

Отзыв

на автореферат диссертационной работы Ходинев Ивана Александровича
«Закономерности изменения характеристик малоциклового усталости жаропрочных
никелевых сплавов ВЖ175 и ВКНА-1ВР», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности

2.6.17. Материаловедение

Исследование, выполненное Ходиневым И.А., посвящено актуальной проблеме – установлению закономерностей малоциклового разрушения перспективных жаропрочных никелевых сплавов.

Основная ценность работы заключается в системном сравнительном изучении поведения двух материалов разных классов – деформируемого сплава ВЖ175 и литейного интерметаллидного сплава ВКНА-1ВР. Проведение испытаний в идентичных условиях (различные виды нагружения и асимметрии цикла) в широком температурном диапазоне (для сплава ВЖ175 при температурах 20, 650, 750 °С и для сплава ВКНА-1ВР при температурах 20, 850, 1050 °С) позволили выявить фундаментальные закономерности в откликах этих сплавов на циклическое нагружение.

Автор не ограничился построением кривых усталости. Ключевым достижением является определение корреляции параметров циклического деформирования с механизмами разрушения, выявленными методами фрактографического анализа. Понимание того, как характер нагружения (жесткое или мягкое), температура и асимметрия нагрузки влияют на процессы зарождения и развития трещины в конкретной микроструктуре (деформируемый дискретный γ/γ' -расплав против литейного интерметаллида), представляет наибольшую научную ценность.

Разработанный Ходиневым И.А. подход к планированию экспериментов и оценке сопротивления усталости является важным научным вкладом в материаловедение. Эта методология может быть применена к другим жаропрочным системам, что ускоряет процесс оценки новых перспективных материалов.

Научная новизна диссертационной работы состоит в получении автором следующих результатов:

1. Разработан метод оценки долговечности образцов из сплава ВЖ175 при температурах 20, 650, 750 °С и из сплава ВКНА-1ВР при температурах 20, 850, 1050 °С при

произвольном коэффициенте асимметрии цикла при «жестком» и «мягком» нагружении при испытаниях на малоцикловую усталость.

2. Впервые для образцов из сплавов ВЖ175 при 20, 650, 750 °С и ВКНА-1ВР при 20, 850, 1050 °С установлена связь механизма разрушения с параметром нагружения (деформация или напряжение), асимметрией цикла нагружения и температурой испытания;

3. Впервые для сплавов ВЖ175 при 20, 650, 750 °С и ВКНА-1ВР при 20, 850, 1050 °С установлена связь параметров петли упруго-пластического гистерезиса (для «жесткого» цикла: размах пластической деформации, амплитудное и среднее значение напряжения, а также характер их изменения в процессе испытания; для «мягкого» цикла деформация циклической ползучести, амплитудное и среднее значение полной деформации в цикле, а также характер их изменения в процессе испытания) с контролируемым параметром нагружения и асимметрией цикла.

4. Впервые установлено, что симметричное «мягкое» и «жесткое» нагружение эквивалентны для образцов из сплавов ВЖ175 при 20, 650, 750 °С и ВКНА-1ВР при 20, 850, 1050 °С за счет циклической стабильности этих материалов.

Практическая значимость работы не вызывает сомнений, так как полученные данные и закономерности лягут в основу:

- совершенствования химических составов и режимов термообработки исследуемых сплавов для целенаправленного повышения их усталостных характеристик;
- формирования обоснованных требований к материалам для перспективных разработок в двигателестроении.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием стандартизованных методов испытаний, метрологически аттестованного, поверенного современного оборудования, статистической обработкой значительного объема экспериментальных данных.

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 2 статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в базе цитирования Scopus; 3 статьи в ведущих научных изданиях, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки России.

По работе имеются замечания и рекомендации, не снижающие ценности работы:

1. В автореферате представлены фрактограммы, демонстрирующие морфологию

изломов. Однако для более полного материаловедческого анализа было бы крайне ценно дополнить исследование данными по эволюции дисперсной микроструктуры (размер и морфология γ' -частиц, образование полос скольжения, процессы коалесценции и распада) в приповерхностных слоях и у вершины трещины после циклического нагружения в различных условиях. Это позволило бы напрямую связать кинетику изменения механических свойств со структурными изменениями.

2. Учитывая, что ВКНА-1ВР является литым интерметаллидным сплавом, а при высоких температурах доминирующую роль в разрушении часто играют процессы на границах зерен, в работе целесообразно было бы более детально обсудить влияние размера зерна, химического состава и состояния границ на механизм межзеренного разрушения, особенно в области очага разрушения.

3. Вывод 3 в автореферате сформулирован нечетко, а именно, не указано, какие параметры взаимосвязаны при мягком и жестком нагружении. Более подробный анализ взаимосвязи параметров при мягком и жестком нагружении позволил бы оценить возможность применения данного подхода для других видов конструкционных материалов.

4. Отсутствует сравнительный анализ предложенного алгоритма оценки долговечности по сравнению с методом оценки только по деформациям для малоциклового усталости. Это позволило бы полнее оценить практическую ценность разработанного алгоритма оценки долговечности сплава ВЖ175 при температурах 20, 650 и 750 °С и сплава ВКНА-1ВР при 20, 850, 1050 °С при произвольном коэффициенте асимметрии цикла при мягком и жестком нагружении.

5. Отсутствует анализ возможности применения полученных результатов для расчета конструкций при нескольких предлагаемых моделях оценки долговечности (циклической прочности) для одного материала при различных температурах (обычно в расчетной практике применяется одна модель для всех температур). Данный анализ позволил бы оценить возможность применения разработанного алгоритма оценки долговечности при проведении расчетов на прочность при проектировании элементов авиационных двигателей.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и направлены на дальнейшее углубление уже проведенного качественного исследования. Они не умаляют значимости полученных результатов.

Работа Ходинева И.А. представляет собой завершенную самостоятельно выполненную научно-квалификационную работу, вносящую существенный вклад в развитие материаловедения жаропрочных никелевых сплавов. Диссертационная работа соответствует требованиям п.9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней,

утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ходинев Иван Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Я, Полоз Михаил Васильевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Начальник отдела "Инженерный центр
прочности (ИЦП)" АО «НИКИЭТ»,
кандидат физико-математических наук

Полоз Михаил Васильевич
Тел. (499)263-74-65
e-mail poloz_mv@nikiet.ru

Акционерное общество «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежаля» (АО «НИКИЭТ»), а/я 788, Москва, 101000, тел +7 (499) 263-73-37, e-mail: nikiet@nikiet.ru, web-сайт <https://www.nikiet.ru/>

Подпись Полоза М.В. заверяю

Ученый секретарь АО «НИКИЭТ»

А.В. Джалавян

