

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Ходинева Ивана Александровича «Закономерности изменения характеристик малоциклового усталости жаропрочных никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение

Представленная работа состоит из введения, 5-ти глав, заключения, перечня сокращений и обозначений, списка цитируемой литературы (123 источника), изложена на 134 страницах.

Диссертационная работа посвящена выявлению закономерностей изменения характеристик малоциклового усталости в зависимости от параметров нагружения и поиску взаимосвязи параметров упруго-пластического деформирования при «мягком» и «жестком» нагружении для проведения оценки долговечности и определения механизмов разрушения на примере жаропрочных сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР при широком диапазоне температур эксплуатации.

Актуальность работы не вызывает сомнений, так как жаропрочные сплавы ВЖ175 и ВКНА-1ВР и их аналоги нашли широкое применение в конструкции газотурбинных двигателей (диски и рабочие лопатки турбины). Предложен метод оценки долговечности при произвольной асимметрии цикла, который может быть использован при расчетах ресурса деталей ГТД.

К научной новизне данной работы следует отнести разработку метода оценки долговечности при произвольном коэффициенте асимметрии цикла при «жестком» и «мягком» нагружении при испытаниях на малоцикловую усталость. Автором установлена связь механизма разрушения с параметром нагружения (деформация или напряжение), асимметрией цикла нагружения и температурой испытания для циклически стабильных материалов ВЖ175 и ВКНА-1ВР.

Первая глава – «Литературный обзор» Автор рассматривает известные модели долговечности, учитывающие деформацию, напряжения, структурные особенности строения материалов. Приводит модели для симметричного и асимметричного цикла для случаев «жесткого» и «мягкого» нагружения. Необходимо отметить, что в данной главе приведены данные зарубежных исследователей, однако в диссертационной работе достаточно в сжатом виде даны пояснения и соответствующие подрисуночные надписи. Имеется некоторая неточность, например, отсутствие рисунка 1.11. По результатам литературного обзора автор определяет цели и задачи для выполнения собственного исследования. Основной упор в цели исследования автор ставит на установление связи деформация - напряжение в модели долговечности до разрушения при различных схемах нагружения («жесткий», «мягкий» цикл, коэффициент асимметрии).

Вторая глава – «Объекты и методы исследования». Выполнен подробный обзор по отечественной и зарубежной нормативной документации на контроль. ГОСТ 25-502-79, ASTM E466 и ASTM E606. В таблицах 2.7-2.8 стр.34-35 присутствует опечатка в номере стандарта. На основе анализа автор формулирует требования к образцам для испытаний. В главе 2 необходимо было указать сведения о полной термической обработке сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР. Также целесообразно было бы привести схему вырезки образцов из сплава ВЖ175 из заготовки. В таблицах 2.1 и 2.4 приведены данные по пределу текучести. Какой это предел текучести? Это условный предел текучести? Также целесообразно было бы привести размер зерна для исследуемых материалов или каким-то образом зафиксировать структурный фактор. Необходимо отметить, что объем испытаний состоял из 36 выборок по 15-20 образцов. Данный масштаб испытаний свидетельствует о высокой достоверности полученных результатов для последующей статистической обработки результатов и разработки модели долговечности.

Третья глава – «Фрактографические исследования». Автор приводит фрактографию изломов образцов из сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР после различных условий нагружения и на различных базах долговечностей. Результаты исследований обобщаются и систематизируются в схемы особенностей разрушения при различных условиях нагружения. Целесообразно было бы представить результаты с фрактографических исследований с приведением размеров зон очага, зоны замедленного разрушения (усталостного) и зоны долома и увеличить описательную часть данного раздела. Полученные данные объединить с данными о параметрах цикла (размах пластической деформации, напряжения течения, скорость развития трещины, различные базы долговечности) это позволило бы определить роль пластической деформации или напряжений течения в работе разрушения и в смене механизмов разрушения. Например, по приведенным результатам получается интересная картина смены типологии разрушения, которая свидетельствует о влиянии коэффициента асимметрии на механизм разрушения подобно температуре. Это очень важный факт, который впоследствии предстоит изучить в последующих научных работах либо автору, либо его последователям. Проблема долговечности при асимметричном нагружении по-видимому будет активно изучаться и потребует дополнительных испытаний поскольку в эксплуатации преимущественен данный тип нагружения для высокоманевренных двигателей, работающих на форсированных режимах.

Как автор считает, почему существенных отличий между изломами образцов сплава ВЖ175, испытанных при симметричном и несимметричном жестком цикле не выявлено?

Почему при мягком асимметричном цикле подобно эффекту повышения температуры происходит смешанный тип разрушения (с элементами межзеренного разрушения)? Необходимо отметить, что указанные температуры есть предельные температуры для работоспособности сплава ВЖ175. Даже при других видах испытания, например, при испытаниях на ползучесть разрушение

будет проходить по межзеренному механизму (от разупрочнения границ зерен или от разупрочнения тела зерна). Тогда возникает вопрос: Каков вклад от циклического деформирования и от действия температуры в характер разрушения?

Замечание: Пояснить рисунок 3.57. Рисунок показывает характерную смену механизмов разрушения или рассмотрен только частный случай? В обобщенном варианте для всех испытанных образцов характерна ли данная картина?

Четвертая глава - «Малоцикловая усталость»

Выполнен регрессионный анализ полученных экспериментальных данных для девяти режимов испытания сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР для «мягкого» и «жесткого» циклов при различных температурах и коэффициентах асимметрии. В Таблице 4.1 присутствует опечатка в значении долговечности.

Для сплава ВЖ175 при «жестком» цикле СКО, характеризующее рассеяние экспериментальных значений, значительно увеличивается при повышенных температурах по сравнению с комнатной. Как автор объясняет данный факт?

При «мягком» цикле СКО, характеризующее рассеяние экспериментальных значений, при температуре 650 °С вдвое выше, чем при температуре 750 °С. Как автор объясняет данный факт?

Автор установил факт снижения долговечности при испытаниях по асимметричному циклу ($R=0,5$) в сравнении с симметричным и отнулевым циклом.

На странице 79 автор заявляет, что при «жестком» цикле нагружения влияние коэффициента асимметрии и температуры на предел выносливости незначительно, хотя на странице 77 указано «для всех трех исследуемых коэффициентов асимметрии повышение температуры вызывает снижение предела выносливости на базе 10^4 циклов – на 3-5 % при повышении температуры испытания от 20°С до 650°С и на 4-10 % при повышении температуры испытания от 650 до 750°С». Напрашивается вопрос, что будет в области больших значений пластической деформации для симметричного цикла или наоборот малых значениях и при большей базе испытаний?

Пятая глава - «Малоцикловая усталость при произвольном коэффициенте асимметрии цикла»

Автор обобщает полученные результаты и приходит к выводу, что силовой подход наиболее целесообразен для получения объединенной модели долговечности при использовании среднего напряжения в цикле (для «мягкого» и «жесткого» нагружения). Действительно для изотермического процесса малоцикловой усталости данный подход наиболее предпочтителен как отмечено в книге Р.А. Дульнева и П.И.Котова «Термическая усталость». Примечательно, что автору удалось найти адекватное описание долговечности исследуемых сплавов ВЖ175 и ВКНА1-ВР (через модели Гудмана-Герберера, Уокера, Смитта-Уотсона-Топпера и уравнения на основе модели Гудмана-Герберера) и таким образом обратить внимание на температуру испытания: когда активация процессов

развития разрушения изменяется как для формы цикла так и для условий нагружения. Таким образом, автору удалось успешно решить вопрос систематизации данных усталостных испытаний исследуемых материалов при произвольной асимметрии цикла.

Дополнительные вопросы автору:

1. Поскольку все испытания проведены на гладких образцах (рис.2.3), то непонятно, как будут расходиться результаты при наличии одинакового концентратора (форма, глубина) для «мягкого» и «жесткого» циклов нагружения (кстати, один из способов проверки корреляции)?

2. Если установлено, что при испытаниях по «жесткому» циклу нагружения после 100 циклов испытаний максимальные и минимальные напряжения стабилизируются и далее практически реализуется «мягкий» цикл нагружения (п.4.4), то какой смысл проводить испытания на «жесткое» нагружение для оценки качества материалов (рис.4.31 подтверждает отсутствие корреляции между данными по «мягкому» и «жесткому» циклам нагружения при различных температурах)?

3. Как думает автор: Каков будет диапазон температур для различных сплавов-аналогов ВЖ175 и ВКНА1-ВР для оценки свойств малоциклового усталости не только при произвольной асимметрии цикла, но и при произвольной температуре с использованием представленных моделей в диссертационной работе?

Работа структурирована, однако в тексте присутствуют незначительные опечатки (в такие как: рисунок 4.3 не подписана долговечность и оси, на странице 102 ссылка на рисунок с другим номером, на странице 112 – таблица ссылка на таблицу 1.2).

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций подтверждается апробацией на практике основных научных положений, содержащихся в диссертации, соответствием результатов экспериментов с имеющимися литературными данными, использованием аттестованных расчетных методик и применяемых программ.

Основные положения работы апробированы – доложены и обсуждены на научных конференциях, статьи опубликованы в изданиях ВАК, Scopus, отражающие основное содержание работы.

Автореферат отражает краткое содержание диссертации. Поставленная цель и задачи в работе диссертантом успешно решены. Замечаний к выводам, выполненным по итогам работы нет.

Содержание диссертации соответствует п.1, п.2 и п.9 паспорта специальности 2.6.17. Материаловедение. По объему проведенных исследований, их актуальности, научной новизне и практической значимости диссертационная работа Ходинева И.А. полностью соответствует п. 9–14 «Положения о

присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842.

Работа выполнена на высоком научном уровне, а автор работы Ходинев И.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

Начальник испытательной лаборатории
по исследованию деталей и узлов
АО «ОДК-Климов», к.т.н.

Тихомирова Е.А.
izcltihomirova@klimov.ru
+7911947-16-02

Подпись руки Тихомировой Е.А. заверяю

Начальник отдела кадров АО «ОДК-Климов»

Санкт-Петербург,
194100, ул. Кантемировская д.11
klimov@klimov.ru
izcltihomirova@klimov.ru

