

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель
генерального директора
АО НИАТ

д.т.н., профессор



Плихунов В.В.

«06» 11 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Акционерного общества «Национальный институт авиационных технологий»
на диссертационную работу Ходинева Ивана Александровича
«Закономерности изменения характеристик малоцикловой
усталости жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по научной специальности 2.6.17 – «Материаловедение»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Ходинева И.А. посвящена исследованию малоцикловой усталости жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-ВР, из которых изготавливают подверженные этому типу нагружения детали газотурбинных двигателей – лопатки и диски. Способность к сопротивлению малоцикловой усталости существенно влияет на ресурс этих деталей.

Циклическое нагружение характеризуется не только пиковыми значениями, но и коэффициентом асимметрии цикла - отношением минимального значения нагрузки в цикле к максимальному. Для расчета ресурса детали бывает необходимо оценивать сопротивление усталости при произвольном

коэффициенте асимметрии – для этого испытания проводят при различных фиксированных коэффициентах асимметрии, а далее обобщают результаты, используя различные методы, среди которых на данный момент отсутствует универсальный.

Испытания на малоцикловую усталость проводят «мягком» цикле, когда контролируют нагрузку, и при «жестком», когда контролируют деформацию. Сопоставление результатов испытаний, проведенных при «мягком» и «жестком» циклах, полезно при выборе необходимого и достаточного объема испытаний; помогут сопоставить результаты недавних испытаний, проведенных при «жестком» нагружении со справочными, проведенными при «мягком» нагружении в силу ограничения технических возможностей оборудования; позволят оценить повреждения от специфических эффектов, связанных с неограниченностью накопления односторонних деформаций при «мягком» нагружении.

Выявление закономерностей изменения характеристик малоцикловой усталости в зависимости от условий нагружения – температуры, асимметрии цикла, режима нагружения («мягкий» или «жесткий»), – необходимо для повышения точности оценки ресурса деталей и повышения экономической эффективности проведения испытаний. В связи с этим тема диссертационной работы Ходинева И.А. является актуальной.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, включает в себя 130 рисунков и 17 таблиц.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследований, определены научная новизна и практическая значимость работы, представлены положения, выносимые на защиту, указана апробация результатов работы.

В первой главе приведен обзор литературы по теме диссертационной работы. Представлены общие сведения и приведен обзор зарубежных и отечественных работ, посвященных малоцикловой усталости жаропрочных никелевых сплавов, влиянию асимметрии цикла и режима нагружения (контроль деформации или контроль нагрузки в цикле) на характеристики малоцикловой усталости.

Во второй главе приведены сведения об объектах и методах исследования. Представлена информация об исследуемых жаропрочных никелевых сплавах ВЖ175 и ВКНА-1ВР: приведены характеристики кратковременной прочности, продемонстрирована микроструктура, обозначена область применения материалов. Так, интерметаллидный сплав с равноосной структурой ВКНА-1ВР используют преимущественно для изготовления лопаток, а деформируемый сплав ВЖ175 – для изготовления дисков авиационных газотурбинных двигателей. Также во второй главе обозначены условия проведения испытаний на малоцикловую усталость и приведено сопоставление требований отечественного и зарубежных стандартов на проведение испытаний на усталость. Образцы обоих исследуемых материалов испытаны при трех коэффициентах асимметрии цикла, трех температурах и двух режимах нагружения – «мягком» и «жестком».

В третьей главе приведены результаты фрактографического анализа образцов сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР, испытанных на малоцикловую усталость. Показано, что разрушение ВКНА-1ВР происходит по границам дендритов или внутризеренно с формированием вязких ямок по матрице и фасеток скола по упрочняющей и карбидной фазам без образования усталостных бороздок вне зависимости от асимметрии цикла, температуры и режима нагружения – при контроле нагрузки или деформации. Для сплава ВЖ175 были выявлены зависимости характера разрушения от асимметрии цикла, температуры и режима нагружения. Отмечено, что чем ниже среднее напряжение цикла, тем ближе характер излома к классическому усталостному разрушению с образованием бороздчатого рельефа.

В четвертой главе приведены результаты испытаний образцов ВЖ175 и ВКНА-1ВР на малоцикловую усталость. Для каждой выборки (сочетание режима нагружения, асимметрии цикла и температуры испытания) построены кривые усталости, оценено влияние параметров нагружения на предел ограниченной выносливости. Исследованы зависимости развития параметров петли упруго-пластического гистерезиса от условий нагружения. Для обоих сплавов было зафиксировано наличие циклической ползучести при асимметричном «мягком» нагружении при повышенных температурах. При «жестком» цикле была отмечена циклическая стабильность материалов – амплитуда напряжения сохранялась постоянной вне зависимости от асимметрии цикла, температуры испытания и уровня нагружения (амплитуды деформации в цикле).

Пятая глава посвящена обобщению результатов испытаний ВЖ175 и ВКНА-1ВР на случай нагружения при произвольном коэффициенте асимметрии цикла. Рассмотрены основанные на силовом подходе модели, в которых долговечность зависит от амплитуды напряжения и коэффициента асимметрии цикла. Для обоих сплавов определены параметры наиболее подходящих моделей для всех исследуемых температур и для обоих режимов нагружения – «мягкого» и «жесткого». Определены параметры этих моделей с использованием регрессионного анализа.

В заключении работы представлены результаты и выводы, обсуждены пути дальнейшего развития темы диссертации.

Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы Ходинева И.А. заключается в разработке алгоритма оценки долговечности образцов из жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР при «мягком» и «жестком» циклическом нагружении при произвольной асимметрии цикла при комнатной и повышенных температурах, а также в установлении взаимосвязей между параметрами нагружения и характером разрушения этих образцов этих сплавов.

Практическая значимость работы

Диссертационная работа Ходинева И.А. имеет высокую практическую значимость:

- алгоритм расчета долговечности ВЖ175 и ВКНА-1ВР при произвольной асимметрии цикла может быть использован для расчета ресурса дисков и лопаток газотурбинных двигателей;
- результаты фрактографического анализа могут быть применены для установления причин поломок деталей авиационных двигателей;
- установленные взаимосвязи между «жестким» и «мягким» нагружением позволят повысить экономическую эффективность проведения испытаний на малоцикловую усталость.

Достоверность результатов

Достоверность научных результатов, полученных в диссертационной работе Ходинева Ивана Александровича, подтверждается использованием стандартизованных методов испытаний, метрологически аттестованного, поверенного современного оборудования, статистической обработкой значительного объема экспериментальных данных.

Апробация и публикация результатов

Результаты работы докладывались на: 11-ой и 14-ой Всероссийских конференциях по испытаниям и исследованиям свойств материалов «ТестМат» (Москва, 2019, 2022); Всероссийской научно-технической конференции «Современные жаропрочные никелевые деформируемые сплавы и технологии их производства» (Москва, 2021). По материалам диссертации опубликовано 12 работ, включая 3 статьи в ведущих научных изданиях, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки России; 2 статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в базе цитирования Scopus.

Замечания по диссертационной работе:

1. В четвертой главе обсуждается циклическая ползучесть, наблюдаемая у сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР при асимметричном «мягком» нагружении при повышенных температурах. Было бы интересно увидеть численные

характеристики этого процесса и установить их зависимости от температуры и степени асимметрии цикла, если они есть.

2. Для оценки долговечности образцов, испытанных при «жестком» нагружении, требуется знать напряжения. Было бы практически полезно дополнить модели зависимостями напряжений от деформаций.

3. В тексте диссертации присутствуют ошибки редакционного характера: опечатки, орфографические и пунктуационные ошибки, нарушение нумерации рисунков и т.д.

Приведенные замечания не снижают общего, высокого уровня диссертационной работы Ходина И.А. Полученные результаты имеют существенное значение для исследования характеристик малоциклового усталости жаропрочных никелевых сплавов, необходимых для расчета ресурса деталей газотурбинных двигателей.

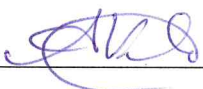
Заключение

Диссертационная работа Ходина Ивана Александровича «Закономерности изменения характеристик малоциклового усталости жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР» является завершенной научно-квалификационной работой, имеющей высокую практическую значимость.

Диссертационная работа Ходина И.А. отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., и «Положения о присуждении ученых степеней, и соответствует требованиям соответствует всем требованиям Положения ВАК Министерства образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. По актуальности, научной новизне, практической значимости и достоверности сформулированных выводов диссертация соответствует научной специальности 2.6.17 – «Материаловедение», а ее автор, Ходин Иван Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа Ходинева И.А. рассмотрена на заседании Научно-технического совета АО НИАТ «28» октября 2025 г. (протокол заседания № 5)

Заместитель генерального директора по
научно-исследовательской
деятельности, к.т.н.

 А.В. Коваленко

Начальник Отдела-1650, к.т.н.

 А.И. Чудайкин

Акционерное общество «Национальный институт авиационных технологий»

Адрес: 117587, г. Москва, ул. Кировоградская, д. 3

Тел.: +7 (495) 312-11-49

Электронная почта: avk@niat.ru

Сайт: www.niat.ru