

ОТЗЫВ

оппонента на диссертацию Лыковой Анастасии Васильевны «Малоцикловая усталость конструкционных сплавов при сложных термомеханических воздействиях», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – механика деформируемого твердого тела

Рецензируемая диссертационная работа посвящена актуальной и сложной экспериментальной проблеме изучения характеристик малоцикловой усталости классических металлических конструкционных материалов при комплексном многофакторном нагружении. Внимание к подобным исследованиям обусловлено возможностью приложений к оценке и обоснованию долговечности элементов накуемого машиностроения при их эксплуатации на основе диагностики индивидуального технического состояния. Объектами исследования выступали никелевый, титановый и алюминиевые сплавы различных свойств и структуры. Обращает на себя внимание представительный набор уникального испытательного оборудования для проведения экспериментов при нормальной и повышенной температуре. Убедительной является логика методической постановки исследований, которая включает в себя последовательный переход от условий типового гармонического деформирования к сложной последовательности циклов нагружения при одноосном нагружении и далее малоцикловой усталости при многоосном напряженном состоянии. Именно эта последовательность проведения работ позволила автору получить основной научный результат, который состоит в новых экспериментальных данных по характеристикам малоцикловой усталости трех типов конструкционных материалов при комплексном многофакторном нагружении. Сформулированные на этой основе положения и выводы являются достоверными и обоснованными. Литературный обзор исследований по области интересов диссертации, позволил автору определить цель и задачи работы.

Замечания по первой главе диссертации.

1. Пункт 1 научной новизны не завершен в формулировке – указано, что выявлены зависимости, но не указаны отличия от подобных известных результатов.
2. Не ясно в чем состоит научная новизна пункта 4 по верификации известных в литературе моделей.
3. В абзаце “Теоретическая и практическая значимость работы” текст соответствует только практическим приложениям.
4. В литературном обзоре отсутствуют ссылки на принципиальную модель Г-плоскости для сочетания растяжения и кручения при МЦУ, введенную известными специалистами проф. К. Miller и М. Brown и имеющую непосредственное отношение к предмету диссертации. Странной является логика цитирования работ первого оппонента, когда диссертант единожды все ссылается на методическое пособие для

студентов двадцатилетней давности, обойдя своим вниманием более полутора десятка работ качества Q1 в ведущих международных журналах за ближайший пятилетний период.

5. В положениях, выносимых на защиту, последний вывод является тривиальным.

6. Прогнозирование ресурса является отдельным направлением работ, не соотносящимся с содержанием диссертации.

7. Не ясен смысл фразы в начале раздела 1.2: "В элементах конструкций газотурбинных двигателей практически не реализуется напряженное состояние". Очевидно, что пропущен термин "одноосное".

Вторая глава содержит описание использованного экспериментального оборудования для проведения испытаний при простых и комбинированных видах нагружения, включая высокоточные средства измерения деформаций при сложном напряженном состоянии в условиях нормальной и повышенной температуры.

Замечания по второй главе диссертации.

1. Раздел 2.1 более уместен в студенческом курсе введения в специальность по экспериментальной механике, чем в диссертации.

2. Разделы 2.2 и 2.3 не содержат методических особенностей, а более соответствуют демонстрации инсталлированного испытательного оборудования и инструкции по его эксплуатации. Желательно было бы увидеть именно методику проведения испытаний и обработки результатов в завершенном виде особенно для сложного напряженного состояния.

Третья глава диссертации посвящена экспериментам по малоцикловой усталости при одноосном нагружении с вариацией формы и последовательности циклов нагружения. Объектами исследований выступали никелевый и алюминиевые сплавы при нормальной, а также титановый сплав при повышенной температуре. Для проведения испытаний и последующих измерений использовался оригинальный набор зарубежного оборудования. Основное научное содержание главы относится к установленным эффектам блочных типов нагружения на характеристики малоцикловой усталости.

Замечания по третьей главе диссертации.

1. В диссертации не приведена в собранном и обобщенном виде программа испытаний для каждого из рассмотренных материалов, которая давала бы общее представление о масштабах и целесообразности выполненных экспериментальных работ. Отсутствует обоснование компоновки и выбора рассмотренных типов комбинированных циклов нагружений.

2. В экспериментальной работе, которой является рецензируемая диссертация, отсутствует информация о стандартном наборе основных механических свойств

никелевого, титанового и алюминиевого сплавов в рассмотренном диапазоне температур. Подобная ситуация ограничивает возможности последующего анализа результатов при упруго-пластическом деформировании.

3. На рис.3.3, и последующих рисунках подобного типа, отсутствуют промежуточные значения величин деформаций по вертикальной оси, что исключает возможность оценки результатов.

4. Цикл М-формы не может рассматриваться как упрощенный полетный цикл. Действительный модельный полетный цикл для газотурбинных двигателей, реализуемый в практике лабораторных усталостных испытаний, широко тиражируется и известен в литературе.

5. Не приведено обоснование выбора параметров нормировки для результатов, представленных на рис.3.13.

Четвертая глава диссертации является наиболее значимым в научном плане разделом работы, в котором рассмотрены наиболее сложные вопросы определения характеристик малоциклового усталости при многоосном деформировании. Объектами исследований выступали полые цилиндрические образцы из стали ЭП517Ш и алюминиевого сплава Д16Т. Состав используемого оборудования расширен установкой для проведения испытаний при совместном растяжении-сжатии и кручении. Основное внимание сосредоточено на сложных траекториях нагружения в пространстве осевых и сдвиговых деформаций, а также на анализе прямых и обратных соотношений компонент нормальных и касательных напряжений.

Замечания по четвертой главе диссертации.

1. Не приведено обоснование выбора комбинированных циклов деформирования, представленных на рис.4.2, 4.4, 4.6 и 4.16 для двухосного пропорционального и непропорционального нагружения при нормальной и повышенной температуре.

2. На стр.94 автором введен сомнительный термин “равновесного роста усталостной трещины”.

3. На рис. 4.12 и 4.13 используются обратные соотношения нормальных и сдвиговых напряжений. В сопровождающем тексте отсутствуют какие-либо комментарии по порядку определения этих напряжений при нелинейном циклическом деформировании.

4. Общим для глав 3 и 4 диссертации является следующее замечание.

Интерпретация экспериментальных данных по малоциклового усталости исследованных материалов проведена в основном только по параметру долговечности. Стандартом на малоциклового усталость ASTM E606-04, на который автор неоднократно ссылалась, предусмотрено определение параметров, описывающих кривые МЦУ в напряжениях и деформациях. Для рассмотренных видов нагружения значения этих параметров не

представлены в тексте диссертации даже для установочных гармонических циклов нагружения. Также отсутствуют, классические для работ по МЦУ, петли упруго-пластического деформирования, которые характеризуют поведение материала по типу одностороннего накопления пластических деформаций (ratchetting), стабилизации петель (shakedown) или их совмещения. При наличии подобной информации можно было бы установить и описать тренды изменения найденных стандартных параметров МЦУ в зависимости от рассмотренных условий комбинированного нагружения, что послужило бы дополнительным научным обобщением результатов диссертации.

В пятой главе диссертации представлена оценка моделей суммирования повреждений в приложении к области долговечности, соответствующей малоциклового усталости. Рассмотрены приложения параметра плотности энергии деформации, а также двух различных для одноосного и многоосного нагружений моделей суммирования повреждений. В порядке сравнения прогнозов использованы полученные в предыдущих главах диссертации экспериментальные результаты.

Замечания по пятой главе диссертации.

1. Вызывают вопросы метод расчета и выводы по отношению к определению плотности энергии деформации при малоцикловом деформировании (раздел 5.1).

Для определения текущих и предельных значений плотности энергии деформации (ПЭД) как функции накопленных циклов нагружения необходимо располагать набором петель в координатах истинное напряжение-истинная деформация и параметров описания кривых долговечности в напряжениях и деформациях, которые отсутствуют в тексте диссертации. Не ясен метод определения истинных напряжений, участвующих в расчетах текущих значений ПЭД при МЦУ. В этой связи вызывают сомнения соотношения между ПЭД при статическом и циклическом деформировании. Кинетика ПЭД по циклам нагружения должна быть основана на приращениях пластических деформаций по стадиям долговечности. При адекватном расчете текущих значений ПЭД не возникает необходимости в использовании введенных автором редуцированных коэффициентов R_1 и R_2 .

2. В разделе 5.2 не ясно как в формуле (5.8) искомая величина повреждения может одновременно присутствовать в правой и левой частях уравнений при одинаковых значениях K .

3. Приведенные значения параметров повреждений в таблице 5.5 по величине более единицы противоречат смыслу этого параметра.

4. Очевидно, что уравнения (5.8) и (5.19) не разрешаются в явном виде относительно искомой долговечности, в тексте отсутствуют комментарии по порядку ее нахождения.

5. В разделе 5.3 не ясно, какие значения амплитудных и средних напряжений (истинные или условные) присутствуют в уравнениях (5.9-5.12).

6. Переход к упрощенной форме записи (5.19) не обоснован в виду отсутствия анализа НДС экспериментальных полых образцов с учетом толщины стенки и типа двухосного нагружения.

7. Вызывают вопросы результаты установочных испытаний для алюминиевого сплава: предел прочности при кручении выше, чем при растяжении (обычно прочность при кручении 0.7-0.8 от прочности растяжения); у автора коэффициент малоциклового прочности 12710, тогда как обычно он составляет 1.5 от прочности на растяжение, т.е. порядка 1200 МПа.

8. На рис.5.5 отсутствуют промежуточные значения величин по вертикальной оси графиков.

Несмотря на высказанные замечания, работа соискателя оставляет общее положительное впечатление широким набором реализованных условий испытаний и полученной ценной информацией о поведении классических металлических конструкционных материалов в наиболее сложных условиях для экспериментальной механики малоциклового деформирования и разрушения.

Автореферат в полной мере отражает содержание представленной к защите диссертационной работе. Список публикаций говорит о достаточной представительности основных достижений работы в отечественных и международных изданиях.

Диссертационная работа «Малоцикловая усталость конструкционных сплавов при сложных термомеханических воздействиях», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, отвечающей требованиям к кандидатским диссертациям, изложенным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Лыкова Анастасия Васильевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Заслуженный деятель науки РФ,
Руководитель научного направления
“Энергетика”, заведующий лабораторией
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
«Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской
академии наук»,

доктор технических наук, профессор

Тел.: +7(843) 258-1305

E-mail: shlyannikov@mail.ru

420111, Россия, Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261



Валерий Николаевич Шлянников

« 5 » декабря 2022 г.