



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

20 СЕН 2021

№ 104-4836

На № _____ от _____

У Т В Е Р Ж Д А Ю
Первый проректор –
проректор по научно-исследовательской
работе

доктор технических наук, доцент

А.Б. Прокофьев

« 20 » сентября 2021 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Иштырякова Ивана Сергеевича

«Развитие поверхностных дефектов в условиях сложного напряженного состояния при отрицательной, нормальной и повышенной температурах»,
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.8 (01.02.04) – Механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа И.С. Иштырякова посвящена комплексному – экспериментальному и численному – исследованию напряженно-деформированного состояния в элементах конструкций с трещинами и дефектами в условиях сложного напряженного состояния в широком диапазоне температур. Дефекты и трещины в твердых деформируемых телах и вызванная ими концентрация напряжений играют огромную роль в оценке прочности, жизнеспособности и ресурсоспособности ответственных элементов конструкций, находящихся в реальных эксплуатационных условиях. Несмотря на важность и фундаментальность вопросов надежной оценки напряженно – деформированного состояния и огромное число работ им посвященных, многое в физике и механике разрушения остается еще не до конца понятным. Сейчас все большее количество энергетических установок авиационного и нефтехимического профиля содержат металлоконструкции, которые для повышения эффективности оборудования должны быть спроектированы таким образом, чтобы они надежно работали при сложных термомеханических воздействиях. Автор диссертации представил разработанный расчетно-экспериментальный метод анализа развития поверхностных трещин в широком температурном диапазоне в полых

цилиндрических образцах, предложил в качестве параметра сопротивления разрушению упругопластический параметр – пластический коэффициент интенсивности напряжений и дал приложение разработанной экспериментально-расчетной методики к элементу авиационных конструкций, обосновав развитый метод.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и списка использованной литературы из 188 наименований. Общий объем диссертации состоит из 185 страниц, диссертация содержит 102 рисунка и 25 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, приведена общая характеристика работы, определяются направления исследований, указываются перспективы научного и практического значения сформулированных задач исследования.

В первой главе приведен обзор современного состояния проблемы и обзор научных публикаций по тематике диссертационного исследования. На основании приведенного литературного обзора научных публикаций сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе изложены методики экспериментальных и численных исследований скорости роста трещины в полых цилиндрических образцах при сложных термомеханических воздействиях. Во второй главе обосновывается выбор полых цилиндрических образцов с поперечным и продольным дефектами, приводится программа реализованных испытаний на данных образцах и блок-схема предлагаемой методики расчета скорости поверхностной трещины. Приведен параметр сопротивления разрушению – пластический коэффициент интенсивности напряжений. Основным результатом второй главы – полученные экспериментальные данные, а именно определенные положения фронтов поверхностной полуэллиптической трещины как функции количества циклов нагружения.

В третьей главе приведены результаты конечно-элементных расчетов коэффициентов интенсивности напряжений для упругого и пластического деформирования полых цилиндрических образцов с поверхностными дефектами в широком диапазоне температур. На основании выполненных конечно-элементных расчетов получены аппроксимационные формулы для вычисления пластического коэффициента интенсивности напряжений.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального изучения характеристик циклической трещиностойкости сплавов Д16ЧАТ, В95АТ1 и ВТЗ-1 при сложном напряженном состоянии: рассмотрены полые цилиндрические образцы с различной ориентацией поверхностного дефекта при растяжении, совместном действии растяжения и кручения, а также

внутреннего давления. Приведены зависимости скорости роста трещины на поверхности от раскрытия трещины на боковой поверхности цилиндрического образца. Показано, что данные зависимости укладываются в единую кривую с узкой полосой разброса и получена аппроксимация скорости роста трещины как функция ее раскрытия.

В пятой главе на основе развитых в диссертации подходов реализована и представлена методика оценки остаточной долговечности диска компрессора авиационного ГТД с поверхностным дефектом в замковом соединении типа «ласточкин хвост» при сложном напряженном состоянии в условиях упругопластического деформирования. Автором разработан и реализован алгоритм расчета скорости роста трещины. Автор соотнес скорость подрастания усталостной трещины сначала с упругим коэффициентом интенсивности напряжений, а затем с упругопластическим коэффициентом интенсивности напряжений. В четвертой главе показаны преимущества применения пластического коэффициента интенсивности напряжений как характеристики сопротивления разрушению и прогнозирования остаточной долговечности элементов конструкций ГТД.

В разделе «**Основные выводы**» сформулированы основные выводы диссертации.

Научная новизна и теоретическая значимость работы заключается в том, что

1. в диссертации разработан расчетно-экспериментальный метод анализа развития поверхностных трещин при сложном напряженном состоянии с учетом влияния температуры;
2. дано глубокое экспериментальное обоснование диаграммы циклического разрушения в терминах пластического коэффициента интенсивности напряжений для поверхностных дефектов в полых образцах в широком диапазоне температур: от отрицательных до повышенных;
3. с помощью нового параметра сопротивления разрушению дано описание закономерностей и особенностей развития поверхностных трещин в алюминиевых сплавах Д16ЧАТ и В95ФТ1 в условиях сложного напряженного состояния с учетом влияния температур.

Практическая значимость полученных результатов связана с возможностью их применения в инженерной практике, включая авиацию и атомную энергетику. **Практическая значимость работы** обусловлена тем, что разработанная методика дает возможность количественной оценки влияния вида нагружения и условий окружающей среды на характеристики остаточной долговечности элементов конструкций при сложном

напряженном состоянии (сама диссертационная работа выполнена в Институте энергетики и перспективных технологий ФГБУ Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН»).

Полученные результаты с успехом могут найти применение в практике проектных организаций, в научно-исследовательской деятельности таких учреждений как Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институт машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН, Объединенный институт высоких температур РАН, Институт прикладной физики РАН, в учебной работе при создании новых спецкурсов в таких вузах как МГУ им. М.В. Ломоносова им. М.В. Ломоносова, МГТУ им. Н.Э. Баумана и других.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации не вызывают сомнений, поскольку они получены с помощью современных апробированных экспериментальных методов и современного экспериментального оборудования, корректных математических моделей и надежных, хорошо зарекомендовавших себя вычислительных конечно-элементных пакетов. В частных случаях результаты, полученные автором диссертационной работы, хорошо согласуются с результатами исследований других авторов.

Основные результаты диссертации отражены в 17 публикациях в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, установленный Министерством образования и науки Российской Федерации для представления результатов диссертаций, и журналах, индексируемых в системах цитирования Web of Science и Scopus. Результаты диссертационного исследования были доложены на целом ряде международных и всероссийских конференций и на научных семинарах. Автореферат соответствует содержанию диссертации и позволяет составить достаточно полное представление о ней.

Несомненным преимуществом диссертационной работы являются 1) большой объем выполненных на современном оборудовании новых экспериментов для сложных термомеханических нагрузок, 2) связанный с ним большой объем вычислительных экспериментов и 3) доведение результатов до вида, пригодного для использования в инженерной практике.

По тексту диссертации имеются следующие вопросы, замечания и комментарии.

- 1) Автор, в целом, хорошо и ясно передает свою мысль, в тексте полно отражены подробности и детали многочисленных натуральных и вычислительных экспериментов, автором дан хороший экскурс в исследуемые проблемы и автор хорошо осведомлен о деятельности предыдущих исследователей проблемы. Из текста диссертационной

работы также видно, что автор ориентируется в численных расчетах, в постановке, проведении и анализе натуральных экспериментов. Однако, к сожалению, по обзору научной литературы есть ряд замечаний. Например, на странице 13 автор указывает, что «Эффективное применение аппарата механики деформируемого твердого тела в исследовательских и прикладных целях требует глубоких знаний составляющих ее разделов – теорий упругости, пластичности и механики трещин. Классическое изложение данных основ можно найти в работах С.П. Демидова, А.А. Ильюшина, В. Новацкого, Ю.Н. Работнова, А.И. Лурье, В.Н. Шлянникова, А.А. Яблонского и др. [15, 18, 27, 39, 48, 61]». Яблонский А.А. – заслуженный деятель науки и техники СССР, д.т.н., известный автор учебников по теоретической механике. В этом списке в диссертационной работе это упоминание А.А. Яблонского – лишнее, тем более, ссылка в списке используемых источников отсутствует. Фигурирующая в этом списке ссылка [15] – ссылка на монографию Давиденкова Н.Н. и Лихачева В.А., тогда как ссылка на книгу Демидова С.П. – это ссылка [16]. В своей диссертационной работе автор ссылается на ставшие классическими монографии и руководства по теории упругости и механике разрушения, такие как Демидов С.П. Теория упругости, Новацкий В. Теория упругости, Брок Д. Основы механики разрушения, упомянуты Мариотт (1662 г.), Кулон (1773 г.), Мизес (1913 г.) и др. Таким образом, вопрос следующий: почему нет ссылок на классические монографии, такие как монография В.З. Партон и Е.М. Морозова Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1974. 416 с. Книга выдержала несколько изданий: В.З. Партон, Е.М. Морозова Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1985. 504 с.; В.З. Партон, Е.М. Морозова Механика упругопластического разрушения. Основы механики разрушения. ЛКИ, 2008. 352 с.; В.З. Партон, Е.М. Морозова Механика упругопластического разрушения. Специальные разделы механики разрушения. 2008. 192 с. Почему нет ссылок на монографии Качанова Л.М. (Основы теории пластичности, Основы механики разрушения)? Таким образом, возникает естественный вопрос: почему, если автор замыслил глубокий и широкий обзор, нет ссылок на классические работы?

- 2) К сожалению, в самом тексте диссертации имеется ряд опечаток и неточностей. Например, стр. 19 «Условие прочности по этой теории, известной в литературе под названием теории напряжений», формула на стр. 55 и другие погрешности.
- 3) Используемые в диссертации определяющие соотношения – это соотношения Рамберга – Осгуда – соотношения деформационной теории пластичности, работающие для зоны нагружения, применяются

- в диссертации для описания и анализа циклической трещиностойкости при сложном напряженном состоянии. Как учитывается зона разгрузки? Как учитывается зона пластического деформирования при разгрузке образца? Согласно диссертационному исследованию, в эксперименте при циклическом нагружении определяется фронт трещины, затем, используя геометрию фронта трещины, автор создает конечно-элементную модель и, рассматривая статическое нагружение, вычисляет параметры механики разрушения. Насколько изменятся результаты, если непосредственно в конечно-элементном пакете применить циклическое нагружение? Как учитываются особенности циклического нагружения в конечно-элементной модели?
- 4) В тексте диссертационной работы и автореферата можно встретить фразы «представлены распределения компонент упругопластических напряжений». Например, стр. 82. Очевидно, что упругими и пластическими могут быть деформации, но не напряжения.
 - 5) Во всех аппроксимационных формулах, полученных в диссертации, размерные константы фигурируют без указания размерности (например, стр. 144 диссертации). Очевидно, что постоянная C уравнения Париса - размерная, но размерности не указаны и цифры для Д16ЧАТ во втором и третьем столбцах отличаются для уравнения в последнем столбце, тогда как для других материалов совпадают. Почему? Также в таблице 4.5.3. на стр. 145 безразмерный параметр R_T в аппроксимационных формулах стоит как функция температуры, но температура – размерная величина, ее следует отнести, например, к комнатной, а потом получать аппроксимации. По всей видимости, так и было сделано, и константы, фигурирующие в таблице 4.5.3. – безразмерные, но об этом в диссертации ничего не говорится.
 - 6) В диссертационной работе приведены трехмерные поля напряжений и перемещений в окрестности вершины трещины в изотропном линейно упругом материале (формулы (3.2.1) на стр. 67), являющиеся простым обобщением решения двумерной задачи. Почему не использовать известные трехмерные упругие поля, полученные при решении пространственных задач, например, в Zhu X.K., Lui G.T., Chao Y.J. Three-dimensional stress and displacement fields near an elliptic crack front. International Journal of Fracture. 2001. V. 109. № 4. P. 383-401?

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Она выполнена на высоком научном уровне, содержит новые результаты и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК России к диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.1.8. (01.02.04) – Механика деформируемого твердого тела. Ее автор, Иштыряков Иван Сергеевич, несомненно, заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук.

Результаты диссертации были доложены 8 сентября 2021 года на научном семинаре кафедры математического моделирования в механике Самарского национального исследовательского университета имени акад. С.П. Королева и получили положительные отзывы специалистов.

Настоящий отзыв на диссертацию И.С. Иштырякова рассмотрен и одобрен 13 сентября 2021 года (Протокол № 2) на заседании кафедры математического моделирования в механике.

Зав. кафедрой математического моделирования

в механике, д.ф.-м.н.

Степанова Лариса

Валентиновна

443086 Самара, Московское шоссе, 34

Тел. +7 846 3345441

E-mail: stepanova.lv@ssau.ru