

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ
им. А.Ю. ИШЛИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМех РАН)**

пр. Вернадского, д.101, к.1, г. Москва,
119526

Тел. (495) 434-00-17 Факс 8-499-739-95-31

ОКПО 02699323, ОГРН 1037739426735

ИНН/КПП 7729138338/772901001

11.05.2021 № 11004/01-2143-199

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора
ФГБУН «Институт проблем
механики им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук»
(ИПМех РАН) д.т.н.

Карев Владимир Иосифович



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Елеонского Святослава Игоревича
«Исследование процесса накопления повреждений и
эволюции остаточных напряжений по данным измерений локального
деформационного отклика методом спекл-интерферометрии», представленной
к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Диссертационная работа Елеонского С.И. посвящена разработке и
применению новых экспериментальных методов, основанных на оптико-
физических измерениях локального деформационного отклика, для
исследования процессов накопления повреждений и эволюции остаточных
напряжений в зонах концентрации напряжений при малоциклового усталости.
Данное исследование входит в область механики твёрдого деформируемого тела,
представляющего значительный интерес. Проблема методик измерения и
анализа остаточных напряжений является одной из ключевых в механике
материалов и технологий. Создание высокотехнологичных соединений
элементов авиационных конструкций, таких как: сварные соединения,
соединения на основе упрочнённых (дорнированных) отверстий зачастую
характеризуются значительными по величине технологическими остаточными
напряжениями, влияние которых на статическую и усталостную прочность

необходимо учитывать при оптимальном проектировании ЛА. В силу этого, **актуальность** данной работы не вызывает сомнений.

Научная новизна работы заключается в разработке и верификации метода определения параметров механики разрушения при моделировании трещины последовательностью узких надрезов и измерении деформационного отклика в виде тангенциальных компонент перемещений методом электронной спекл-интерферометрии. С помощью разработанного метода получен большой объём экспериментальных данных, на основании которых:

1. Установлены закономерности влияния коэффициента асимметрии и размаха напряжений цикла на эволюцию параметров механики разрушения при малоцикловом нагружении прямоугольных образцов с центральным отверстием.
2. Получен явный вид функции накопления повреждений в окрестности отверстия прямоугольных образцов при малоцикловом нагружении.
3. Установлены закономерности, описывающие сложный характер эволюции остаточных напряжений в окрестности упрочнённых отверстий и сварных швов.
4. Для альтернативной оценки остаточных напряжений в окрестности упрочнённого отверстия разработан метод сверления вторичного отверстия.

Достоверность результатов работы подтверждается верификацией разработанного метода при решении классических задач линейной механики разрушения. Сравнение полученных экспериментальных данных с теоретическими и численными решениями показывает погрешность измерений, не превышающих нескольких процентов, что является приемлемым для большинства инженерных приложений.

Практическая значимость заключается в возможности количественного описания процесса накопления усталостных повреждений в образцах, моделирующих элементы болтовых/заклёпочных и сварных соединений. Полученные данные необходимы для верификации численных моделей

зарождения и развития усталостных трещин в нерегулярных зонах авиационных конструкций, в том числе при наличии полей остаточных напряжений.

Теоретическая значимость заключается в возможности использования двухпараметрической механики разрушения для описания и прогнозирования процессов накопления повреждений в соединениях элементов конструкций, характеризующихся значительными по величине технологическими остаточными напряжениями.

Апробация результатов работы проведена на нескольких российских и международных конференциях.

Результаты работы в достаточной степени отражены в 24 публикациях, в том числе, - в 8 работах, опубликованных в журналах, индексируемых Scopus и Web of Science. Получен патент на изобретение.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы; всего 215 стр. текста.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, проводится анализ состояния рассматриваемых задач механики деформируемого твёрдого тела, определяются цели и задачи диссертационного исследования, научная новизна, практическая и теоретическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе описано современное состояние проблемы. Приведён литературный обзор экспериментальных методов определения параметров механики разрушения, исследования процессов накопления повреждений и проблем, связанных с исследованием остаточных напряжений в окрестности упрочнённых отверстий и сварных швов.

Во второй главе представлено подробное рассмотрение теоретических принципов модифицированной версии метода последовательного наращивания длины трещины (ПНДТ) и вывод математических соотношений, необходимых для преобразования исходной экспериментальной информации в искомые величины параметров механики разрушения. Описывается методика эксперимента по определению тангенциальных компонент перемещений,

оценена погрешность определения величин раскрытия, которые необходимы для вычисления коэффициента интенсивности напряжений (КИН). Представлена принципиальная схема модифицированной версии метода ПНДТ и соответствующая ей типичная картина интерференционных полос. Приведены основные соотношения метода ПНДТ, которые выявляют систему особых точек в окрестности вершины трещины. Показано, что в этих точках можно получать абсолютные величины компонент перемещений, необходимые для определения параметров механики разрушения.

В третьей главе представлены новые экспериментальные данные, которые количественным образом описывают влияние изменения коэффициента асимметрии и размаха напряжений цикла на процесс накопления повреждений в окрестности сквозного отверстия при малоцикловом нагружении.

В четвёртой главе представлены новые подходы к исследованию эволюции остаточных напряжений при малоцикловом нагружении в окрестности упрочнённых отверстий.

В пятой главе представлено определение исходных величин остаточных напряжений в окрестности сварного соединения алюминиевых пластин и анализ их эволюции при малоцикловом нагружении. Для этого использовано совместное применение методов сверления отверстий и электронной спекл-интерферометрии, а также метод ПНДТ.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Вопросы и замечания по работе.

1. В *разделе 2.5* оценивается влияние пластической зоны в вершине трещины на точность измерения компонент перемещений необходимых для вычисления КИН. Поскольку в работе также много экспериментальных данных по вычислению параметра T -напряжений, было бы логично оценить влияние пластической зоны и на точность измерения компонент тангенциальных перемещений u (совпадающих с линией надреза).

2. По материалам, представленным в диссертации, можно сделать вывод, что двух точек измерения перемещений достаточно для приемлемой точности получения величин КИН. Есть ли этому экспериментальное подтверждение? Из текста диссертации также неясен принцип выбора положения этих точек.

3. В пункте 3.4.1 прогнозирование процесса накопления повреждений для произвольных значений коэффициентов асимметрии R основывается на построении графика (рис. 3.19) для особой точки в 67% долговечности. В чём особенность этой точки при её выборе?

Сделанные замечания не снижают общее впечатление о высоком уровне полученных результатов. Работа представляет собой законченное научное исследование и соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертационным работам, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, а автор диссертации - С.И. Елеонский - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

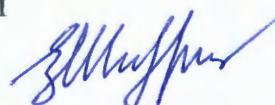
Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на заседании семинара лаборатории механики прочности и разрушения материалов и конструкций ИПМех РАН 28.04.2021 г.

Профессор, доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник ИПМех РАН



А.Л. Попов

Руководитель семинара лаборатории механики
прочности и разрушения материалов и конструкций,
доктор физико-математических наук, главный
научный сотрудник ИПМех РАН



Е.И. Шифрин