

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Банникова Михаила Владимировича о диссертации Лыковой Анастасии Васильевны «МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ СПЛАВОВ ПРИ СЛОЖНЫХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8:Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа А.В. Лыковой посвящена исследованиям в актуальной области механики деформируемого твердого тела – экспериментальному и теоретическому изучению закономерностей разрушения перспективных материалов в условиях малоциклового усталости со сложными циклами и различными температурными условиями.

**Актуальность исследования** обусловлена получением научно обоснованных оценок степени влияния тех или иных параметров сложных режимов термомеханических воздействий на усталостную долговечность конструкционных материалов, а также проверка применимости моделей прогнозирования ресурса применительно к указанным режимам.

### **Цель диссертационной работы:**

получение данных о влиянии параметров сложных режимов циклического термомеханического нагружения на усталостную долговечность конструкционных сталей и сплавов на основе комплексных экспериментальных исследований с оценкой применимости моделей прогнозирования ресурса в условиях малоциклового усталости.

### **Научная новизна работы:**

- выявлены зависимости усталостной долговечности титанового сплава от повышенной температуры, никелевого и алюминиевого сплавов от переменных параметров одноосных циклических воздействий;
- получены оценки влияния сложных форм циклов, различных траекторий непропорционального нагружения и повышенной температуры на усталостную долговечность образцов из жаропрочной легированной стали при одновременном действии растяжения-сжатия и кручения;

- получены новые экспериментальные данные, иллюстрирующие влияние постоянной осевой либо сдвиговой составляющей деформаций на долговечность алюминиевого сплава в условиях малоциклового усталости при двухосном нагружении;

- проведена верификация нелинейной модели накопления повреждений Марко-Старки для сложной формы цикла и блочного нагружения, а также модифицированной модели Сайнса в условиях сложного напряженного состояния на новых данных о циклической долговечности при малоциклового усталости.

Диссертация состоит из введения, одной обзорной, одной методической и трех оригинальных глав.

**В первой главе** представлен литературный обзор российских и зарубежных авторов. Отражено содержание научных публикаций, связанных с изучением процессов накопления повреждений конструкционных материалов при малоциклового усталости в условиях простого и сложного напряженного состояния.

**Во второй главе** рассмотрены методические аспекты проведения испытаний на малоциклового усталость при одноосном растяжении двухосном нагружении и в условиях одновременного действия растяжения-сжатия с использованием современного испытательного оборудования, использованием высокоточных осевых и двухосевых экстензометров и специализированного программного обеспечения.

**Оригинальные главы диссертации посвящены** экспериментальным исследованиям малоциклового усталости конструкционных сталей, сплавов титана, никеля и алюминия при сложной форме цикла. Проведена оценка влияния температурных условий на малоциклового усталость и применена модель повреждений Марко-Старки для прогнозирования долговечности алюминиевого и никелевого сплавов в условиях малоциклового усталости в различных условиях деформирования.

**В третьей главе** представлено экспериментальное исследование механического поведения конструкционных сплавов при малоциклового усталости в условиях одноосного нагружения при сложной форме цикла, блочном нагружении, повышенной температуре. Представлены результаты исследования никелевого сплава в условиях циклического растяжения-сжатия при постоянных и переменных параметрах цикла. Получены новые экспериментальные данные о механическом поведении алюминиевого сплава Д16Т при программном циклическом деформировании, состоящем из трех блоков циклов с различными параметрами. Приведены результаты серии циклических испытаний по определению характеристик сопротивления малоциклового усталости при одноосном нагружении сплошных цилиндрических образцов из титанового сплава с контролем по

деформациям и напряжению при нормальной и повышенной температурах. Получены экспериментальные данные о влиянии температуры и коэффициента асимметрии цикла деформаций и напряжений на циклическую долговечность титанового сплава.

**В четвертой главе** содержатся результаты исследования циклической долговечности конструкционной стали ЭП517Ш при малоциклового усталости в условиях двухосного нагружения при пропорциональном и непропорциональном изменении осевых и сдвиговых деформаций при нормальных и повышенных температурах. Представлены новые экспериментальные результаты исследования долговечности алюминиевого сплава Д16Т при малоциклового усталости в условиях двухосного нагружения при действии одной составляющей постоянной величины.

**В пятой главе** получены новые результаты применения нелинейной модели суммирования повреждений Марко-Старки для прогнозирования циклической долговечности никелевого сплава при одноосном нагружения в условиях растяжения-сжатия и сложных формах цикла и алюминиевого сплава в условиях блочного нагружения. Проведена проверка модифицированной модели многоосной усталости по новым экспериментальным данным алюминиевого сплава Д16Т.

**Решения следующих основных задач, имеющих существенную ценность для исследования**

- получение новых экспериментальных данных о закономерностях малоциклового деформирования конструкционных сплавов при пропорциональном и непропорциональном нагружениях в условиях сложного напряженного состояния;
- экспериментальное исследование влияния повышенных температур на усталостную долговечность конструкционных сплавов при одноосных и двухосных циклических нагружениях;
- проверка применимости моделей прогнозирования усталостной долговечности при сложном напряженном состоянии и переменных параметрах цикла.

**К основным результатам работы следует отнести:**

1. Рассмотрены методические аспекты проведения испытаний на малоциклового усталость при одноосном и двухосном нагружениях с использованием сервогидравлических испытательных систем и измерительных средств контроля напряжений и деформаций. Отработаны вопросы, связанные с реализацией сложных форм

циклов при циклическом деформировании, сложного напряженного состояния, непропорционального нагружения и повышенных температур.

2. Проведено экспериментальное исследование механического поведения конструкционных сплавов (никелевого, алюминиевого, титанового) в условиях малоциклового усталости при одноосных воздействиях с усложненной (М-образной) формой цикла, различными схемами блочного нагружения при нормальных и повышенных температурах.

3. Исследовано влияние сложных форм цикла, различных траекторий сложного циклического нагружения и повышенной температуры на усталостную долговечность легированной стали ЭП517Ш при одновременном действии растяжения-сжатия и кручения.

4. Получены новые экспериментальные данные для алюминиевого сплава Д16Т, отражающие влияние постоянного нормального напряжения при циклическом кручении и постоянного касательного напряжения при циклическом растяжении-сжатии в области малоциклового усталости. Выявлено значительное изменение долговечности при малых значениях напряжений по второй моде в условиях циклических воздействий с постоянными статическими составляющими по одной оси нагружения.

5. На основе полученных экспериментальных данных о механическом поведении никелевого сплава при усложненной форме цикла и алюминиевого сплава при блочном нагружении проведена проверка применимости нелинейной модели суммирования повреждений для прогнозирования циклической долговечности.

6. На основе полученных опытных данных для алюминиевого сплава в условиях плоского-напряженного состояния проведена верификация модифицированной модели Сайнса, основанной на использовании двух базовых кривых усталости, и проведена оценка точности прогнозируемого ресурса при циклически х воздействиях с дополнительными постоянными составляющими напряжений.

7. Результаты работы используются в учебном процессе кафедры «Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение» ФГАОУ ВО «ПНИПУ» по образовательной программе подготовки магистров «Экспериментальная механика» в рамках направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

**По содержанию и основным результатам имеются следующие вопросы и замечания:**

1. В работе приведено исследование циклической долговечности материалов, используемых промышленности, особенно в авиационной области, при широкой вариативности условий экспериментов: сложная форма циклов, одноосное и двухосное нагружение, влияние температуры. При этом, разные материалы подвергаются разным типам нагружения или температурного воздействия. Это, безусловно, свидетельствует о высокой квалификации соискателя в экспериментальной области, однако затрудняет анализ данных в целом, а позволяет сделать только локальные выводы об этапах исследований.
2. В главах 3 и 4 описано влияние повышенной температуры на механическое поведение титановых и алюминиевых сплавов при малоцикловом нагружении. Какова предполагаемая причина ухудшения долговечности – в уменьшении предела текучести или изменении структуры материала при воздействии таких температур?
3. В главах 3 и 4 приводятся испытания на блочное нагружение с изменяющейся амплитудой цикла, имитирующее нагружение лопаток вентиляторов двигателя при полетном цикле. Аналогам каких нагружений в машиностроении соответствуют сложные непропорциональные нагружения, описанные в главе 4 (рис. 4.6), или такие комбинации осевых и сдвиговых деформаций выбраны произвольно?
4. Для применения энергетического подхода для оценки долговечности материалов при малоцикловой усталости, возможно, следует использовать инфракрасную камеру, которая способна с высокой точностью строить поля температур в области вершины усталостной трещины. Это позволит отделить выделенную энергию в виде тепла при нагружении от накопленной, которая идет на разрушение.
5. На рисунке 5.4. показана схема накопления повреждений для циклов сложной формы. Она состоит из двух кривых D1 и D2, которые соответствуют треугольным циклам с разными коэффициентами асимметрии нагружения. По какому принципу строится кривая ABCDIFG на указанном графике, являющаяся комбинацией указанных кривых?

Приведенные замечания, однако, не снижают, в целом, положительную оценку работы.

Содержание диссертационной работы и основные результаты, полученные в ней, полностью отражены в публикациях, перечисленных в автореферате диссертации, и достаточно апробированы. Автореферат правильно и полно отражает основное содержание диссертации.

На основании вышесказанного считаю, что диссертант выполнил содержательное исследование, им получены новые актуальные научные результаты, ряд которых представляет интерес в современных приложениях, и Лыкова Анастасия Васильевна, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

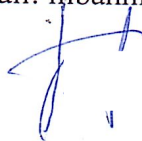
Кандидат физико-математических наук,

(шифр научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела),  
научный сотрудник лаборатории физических основ прочности, Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук

614013, Пермский край, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1,

Тел. 2-378-312; E-mail: mbannikov@icmm.ru

Банников М.В.



Подпись Банни

М.П.



Лыкова А.А.  
специалист по  
кадрам  
09.12.2022г.

Я, Банников Михаил Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.