссипации энергии в её вершине», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Актуальность темы. Исследование направлено на решение одной из важнейших задач в области механики разрушения — прогнозирование усталостного разрушения материалов. Данная задача имеет ключевое значение для обеспечения надежности и долговечности инженерных конструкций. Актуальность работы обусловлена растущими требованиями к экономической эффективности и безопасности, что влечет за собой необходимость оптимизации коэффициентов запаса прочности. Эксплуатация инженерных конструкций часто сопровождается сложными комбинированными режимами нагружения, что создает дополнительные трудности при оценке усталостной долговечности, особенно в условиях концентрации напряжений. Современные подходы к моделированию накопления повреждений требуют перехода от традиционных эмпирических методов к физически обоснованным моделям, что особенно важно для высоконагруженных конструкций.

Научная новизна работы заключается в том, что предложен новый термодинамический подход для прогнозирования скорости роста усталостной трещины, основанный на анализе теплового потока в её вершине. Получено расчетное соотношение, связывающее скорость распространения трещины с диссипацией энергии, а также создан программно-аппаратный комплекс, позволяющий применять данный метод при одноосном и двухосном нагружении. Это открывает новые возможности для более точного предсказания усталостного разрушения в широком диапазоне эксплуатационных условий. Данные результаты являются новыми и обладают несомненной теоретической и практической значимостью.

Обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и достоверность полученных результатов. Достоверность результатов исследования и обоснованность научных положений и выводов обеспечена грамотной постановкой цели и задач, системным характером проведения исследования, применением современных теоретических и

экспериментальных методов механики деформируемого твердого тела. Следует отметить также тот факт, что работа прошла хорошую апробацию, была представлена на международных и всероссийских конференциях.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 128 страниц машинописного текста (в том числе 69 рисунков и 10 таблиц). Список литературы содержит 126 источников

Во **введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, описывается уровень разработанности темы, формулируется цель, задачи работы и научная новизна исследования, приводится описание использованных методов, перечисляются положения, выносимые на защиту, отмечается личный вклад автора.

Первая глава содержит подробный обзор работ, посвящённых исследованию усталостного разрушения, начиная с ранних работ Вёлера и Париса. Рассмотрены эмпирические модификации закона Париса, учитывающие особенности поведения трещины при различных условиях нагружения, а также альтернативные физически обоснованные модели, включая термодинамический подход. Проанализированы экспериментальные методы анализа кинетики распространения усталостных трещин. Обзор показал, что, несмотря на большое количество и разнообразие существующих подходов, универсальная модель для произвольных режимов нагружения до сих пор не разработана. В результате автором формулируется цель работы: создание термодинамического соотношения и простого экспериментального метода для прогнозирования скорости роста усталостной трещины в условиях сложного напряженно-деформированного состояния.

Вторая глава описывает разработанный аппаратно-программный комплекс для измерения скорости выделения тепла в вершине трещины. Особое внимание уделено конструкции контактного датчика, его калибровке и верификации.

Третья глава посвящена экспериментам по измерению скорости роста трещины и тепловыделения в её вершине на образцах из нержавеющей стали 08X18H10 и технического титана ВТ1-0 при одноосном и двухосном нагружении. Установлено, что процесс развития трещины проходит несколько стадий. Сначала происходит возрастание теплового потока с последующей стабилизацией в результате достижения баланса между генерацией тепла и теплоотдачей. Затем наблюдается резкое увеличение тепловыделения во время активного роста трещины. Обнаружена линейная зависимость между скоростью роста трещины и скоростью тепловыделения в её вершине.

В четвёртой главе представлен аналитический подход для расчёта энергии пластической деформации в области вершины усталостной трещины, основанный на решении упругой задачи, который позволяет рассматривать произвольные условия нагружения. Предложено, что диссипация тепла в области вершины трещины обусловлена пластической деформацией в монотонной и циклической зонах. Представленный подход хорошо согласуется с экспериментальными результатами и подтверждает предположение, что на начальных этапах развития трещины диссипация тепла определяется зоной циклической пластической деформации, а при развитии трещины основной вклад вносит зона монотонной пластической деформации, которая напрямую связана со скоростью роста трещины. Это позволило вывести соотношение, связывающее скорость роста трещины со скоростью тепловыделения в её вершине. На основе одноосных испытаний определены константы модели, которые использованы для описания экспериментов с двухосным нагружением.

В заключении сформулированы основные выводы работы.

Оформление диссертации. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Структура диссертации выстроена логично и последовательно. Работа написана грамотным научным языком. Содержание **автореферата** полностью соответствует тексту диссертации.

Все основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих российских и международных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ. По теме работы опубликовано 11 статей, в том числе 2 статьи в журналах первого квартиля, согласно базе научного цитирования WoS. По результатам работы получен патент.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация полностью соответствует паспорту научной специальности 1.1.8. – механика деформируемого твердого тела.

Работа А.Н. Вшивкова производит впечатление хорошо спланированной и технически грамотно реализованной, что позволило получить новые экспериментальные и теоретические результаты. Сформулированные положения, выносимые на защиту, и выводы обладают научной новизной и подтверждают достижения цели исследования.

В диссертационной работе А.Н. Вшивкова рассматривается прогнозирование распространения усталостной трещины в металле при многоосном нагружении на основе термодинамического подхода. Решаемая задача является неотъемлемой частью при проектировании сооружений и конструкций в машиностроении. А методика для детектирования процесса

эволюции усталостных трещин и оценки усталостного ресурса относится к практическому приложению.

Диссертация А.Н. Вшивкова является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и содержит новые результаты, имеющие существенную научную и практическую значимость.

По диссертационной работе можно сформулировать следующие вопросы и **замечания**:

1. В работе основное внимание уделяется описанию развития усталостных трещин в металлах. Возможно ли обобщение полученных результатов на другие материалы?
2. Одна из основных величин, измеряемых в работе, называется тепловым потоком в вершине трещины. Возможно, более корректно говорить о скорости выделения тепловой энергии.
3. В части экспериментов амплитуда прикладываемой нагрузки такова, что напряжения в образце превышают предел текучести. Чем обусловлен выбор такой величины нагрузки?
4. Из работы неясно, проводилось ли охлаждение образцов в процессе нагружения?
5. Как соотносится размер датчика “теплового потока” и области, в которой происходит наиболее интенсивное выделение тепла?
6. Из текста главы 4 неясно, какая использовалась модель для описания пластического течения материала и на чем основывался выбор данной модели. Как изменятся результаты, при замене модели пластичности? Какие пластические эффекты должна учитывать такая модель? Учитывался ли при построении модели выделения тепла в вершине трещины процесс теплопроводности?
7. Формулы в пункте 4.1 (например, (4.1.20)) содержат объемные интегралы. По какому объему проводится интегрирование?

Сделанные замечания имеют характер пожеланий и не снижают **общее положительное впечатление от работы**.

Заключение. Диссертация Вшивкова Алексея Николаевича на тему «Расчётно-экспериментальный метод построения уравнения роста усталостной трещины в металлах на основе оценки диссипации энергии в её вершине» выполнена на высоком научном уровне, представляет собой самостоятельную, законченную научно-квалификационную работу, отвечает требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» П. II.9.

предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор А.Н. Вшивков заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент, доктор
физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории “Дискретные модели
механики”

 Кузькин Виталий Андреевич

«05» мая 2025 г.

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН)

Адрес: 199178, г. Санкт-Петербург, Большой пр. ВО, д. 61

Тел.: +7-812- 321-47-78

Факс: +7 (812) 321-47-71.

Сайт: <https://ipme.ru>

E-mail: ipmash@ipme.ru

Подпись Кузькина В.А. заверяю.

