ФАНО России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ
Уральского отделения
Российской академии наук
(ИМАШ УрО РАН)
Комсомольская ул., 34, г. Екатеринбург, 620049
Тел.: (343) 374-47-25, факс: (343) 374-53-30
E-mail: ges@imach.uran.ru; http: //www.imach.uran.ru
ОКПО 04538044, ОГРН 1036603482992
ИНН/КПП 6660005260/667001001
10.02.2016 № 16347/02-2115-16
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, доктор технических наук

_____ С.В. Смирнов

10 февраля 2016 г.

О Т З Ы В

ведущей организации Институт машиноведения УрО РАН

на диссертационную работу Захарова Александра Павловича «Характеристики циклической трещиностойкости конструкционных материалов при смешанных формах двухосного нагружения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Актуальность темы диссертации. Создание новых технологий связано с необходимостью повышения надёжности деталей и конструктивных элементов машин в современных условиях эксплуатации. Особый интерес для исследований представляет анализ условий разрушения и живучести изделий в условиях циклического двухосного напряженного состояния. Двухосное циклическое нагружение приводит к образованию трещин, плоскость расположения которых может быть неблагоприятным образом ориентирована по отношению к действующим напряжениям. В модельных представлениях поведения объектов, содержащих произвольно ориентированные трещины, необходимо учитывать смешанные формы деформирования и разрушения. Влияние параметров смешанных форм деформирования определяет зону пластической деформации в вершине трещины, что предполагает проведение исследований в упругопластической постановке. Оценка и интерпретация характеристик циклической трещиностойкости при двухосном нагружении требует проведения трудоёмких экспериментальных исследований.

Приложения результатов исследований скорости роста трещин при смешанных формах двухосного циклического деформирования к проблемам прогнозирования остаточного ресурса элементов конструкций требует адекватных моделей накопления и развития повреждений. В связи с этим, определение характеристик циклической трещиностойкости конструкционных материалов при смешанных формах двухосного нагружения ***является актуальной задачей.***

Целью работы является разработка и обоснование упруго-пластических параметров состояния и развития трещин при смешанных формах двухосного циклического нагружения.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и списка литературы, включающего 142 наименования.

В первой главе приведены основные подходы и методы определения характеристик трещиностойкости при смешанных формах двухосного нагружения. Рассмотрены вычислительные аспекты определения параметров напряжённо-деформированного состояния в вершине трещины. Сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

Во второй главе описана методика исследования характеристик циклической трещиностойкости при смешанных формах двухосного нагружения. В качестве объектов исследований рассматривались крестообразные образцы двух геометрий: плоский крестообразный образец и образец с утонением в рабочей зоне. В результате численных расчетов методом конечных элементов оптимизирована геометрии рассматриваемых конструкций образцов по критерию однородности напряженного состояния в рабочей зоне для широкого диапазона коэффициентов двухосности номинальных напряжений. Для учета влияния двухосности нагружения на напряженно-деформированное состояние в области вершины трещины, реализуемое с учётом геометрии зоны пластической деформации и скорости роста трещин, введен новый параметр сопротивления разрушению в форме пластического коэффициента интенсивности напряжений.

В третьей главе представлены численные значения введенных параметров НДС для экспериментального диапазона условий смешанных форм деформирования при двуосном нагружении. Для определения искомых упругих и упруго-пластических параметров напряженно-деформированного состояния в вершине трещины сформированы конечно-элементные модели деформируемых образцов двух геометрий, содержащих сквозные трещины.

Численные решения представлены для двух положений сечения вдоль фронта трещины (по толщине пластины): на свободной поверхности и в серединном сечении образца.

В четвёртой главе приведены результаты экспериментальных исследований развития наклонных трещин при двухосном циклическом нагружении и определены характеристики циклической трещиностойкости в широком диапазоне условий двухосного нагружения.

В пятой главе представлено практическое приложение разработанных в диссертационной работе методов и результатов экспериментов для расчета остаточной долговечности на стадии роста трещины в диске паровой турбины. Расчеты скорости развития несквозного дефекта и остаточной долговечности диска осуществлены с использованием вычисленных значений введенного пластического коэффициента интенсивности напряжений для условий эксплуатационных нагрузок и повреждений.

Основные научные результаты и выводы, полученные автором:

Для условий двухосного нагружения введен и обоснован обобщенный параметр сопротивления циклическому деформированию и разрушению в форме пластического коэффициента интенсивности напряжений, который является характеристикой напряжённого состояния в области вершины трещины при сложном напряженном состоянии

Установлены закономерности распределения упругих и упруго-пластических параметров полей напряжений в вершине трещины и представлена их аппроксимация в зависимости от вида двухосного нагружения, относительной длины и ориентации трещины, положения сечения вдоль фронта трещины для смешанных форм деформирования.

Разработан метод и проведено комплексное расчетно-экспериментальное исследование характеристик циклической трещиностойкости при смешанных формах двухосного деформирования. Экспериментально установлены закономерности и особенности развития трещин при смешанных формах двухосного циклического разрушения и дано их описание.

На основе обобщённых диаграмм циклической трещиностойкости предложен метод расчета характеристик сопротивления материала разрушению для заданных смешанных форм двухосного деформирования.

Разработан и реализован на примере диска турбины алгоритм оценки остаточной долговечности с использованием пластического коэффициента интенсивности напряжений.

Научная новизна и значимость полученных результатов:

Разработана методика численного и экспериментального исследования характеристик состояния сквозных трещин при смешанных формах двухосного циклического деформирования. С учетом геометрии фронта трещины определены упругие и упруго-пластические поля напряженно-деформированного состояния.

Для условий двухосного нагружения введен и обоснован обобщенный параметр сопротивления циклическому деформированию и разрушению в форме пластического коэффициента интенсивности напряжений.

Экспериментально установлены и обобщены особенности и закономерности кинетики развития трещин при смешанных формах двухосного циклического деформирования в крестообразных образцах различных геометрий.

Практическая ценность работы состоит во введении и обосновании обобщенного параметра сопротивления деформированию и разрушению материалов и элементов конструкций; предоставлена возможность количественной оценки влияния смешанных форм деформирования на характеристики остаточной долговечности при сложном напряженном состоянии. На основе обобщённых диаграмм циклической трещиностойкости предложен метод расчета характеристик сопротивления материала разрушению для заданных смешанных форм двухосного деформирования. На примере диска паровой турбины реализован алгоритм оценки остаточной долговечности с использованием пластического коэффициента интенсивности напряжений.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы на предприятиях:

ОАО «Генерирующая компания» (Набережночелниская ТЭЦ) и других теплогенерирующих компаниях;

ОАО «НПО САТУРН» и на других предприятиях аэрокосмической отрасти.

В целом, оценивая рассматриваемую работу **положительно**, необходимо сделать ряд **замечаний**:

1. Не ясно как обеспечено необходимое требование однородного напряженно-деформированного состояния в рабочей зоне крестообразных образцов в широком диапазоне соотношений прикладываемых нагрузок. Степень однородности полей напряжений в рабочей зоне для всех предложенных вариантов конструкций образцов оценивалась по графикам распределения нормальных напряжений σ_{yy} по длине рабочей зоны. Не ясно почему компонента тензора напряжений σ_{yy} выбрана в качестве критериальной величины. Почему эти напряжения на «нормальный отрыв» являются определяющими? Также видна очевидная неоднородность в рабочей зоне (рис. 2.6 и 2.7 диссертации).
2. В работе используется понятие относительной длины наведенной трещины, но не понятно по какому параметру нормируется её размер. Следовательно, не ясно для каких длин трещин можно использовать разработанную методику. Также в работе не введен параметр толщины образца, и поэтому не ясно для каких элементов (тонкостенных, толстостенных) можно применять методику.
3. Не ясно как для стали Ст3, имеющею площадку текучести (Рис.3.14), проведена аппроксимация диаграммы деформирования по модели Рамберга-Осгуда.
4. Иллюстративный материал расчетов (Рис. 2.13, Рис. 3.5 и др.) приведен без соответствующих размерностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, которая содержит новое решение актуальной задачи, заключающееся в разработке и опробовании современной методики проведения механических испытаний и определении характеристик циклической трещиностойкости конструкционных материалов при смешанных формах двухосного нагружения. Новые научные результаты, полученные в диссертации, имеют существенное значение для проведения расчетов на прочность конструктивных элементов авиакосмической техники.

Обоснованность положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, обусловлена строгостью постановки задач и корректным применением подходов и методов механики деформируемого

твердого тела.

Диссертация написана современным научно-техническим языком, хорошо структурирована и аккуратно оформлена. Материал изложен последовательно и логично, снабжен достаточным количеством примеров и иллюстраций.

Цели и задачи, определенные в работе, выполнены в полном объеме. Библиографический список научно-технической литературы достаточен, обращение к ней обосновано и свидетельствует о научном кругозоре диссертанта.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научной и технической литературе. Публикации в достаточной мере отражают основные научные результаты соискателя.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа «Характеристики циклической трещиностойкости конструкционных материалов при смешанных формах двухосного нагружения» полностью удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. № 842, а ее автор Захаров Александр Павлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Отзыв заслушан и обсужден на заседании отдела Механики машин и технологий ИМАШ УрО РАН, протокол № 1 от 9 февраля 2016 года.

Руководитель семинара,
заведующий лабораторией механики деформаций ИМАШ УрО РАН
д.т.н., профессор, тел. (343) 375-35-61, e-mail: avk@imach.uran.ru
Коновалов Анатолий Владимирович

Секретарь семинара,
старший научный сотрудник лаборатории механики деформаций ИМАШ УрО РАН, к.т.н., тел. (343) 375-35-89, e-mail: olga@imach.uran.ru
Муйземнек Ольга Юрьевна