

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ходинева Ивана Александровича «Закономерности изменения характеристик малоцикловой усталости жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

Настоящая работа посвящена изучению малоцикловой усталости (МЦУ) – процессу накопления повреждений и развития трещины при циклических нагрузках, превышающих предел текучести материала и с характерным упруго-пластическим деформированием.

При проектировании и ресурсных расчетах деталей авиационных газотурбинных двигателей (АГТД), проблема малоцикловой усталости (МЦУ) является одной из ключевых, особенно для роторных деталей турбин из жаропрочных никелевых сплавов. Именно сопротивление МЦУ зачастую определяет назначенный ресурс таких критически важных деталей, как диски и лопатки турбин. В этой связи исследование, проведенное Ходиневым И.А., имеет высокую научную ценность и практическую значимость.

Поскольку циклическое нагружение характеризуется не только пиковыми значениями, но и коэффициентом асимметрии цикла, т.е. отношением минимального значения напряжения или деформации к максимальному, а для расчета ресурса детали расчетчику нужно оценивать сопротивление усталости при произвольном коэффициенте асимметрии, то становится ясным, что для решения этой задачи требуется универсальная методика. Следовательно, развитие методов оценки сопротивления усталости материалов из жаропрочных никелевых сплавов при асимметричном нагружении является актуальной задачей.

Для достижения поставленной цели был решен ряд важных научных и практических задач и получены приемлемые в научно-техническом плане результаты. В научном плане автору удалось:

1. Получить экспериментальные данные по усталостным характеристикам (МЦУ) для двух основных классов материалов - деформируемого сплава ВЖ175 (для дисков) и литейного жаропрочного сплава ВКНА-1ВР (для лопаток). Особую ценность экспериментальных работ представляют испытания, проведенные в широком диапазоне температур (20–1050 °С) и при различных схемах нагружения («жесткое» и «мягкое» циклирование, при различной асимметрии цикла), в условиях максимально приближенных к реальным эксплуатационным режимам ГТД.

2. Выявить корреляционную зависимость «режим – механизм разрушения». Установление автором такой связи между параметрами нагружения (тип цикла, температура, асимметрия) и механизмами разрушения, выявленными при фрактографическом анализе, является крайне важным, поскольку позволяет проводить анализ отказов и совершенствовать конструкцию, минимизируя при этом риски возникновения разрушения.

3. Определить границы применимости испытаний по «жесткому» и «мягкому» циклу при проведении верифицированных МЦУ-испытаний (спецквалификация) материалов для образцов из жаропрочных никелевых сплавов.

Практическая значимость работы заключается в разработке прикладной методологии. Разработанные автором методики и алгоритмы позволяют сократить объем дорогостоящих и длительных механических испытаний новых материалов без потери качества получаемых данных, повысить точность прогнозных расчетов на долговечность деталей, что напрямую влияет на конструкцию двигателя и усовершенствовать методы диагностики повреждений при эксплуатационной наработке.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием стандартизованных методов испытаний, метрологически аттестованного, поверенного современного оборудования, статистической обработкой

значительного объема экспериментальных данных.

Основные положения работы апробированы - результаты работы докладывались на 11-ой и 14-ой Всероссийских конференциях по испытаниям и исследованиям свойств материалов «ТестМат» (Москва, 2019, 2022); на Всероссийской научно-технической конференции «Современные жаропрочные никелевые деформируемые сплавы и технологии их производства» (Москва, 2021).

Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 12 работах, включая 2 статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в базе цитирования Scopus; 3 статьи в ведущих научных изданиях, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки России.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Объем диссертации составляет 136 страниц, включая 130 рисунков, 17 таблиц. По автореферату имеются следующие замечания:

1. Из автореферата не ясно, каким образом изначально при асимметричном нагружении формируется/назначается испытательный цикл при испытаниях образцов по «мягкому» и «жесткому» циклам нагружения, на основании каких исходных данных и какой методики линейного суммирования повреждений?

2. Из автореферата не ясно, на чем основаны дополнения авторов в ключевую модель Морроу, и чем обусловлен выбранный энергетический подход, исходя из каких зависимостей поглощаемой энергии от величины упругопластической деформации. Рекомендуется в дальнейшем рассмотреть в инженерных расчетах МКЭ для зависимостей «циклическая кривая» (напряжение-деформация) наличие аппроксимирующих уравнений типа Рамберга-Осгуда или Холломона, позволяющих корректно описывать циклическое упрочнение/разупрочнение материала в расчетных моделях, что значительно облегчит внедрение полученных результатов в инженерную практику.

Указанные замечания ни в коей мере не снижают общую положительную и высокую в научном и практическом отношении оценку выполненной работы и

проведенных исследований в целом, не умаляют научной значимости работы Ходинева И.А., являются в основном рекомендательными и направлены на повышение практической ценности работы для специалистов, занимающихся расчетным проектированием.

Результаты работы могут быть востребованы при модификации имеющихся авиадвигателей и разработке новых перспективных двигателей типа ТРДДФ 5 поколения в классе тяги 10...11 тс с уровнем температуры газа на входе в турбину 2000°K.

Диссертация является законченной научной работой, которая соответствует требованиям Положения ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Ходинев И.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Генеральный конструктор

05.11.2025 г.

Проданов Евгений Степанович

Главный металлург

Кузьмин Олег Вадимович

Заместитель главного конструктора
по перспективным разработкам, к.т.н

Липин Алексей Владимирович

Начальник отдела научных
программ- секретарь НТС

Орлова Елена Юрьевна

Отзыв составил:

Ведущий специалист

– руководитель группы УГМет
АО «ОДК- Климов»

Живушкин Алексей Алексеевич

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Ходинева И.А.

Живушкин Алексей Алексеевич

Подписи Е.С.Проданова, О.В. Кузьмина, А.В. Липина, Е.Ю.Орловой и А.А.Живушкина заверяю.

*На главном инженере
кадров*

Контактный телефон: (812) 640-69-73, доб.7322, +7 (911) 121-32- 84

Адрес: 194100, С.-Петербург, Кантемировская ул., д.11, стр.1 (ул. акад. Харитона, д.8), Акционерное Общество «ОДК-Климов» (АО «ОДК-Климов»).

Факс: +7(812) 647-00-29; электронный адрес: klimov@ klimov.ru