

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)**

**федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Рыбинский государственный
авиационный
технический университет
имени П. А. Соловьёва»
(РГАТУ имени П. А. Соловьёва)**

Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,
Ярославская обл., 152934.
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.
E-mail: root@rsatu.ru

№ _____

614068, г. Пермь,
ул. Академика Королева, 1
Пермский федеральный
исследовательский центр Уральского
отделения Российской академии наук
Учёному секретарю
диссертационного совета
Д 004.036.01
Зуеву А.Л.

ОТЗЫВ

На автореферат Суламанидзе Александра Гелаевича
на тему: «Анализ и закономерности развития трещин усталости при
изотермическом и термомеханическом нагружении в жаропрочном сплаве»
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.1.8 – механика деформируемого твёрдого тела

Усталость материалов и в настоящее время является одной из основных причин отказа деталей машин и элементов конструкции, подверженных действию напряжений, циклически изменяющихся по величине и по знаку во времени. Для повышения ресурса и надёжности подобных конструкций важное значение приобретают вопросы выбора материала, обеспечивающие стабильное и высокое сопротивление элементов конструкций усталостному разрушению. Решения проблемы повышения ресурса и надёжности машин обуславливают разработку и внедрение вероятностных методов расчёта на прочность при переменных напряжениях, учитывающих случайный характер действующих нагрузок и изменения характеристик сопротивления усталости материалов и деталей. Кроме того, неотъемлемой частью является эксперимент: испытания при статическом растяжении-сжатии, малоциклового и многоциклового усталости, а также испытания по определению скорости роста трещины усталости. Характеристики сопротивления усталостному разрушению материала и изделий определяются в результате испытаний на усталость образцов, моделей, натуральных деталей и конструкций в целом, что требует больших материальных затрат и весьма длительного времени. В связи с этим ведутся поиски расчётных методов оценки характеристик сопротивления усталостному разрушению и методов ускоренных и форсированных испытаний на усталость.

Повышение требований к характеристикам материалов, воспринимающих циклическое высокотемпературное нагружение, а также сложность механизма усталостного разрушения, заставляет проводить исследования характеристик сплавов в условиях приближенных к эксплуатационным.

Научная новизна работы заключается в разработке расчетно-экспериментального метода исследования развития трещин при термомеханической усталости с учетом сдвига фаз нагрузки и температуры; анализе эффектов циклического механического нагружения при нестационарном распределении температур на напряженно-деформированное состояние в вершине трещины; формулировке и обосновании параметра разрушающего воздействия для интерпретации скорости роста трещины и остаточной долговечности в условиях стационарного и нестационарного теплового состояния материала при циклическом нагружении.

Достоверность полученных результатов подтверждается валидацией и верификацией численных моделей на основе предложенного алгоритма анализа чувствительности вариации выборки данных, совпадением результатов численных расчетов, модельных представлений и экспериментальных данных.

Практическая значимость заключается в обосновании подхода для количественной оценки эффектов термомеханического нагружения на характеристики остаточной долговечности элементов турбомашин.

Во введении автор обосновал актуальность исследований.

В первой главе определяется круг актуальных вопросов по термомеханической усталости. Изложены наиболее значимые для текущей диссертации практические и теоретические результаты становления и развития экспериментальной и вычислительной механики деформирования и разрушения. Представлен обзор известных подходов к определению характеристик сопротивления деформированию и разрушению материалов при циклическом нагружении в условиях повышенных температур, дан анализ известных моделей прогнозирования долговечности применительно к условиям термомеханического нагружения, сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

Во второй главе изложена разработанная методика экспериментальной части работы. Приведен состав сформированного уникального испытательного комплекса и описан порядок определения основных механических характеристик и скорости роста трещины жаропрочного сплава ХН73МБТЮ в условиях циклического нагружения.

В третьей главе представлены результаты численного моделирования НДС в образце при изотермической усталости и термомеханической усталости по параметрам проведенных испытаний на скорость роста трещины для различных значений длины трещины, установлен вклад термических напряжений в общее и локальное НДС. Выполнен численный анализ, с использованием ANSYS, термомеханического усталостного нагружения. По результатам численных расчетов получены упругие и упругопластические поля напряжений, деформаций и перемещений на основе которых вычислялись упругие и упругопластические параметры для интерпретации скорости роста трещины. Представлен анализ изменения полей напряжений в области вершины трещины в

изотермических и переходных тепловых условиях, в пределах отдельного цикла и последовательности нескольких циклов деформирования.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований характеристик циклической трещиностойкости сплава ХН73МБТЮ при деформировании в изотермических и переходных тепловых состояниях в диапазоне температур 26-650°C. Представлен детальный анализ и установлены закономерности влияния тепловых и силовых факторов на характеристики циклической трещиностойкости. На основе результатов экспериментов и соответствующих численных расчетов введен параметр разрушающего воздействия для интерпретации и прогнозирования скорости роста трещин и остаточной долговечности при изотермическом и ТМУ нагружении. Параметр представляет собой интегральную оценку накопленной за весь цикл нагружения нормированной величины плотности энергии деформации в окрестности вершины трещины. В качестве практического приложения в диссертационной работе рассмотрено высокотемпературное усталостное распространение трещины в диске турбины на основе методов имитационного моделирования. Дано обоснование применения имитационного моделирования к оценкам остаточной долговечности диска турбины при эксплуатации в условиях повышенных температур.

Замечания

1. В автореферате широко используется сокращение ТМУ (термомеханическая усталость), но расшифровка его отсутствует.
2. Из автореферата не понятно, почему объектом исследований по развитию трещин в диссертационной работе выступает именно образец с односторонним надрезом (SENT).
3. В тексте диссертации отсутствуют выводы по главам. Было бы гораздо легче воспринимать материал при их наличии.
4. На странице 17 автореферата указано: «разница в величине остаточной долговечности по отношению к экспериментально полученной составила в среднем 20% и в одном случае не более 39.7%, что соответствует типичному разбросу результатов для сплава ХН73МБТЮ». Такая разница (погрешность) между расчетными и экспериментальными данными считается приемлемой (допустимой)? Что значит «типичный разброс результатов для сплава ХН73МБТЮ»?

Заключение

Диссертационная работа Суламанидзе Александра Гелаевича на тему: «Анализ и закономерности развития трещин усталости при изотермическом и термомеханическом нагружении в жаропрочном сплаве» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой. Результаты диссертационной работы имеют как теоретическую, так и практическую значимость. Автор достаточно полно проработал очень сложный вопрос исследования развития трещин для условий

изотермического и нестационарного температурного состояния материала при циклическом механическом нагружении, выполнил расчетно-экспериментальные исследования влияния вида нагружения и температуры на характеристики циклической трещиностойкости жаропрочного никелевого сплава, разработал метод и реализовал алгоритм численного сопряженного мультифизического анализа циклического механического нагружения при нестационарном температурном состоянии материала. Им опубликовано 10 работ из них 2 работы в журналах из перечня ВАК и один патент на изобретение. Результаты работы прошли апробацию на множестве, как российских, так и международных научных конференциях.

Считаю, что диссертационная работа Суламанидзе Александра Гелаевича соответствует паспорту заявленной специальности и требованиям пунктов 9 – 14 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор Суламанидзе Александр Гелаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

Выражаю согласие на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата физико-математических наук Суламанидзе Александра Гелаевича.

Доцент кафедры «Прикладная механика»
ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева,
канд. техн. наук 01.02.06 «Динамика,
прочность машин, приборов и аппаратуры»



Матвеев Андрей Евгеньевич
Телефон: +7 (4855) 28-14-00
e-mail: matveev.a.e@mail.ru

Подпись Матвеева Андрея Евгеньевича, подписавшего отзыв, удостоверяю.

Учёный секретарь Учёного Совета,
канд. техн. наук



Волков Сергей Александрович