

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
24.2.316.03 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 21 декабря 2023 года № 2

**о присуждении** Мыльникову Владимиру Викторовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Структурно-деформационные особенности и закономерности динамики эволюции усталостных характеристик металлических материалов в условиях различных видов нагружения» по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела принята к защите 20 сентября 2023 г., протокол № 5, диссертационным советом 24.2.316.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр.Ленина, д. 27, приказ Минобрнауки России 24 июня 2016 г. № 787/нк. и приказ Минобрнауки России от 20 октября 2017 г. № 1017/нк.

Соискатель Мыльников Владимир Викторович, 1981 года рождения, в 2006 году закончил Нижегородский государственный технический университет с присуждением квалификации «Инженер по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»», в 2010 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение) с присуждением степени кандидата технических наук, с 2006-2007 гг. работал в должности ассистента кафедры теоретической и прикладной механики Нижегородского государственного технического университета (НГТУ им. Р.Е. Алексеева), с 2011- 2012 гг. работал в должности доцента кафедры миниметаллургии Нижегородского государственного технического университета (НГТУ им. Р.Е. Алексеева), с 2012 - 2016 гг. работал в должности доцента кафедры материаловедения, технологии материалов и термической обработки металлов Нижегородского государственного технического университета (НГТУ им. Р.Е. Алексеева); с 01.09.2016 г. по настоящее время в должности доцента кафедры технологии строительства Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета.

Диссертация выполнена в лаборатории прочности и пластичности функциональных материалов при кафедре технологии строительства Инженерно-строительного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

**Научный консультант** – доктор технических наук, профессор Дмитриев Эдуард Анатольевич, ректор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре.

**Официальные оппоненты:**

Банщикова Инна Анатольевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск;

Кирсанов Михаил Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва;

Кузнецов Евгений Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры мехатроники и теоретической механики ФГБОУ ВО «НИУ «МАИ», г. Москва

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва", г. Самара – в своём положительном заключении, подписанном Букатым Станиславом Алексеевичем, доктором технических наук, профессором кафедры сопротивление материалов и Степановой Ларисой Валентиновной доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой математического моделирования в механике и утвержденном и.о. первого проректора – проректора по научно-исследовательской работе Зубаревым Никитой Юрьевичем, указала, что диссертационная работа В.В. Мыльникова содержит новые экспериментальные результаты и положения, представляющие научный интерес и обладают научной значимостью. Несомненным достоинством данной работы является опора на концепцию прогнозирования усталостных характеристик материалов по параметрам микроструктуры и накопления поврежденности поверхности.

Диссертация В.В. Мыльникова является завершённым научным исследованием, выполненном на высоком научно-методическом уровне, полностью соответствует

специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела», - и имеет огромное практическое и научное значение.

Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Мыльников Владимир Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по указанной специальности.

Соискатель имеет более 128 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 23 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 14 – в изданиях, индексируемых Web of Science или Scopus, 3- патента РФ, 2-монографии и 1- свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Наиболее значимые работы:

1. Mylnikov, V.V. Heat treatment effect on fatigue strength and frequency stability of maraging steel / V.V. Mylnikov, E.A. Dmitriev // Letters on Materials. – 2023. – Vol. 13, No. 3(51). – P. 266-271.
2. Мыльников, В.В. Метод изучения частотной стабильности материалов при испытаниях на многоцикловую усталость стали / В.В. Мыльников, Э.А. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2023. – Т. 66, № 3. – С. 367-375.
3. Мыльников, В.В. Влияние термической обработки на сопротивление усталости и частотную стабильность инструментальной стали 6ХС / В.В. Мыльников, Э.А. Дмитриев, Д.И. Шетулов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2023. – № 7(817). – С. 22-27.
4. Мыльников, В.В. Методика изучения поверхности разрушения материалов с использованием современной микроскопии и применением цифровой обработки изображения / В.В. Мыльников, Э.А. Дмитриев // Материаловедение. – 2023. – № 3. – С. 12-21.
5. Шетулов, Д.И. Усталостная прочность и частотная стабильность титанового сплава / Д.И. Шетулов, В.В. Мыльников, Э.А. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 74-82.
6. Мыльников, В.В. Структура и механизм разрушения алюмоматричных композитов, полученных методом внутреннего окисления, при растяжении / В.В. Мыльников, Е.А. Чернышов, А.Д. Романов, М.В. Мыльникова, Е.А. Захарычев, Н.А. Рябов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 38-48.

7. Мыльников, В.В. Исследование изменений показателей сопротивления усталости стали 30ХГСН2А в процессе циклического деформационного упрочнения / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, А.И. Пронин // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2020. – № 10 (784). – С. 52-60. (Mylnikov, V.V. A study of changes in fatigue resistance parameters of steel 30khgsn2a in the process of cyclic deformation hardening / V.V. Mylnikov, D.I. Shetulov, A.I. Pronin // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2021. – Т. 62. – № 9-10. – С. 648-655.)
8. Мыльников, В.В. Влияние режимов термической обработки мартенситностареющей стали на усталостные характеристики и параметры микродеформации / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, А.М. Мясников // *Современные наукоемкие технологии*. – 2021. – № 6-1. – С. 74-78.
9. Мыльников, В.В. Изменение показателей сопротивления усталости конструкционных сталей при различных спектрах нагружения / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, О.Б. Кондрашкин, Е.А. Чернышов, А.И. Пронин // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2019. – Т.62. – № 10. – С. 796-802. (Mylnikov, V.V. Fatigue resistance changes of structural steels at different load spectra / V.V. Mylnikov, O.B. Kondrashkin, D.I. Shetulov, E.A. Chernyshov, A.I. Pronin // *Steel in Translation*. – 2019. – Т. 49. – № 10. – С. 678-682.)
10. Мыльников, В.В. Влияние различных параметров состояния на закономерности поведения кривых усталости / В.В. Мыльников, В.А. Скуднов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2018. – Т. 61. – № 3. – С. 244-250.
11. Чернышов, Е.А. Некоторые аспекты влияния природы масштабного эффекта при циклических испытаниях на эксплуатацию и надежность изделий из алюминиевых сплавов / Е.А. Чернышов, А.Д. Романов, В.В. Мыльников, // *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*. – 2018. – № 5. – С. 56-65.
12. Мыльников, В.В. Исследование влияния количества упрочняющей фазы дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе алюминия на закономерности процесса разрушения / В.В. Мыльников, А.Д. Романов, Е.А. Чернышов // *Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*. – 2018. – № 3. – С. 55-63.
13. Мыльников, В.В. Влияние температуры старения стали на параметры сопротивления усталости и микродеформации / В.В. Мыльников, А.Д. Романов, Д.И. Шетулов, А.А. Хлыбов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2016. – № 4 (730). – С. 36-39. (Mylnikov, V.V. Effect of the aging temperature of steel on the parameters of fatigue resistance and microstrain / V.V. Mylnikov, A.D. Romanov, D.I. Shetulov, A.A. Khlybov // *Metal Science and Heat Treatment*. – 2016. – Т. 58. – № 3-4. – С. 223-225.)

14. Чернышов, Е.А. Исследование микроструктуры алюмоматричного дисперсно-наполненного литого композиционного материала, полученного методом внутреннего окисления / Чернышов Е.А., С.З. Лончаков, А.Д. Романов, В.В. Мыльников, Е.А. Романова // Перспективные материалы. – 2016. – № 9. – С. 78-83.
15. Мыльников, В.В. Скоростной эффект при изменении частоты циклического нагружения некоторых чистых металлов / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, Е.А. Чернышов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2015. – № 5. – С. 46-52. (Mylnikov, V. V. Speed effect upon varying the cyclic loading frequency for certain pure metals / V.V. Mylnikov, D.I. Shetulov, E.A. Chernyshov // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2015. – Vol. 56, No. 6. – P. 627-632.)
16. Mylnikov, V.V. Prediction of strength and durability of materials of machine parts and structures, taking into account the frequency of cyclic loading / V.V. Mylnikov, D.I. Shetulov, A.I. Pronin, E.A. Chernyshov // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2015. – Т. 55. – № 9. – С. 32.
17. Шетулов, Д.И. Прогнозирование показателей прочности и долговечности деталей автомобиля на основании модели усталостного разрушения конструкционных материалов / Д.И. Шетулов, В.Н. Кравченко, В.В. Мыльников // Вестник машиностроения. – 2015. – № 5. – С. 28-31. (Shetulov, D.I. Predicting the strength and life of auto parts on the basis of fatigue strength / D.I. Shetulov, V.N. Kravchenko, V.V. Mylnikov // Russian Engineering Research. – 2015. – Т. 35. – № 8. – С. 580-583.)
18. Шетулов, Д.И. Усталостная повреждаемость высокопрочных сталей / Д.И. Шетулов, В.В. Мыльников // Металлы. – 2014. – № 2. – С. 81-86. (Shetulov D.I. Fatigue-induced damage of high-strength steels / D.I. Shetulov, V.V. Mylnikov // Russian Metallurgy (Metally). – 2014. – Т. 2014. – № 3. – С. 241-245.)
19. Мыльников, В.В. Исследование повреждаемости поверхности чистых металлов с учетом частоты циклического нагружения / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, Е.А. Чернышов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2013. – № 2. – С. 55-60. (Mylnikov, V.V. Investigation into the surface damage of pure metals allowing for the cyclic loading frequency / V.V. Mylnikov, D.I. Shetulov, E.A. Chernyshov // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2013. – Т. 54. – № 3. – С. 229-233.)
20. Мыльников, В.В. Влияние термической обработки стали 03Н18К9М5Т-ЭЛ на параметры микропластической и циклической деформации / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, Е.А. Чернышов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2013. – № 11. – С. 30-32. (Myl'nikov, V.V. Influence of the heat treatment of 03Н18К9М5Т-

E{CYRILLIC}L{CYRILLIC} steel on its microplastic and cyclic deformation / V.V. Myl'nikov, D.I. Shetulov, E.A. Chernyshov // Steel in Translation. – 2013. – Т. 43. – № 11. – С. 695-697.)

21. Мыльников, В.В. Прогнозирование прочности и долговечности материалов деталей машин и конструкций с учетом частоты циклического нагружения / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов, А.И. Пронин, Е.А. Чернышов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2012. – № 9. – С. 32-37. ()

22. Патент на изобретение № 2777863 Российская Федерация. Способ определения параметров сопротивления усталости материалов: заявл. 14.09.2021; опубл. 11.08.2022 / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет.

23. Патент на изобретение № 277108 Российская Федерация. Устройство управления электромагнитной установкой для испытания материалов на усталость: заявл. 12.10.2021; опубл. 04.05.2022 / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет.

24. Патент на изобретение № 278166 Российская Федерация. Установка для испытания образцов на усталость: заявл. 14.09.2021; опубл. 12.10.2022 / В.В. Мыльников, Д.И. Шетулов; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет.

25. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611589 Российская Федерация. Расчет параметров сопротивления усталости при любой частоте нагружения в пределах заданного спектра: заявл. 10.01.2023; опубл. 23.01.2023 / В.В. Мыльников, Н.А. Рябов.

26. Мыльников, В.В. Циклическая прочность и долговечность конструкционных материалов: монография / В.В. Мыльников, О.Б. Кондрашкин, Д.И. Шетулов. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2018. – 177 с.

27. Мыльников, В.В. Прогнозирование циклической прочности и долговечности конструкционных материалов: монография / В.В. Мыльников, Е.А. Чернышов, Д.И. Шетулов.– Москва, Из-во: Спутник+. 2013. – 146 с.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы** (все положительные, указывается основное отражение замечаний):

**Отзыв на диссертацию ведущей организации** ФГАОУВО "Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва" имеет основные замечания:

1. Автор допустил большое число орфографических и пунктуационных ошибок в тексте, что затрудняет чтение диссертации. Автор очень часто не использует необходимые знаки препинания (не выделяя причастные и деепричастные обороты), например, стр. 225: «С учетом данных таблицы 4.4 и использую предложенные методики расчета получаем повреждаемость поверхности исследованных металлов и сплавов, которая показана в таблице 4.5». Содержатся стилистические неточности и ошибки, например, стр. 294: «Если переменную нагрузку описывать с помощью законов (графиков) нагружения, то оно может быть нерегулярным, случайным или подчиняться определённому закону». Нумерация формул в диссертации не является аккуратной и не привязана к правому краю страницы. (например, стр. 67).

2. Список литературы практически не содержит новых источников, опубликованных за последние пять лет. Если читатель видит ссылку, относящуюся к 2019-2023 гг., то это, за редким исключением, работы соискателя. Таким образом, литературный обзор не отображает современное состояние проблемы.

3. Практически все публикации автора относятся к материаловедению, в публикациях по теме диссертации мы видим так же журналы как Металловедение и термическая обработка металлов, Цветная и черная металлургия, Порошковая металлургия, Заготовительные производства в машиностроении. Отсутствуют публикации, относящиеся непосредственно к специальности 1.1.8 Механика деформируемого твёрдого тела.

4. Диссертация, на наш взгляд, содержит противоречивые утверждения. Так, на стр. 66 автор пишет, что в работах Я. Хульта [167] отмечается, что в механике деформируемого твердого тела сложились два совершенно разных представления о том, что следует понимать под поврежденностью. Первое предложено А. Пальмгереном [168] и развито впоследствии А. Майнером [169], а второе – Л. М. Качановым [170] и Ю. Н. Работновым [171]. Во-первых, в работе Я. Хульта, ибо ссылка приведена на одну работу; во-вторых, это утверждение было сформулировано в 1983 году, однако, с тех пор прошло 40 лет и в настоящее время не говорят о сложившихся двух совершенно разных представлениях к описанию повреждаемости. В-третьих, мы читаем далее: «Согласно Пальмгрёну – Майнеру мерой усталостного повреждения является отношение числа циклов нагружения к числу циклов до разрушения при заданном уровне циклических напряжений». Далее, в тексте: «...на основе ее (на основе этой концепции) построен ряд гипотез и приводятся кинетические уравнения подхода Качанова-Работнова», который является, согласно автору диссертации, «совершенно другим представлением». Далее, соискатель обращается к введенной им классификации и дает определение меры поврежденности как отношение

площадей – площади, занятой микротрещинами, порами, и начальной площади поперечного сечения. Определение (1.11) – это определение параметра поврежденности Работнова и геометрическая интерпретация введенного ранее параметра сплошности Качанова, но соискатель ссылается на существенно более поздние работы других авторов, а ссылки на пионерские работы Л. М. Качанова и Ю. Н. Работнова не приведены.

5. На стр. 69, где приводится формула для количественной оценки повреждаемости, ничего не сказано о том, что следует понимать под поврежденным зерном. Ничего не сказано о том, сколько зерен наблюдается, по какому числу зерен следует рассчитывать параметр поврежденности. Как получить это количество зерен? Дают ли экспериментальные исследования эти числа? С какой точностью могут быть определены эти количества? Каковы характерные размеры зерен для рассмотренных материалов?

6. Данное замечание связано с замечанием 2 и является его продолжением. Соискатель на стр. 73 пишет: «В последнее время, используя статистические методы, Макконен [201] предложил новый способ построения расчетных кривых». Однако, работа Макконена (Makkonen V. Predicting the total fatigue life in metals // International Journal of Fatigue. 2009. Vol.31. No.7. pp. 1163-1175) опубликована в 2009 году и не может относиться к последнему времени. С тех пор прошло 14 лет.

7. Диссертация содержит красноречивые утверждения, например, на стр. 74: «...теория распространения трещин может быть выражена...» и приводится формула для скорости усталостного подрастания трещины в упругопластичном материале, связывающая скорость с инвариантным J-интегралом. По всей видимости, фраза должна звучать как: «...в условиях упругопластического разрушения скорость усталостного подрастания трещины связывают с инвариантным J-интегралом...».

8. В третьей главе, являющейся, по всей видимости, чисто материаловедческой, сложно увидеть эволюцию структурно-фазовых состояний металлов. Структурные изменения – изменения, вызванные пластическим течением, приводящие к изменению формы зерен путем перемещения дислокаций по плоскостям скольжения, показаны на рисунках. Структурно-фазовые изменения? Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей замкнутыми поверхностями. Рассмотрен широкий набор материалов: цинк, кадмий, медь, лантан, иттрий, висмут. О какой эволюции структурно-фазовых изменений в каждом из рассмотренных материалов идет речь? Приведены кривые усталости для перечисленных материалов, но остается не ясным вопрос о том, какие фазовые изменения происходят?



9. Пункт 3.1 носит название «Исследование кривых усталости материалов с различными типами кристаллического строения при разной частоте циклической нагрузки и изменений микроструктуры». Вообще-то, понятие частоты к изменению микроструктуры не относится, по крайней мере, скорость изменения микроструктуры не сопоставима с величиной частоты циклической нагрузки. В главе 3 перечислены материалы, но не указан тип их кристаллического строения. Например, лантан существует в трех кристаллических модификациях: с гексогональной решеткой, с кубической решеткой типа меди и кубической объемноцентрированной решеткой. Поэтому разумным представляется в п.3.1 с таким названием указать различные типы кристаллических решеток всех рассмотренных материалов. По всей видимости, материаловеду все кристаллические строения и симметрии принятых для исследования материалов известны, но диссертация защищается по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела, физико-математические науки. Лишь в автореферате на стр. 10 указаны типы кристаллических решеток рассмотренных материалов.

10. Пункт 6.3 носит название Общие аналитические уравнения для описания поведения кривых усталости. Что автор подразумевает под термином «аналитические уравнения»? Что автор понимает под термином «комплексное математическое уравнение»? (Стр. 295: «Между тем, до сих пор нет общего комплексного математического уравнения, отражающего влияние на повреждение металлов при усталости таких важных характеристик поликристаллов, как плотность (дефектность), скорость релаксации напряжений, скорость нагружения, структурно-энергетическое состояние материала (прочность, твердость) и приложенное возникающее напряженно-деформированное состояние»)?

11. Несомненным достоинством данной работы является опора на концепцию прогнозирования усталостных характеристик материала по параметрам микроструктуры и накопления поврежденности поверхности. Однако, в механике деформируемого твердого тела при учете процессов накопления повреждений для описания усталости разрушения наряду с самим параметром повреждаемости вводят эволюционное (кинетическое) уравнение накопления повреждений. В настоящее время предложен целый ряд кинетических уравнений для случаев циклического нагружения. В настоящее время очень многие научные школы пытаются на основании эксперимента определить параметры кинетических уравнений. В диссертации В. В. Мыльникова приводятся классические кинетические уравнения в обзорной части работы, однако сам автор не прибегает к кинетическому уравнению, а ведь именно оно дает возможность прогнозирования усталостного напряжения.

12. В работе недостаточно математической строгости в представлении результатов. Например, в пункте 6.6 описывается решение линейного дифференциального уравнения (6.28). Характеристическое уравнение, соответствующее дифференциальному уравнению, можно получить только после формулировки граничных условий задачи, которые не обсуждаются и не формулируются.

13. Далее автор пишет, что любой корень характеристического уравнения отражает воздействие того или иного фактора на процесс изменения свойств материала при циклическом нагружении. Но почему это воздействие учитывается линейным образом? Зависимость от факторов может быть описана нелинейным уравнением и зависимость от факторов может быть нелинейной (не в виде отдельной экспоненты, а более сложной). В диссертации явно необходимо 1) обоснование уравнения (6.28) и 2) его решение и формулировка краевых условий.

14. На наш взгляд, не было никакой необходимости выносить в автореферат диссертации на соискание степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела решение краевой задачи для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка (соотношения (3)-(6)).

15. Коэффициент ограниченной выносливости  $\chi$ , показанный на диаграмме (рис. 2.8, на с. 116) не соответствует формуле (2.39) на с. 115.

16. Некоторые термины по сопротивлению усталости, например, «пульсирующий цикл», «предел усталости», «усталостная прочность» по действующему ГОСТ 23207-78 являются недопустимыми.

17. В работе приведены многочисленные диаграммы – кривые усталости, построенные в координатах «напряжение - количество циклов до разрушения», т.е.  $\sigma - N$ , где напряжения определяются по известной формуле сопротивления материалов для упругого нагружения при изгибе. При этом не учитывается, что в области  $N$  до  $10^5$  циклов нагружений, т.е. в малоцикловой области напряжения превышают пределы пропорциональности и текучести и деформации становятся неупругими. Поэтому диаграммы в этой области строят в координатах «деформация – количество циклов до разрушения», т.е.  $\varepsilon - N$ . Механизм и тип разрушения материалов в малоцикловой и многоцикловой областях принципиально различен, и в работе следовало бы делать соответствующие разделения исследований.

Эта же причина – неупругость деформаций объясняет в ряде случаев: значительное рассеяние результатов усталостных испытаний относительно линейных зависимостей кривых усталости, приведенных в главе 3; завышенный уровень напряжений при наработке

более  $10^5$  циклов нагружения, а также, возможно, противоречащее установившемуся положению об увеличении предела выносливости при увеличении частоты нагружения утверждение в главе 4, что предел выносливости стали 40 и титанового сплава ОТ-4-1 уменьшается.

18. По указанной в п. 17 причине при испытаниях на установке (рис 2.3. на с. 87) при так называемом «мягком» нагружении в процессе циклического нагружения накапливались пластические деформации и в зависимости от свойств материала: упрочняющегося, разупрочняющегося или циклически стабильного, происходило отмеченное автором увеличение или уменьшение нагрузки. Нагружение становилось в большей или в меньшей степени «не мягким» и утверждение автора на с. 87 «В результате величина номинального напряжения стремится оставаться постоянной в процессе испытания...» становится не справедливым.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Баншиковой И.А.** имеет основные замечания:

1). Большинство публикаций из списка Web of Science и Scopus являются переводными версиями статей автора из списка публикаций ВАК, т.е. являются изложением одной и той же информации на разных языках. С другой стороны, наличие переводной версии журналов и включение их в международные базы свидетельствует об их высоком качестве.

В список публикаций по теме диссертации включены три статьи из списка публикации по теме диссертации на соискание автором степени кандидата наук. Так как одно из требований, предъявляемых к работе, является ее новизна, то автору необходимо пояснить включение этих работ в список.

В практической значимости работы указано, что полученные научные и методические наработки включены в два учебных пособия, которые используются в учебном процессе в нескольких ВУЗах. Понять, что это за пособия невозможно, так как отсутствуют ссылки на них.

2). В работе встречаются опечатки.

В описании структуры работы и ее объема указано, что рисунков 184 и таблиц 9. Однако нумерация рисунков 27 и 28 (стр. 218, 219) встречается повторно на стр. 230 и 233 и, таким образом, рисунков 186. Подсчет числа таблиц также дает их иное число — 14.

На стр. 250 имеется ссылка на таблицу 1 и на стр. 287 ссылка на таблицу 3.35, б, но таблицы с такими номерами отсутствуют.

Опечатки в формулах: на стр. 96 в формуле (2.4) степень куб необходимо заменить на квадрат; на стр. 97 в выражении для  $A_m$  слагаемое в скобках  $l/a$  нужно заменить на  $l/2$ , здесь же вместо параметров  $J_1$  и  $J_2$  используются  $I_1$  и  $I_2$ . Аналогичные опечатки в формулах содержатся в автореферате. В автореферате нумерация формулы (12) встречается два раза на стр. 12 и 15.

На стр. 115 диссертации в конце названия подраздела 2.6 добавлена ссылка на литературные источники [186-187], а в оглавлении на стр. 3 эта ссылка отсутствует.

3). На стр. 206 отмечается, что при низких частотах нагружения (рис. 4.12, кривые 1, 2) в малоцикловой области наблюдаются равные величины усталостной прочности при одинаковой наработке. Во-первых, на рис. 4.12 отсутствуют кривые с номерами 1 и 2. Второй вопрос касается малоцикловых испытаний. В разделе 2 подробно описано проведение многоцикловых испытаний и их обработка по формулам (п. 2.2), однако описание испытаний на малоцикловую усталость практически отсутствует.

4). На стр. 67 приведены гипотезы накопления повреждений ряда авторов (Работнов Ю.Н., Качанов Л.М., Голуб В.П. и др.). Гипотезы описывают изотропное повреждение материала. Следует отметить, что Качанов Л.М. в своих работах предложил учитывать не только величину повреждения, но и его направление, т.е. векторный характер накопления повреждений. Тензорный характер поврежденности был предложен в классической монографии Ю.Н. Работнова. Обзор этих работ можно найти в монографии Локощенко А. М. («Ползучесть и длительная прочность металлов», 2016). Различное накопление повреждений может быть связано с прокатом исходного материала. Не ясно, как вырезались экспериментальные образцы из проката, учитывалось ли направление вырезки (вдоль проката, поперек проката) при обработке экспериментальных данных.

5). Исследовалось ли влияние глубины поверхностного слоя на повреждаемость поверхности? В поверхностном слое в результате проката могут возникать остаточные напряжения, в процессе испытаний они «накладываются» на «рабочие» напряжения и также влияют на повреждаемость. Проводилась ли оценка влияния этих напряжений на накопление повреждений в поверхностном слое? Не ясно, как рассчитывается напряжение при прогнозировании кривых усталости натуральных деталей.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Кирсанова М.Н.** имеет основные замечания:

1. В работе нет физико-математических моделей, обеспечивающих достоверность результатов.

2. С. 23. "а – чистый изгиб при вращении". Непонятно. Может быть при кручении?

3. Ошибки библиографии: дважды в списке "Иванова, В.С. Природа усталости металлов" [8] и [107]. Нигде не указано doi.

4. с. 86 "Следующий образец испытывается при напряжении меньшем, чем предыдущее, на 100 МПа" - слишком большой интервал (шаг). Не исследован необходимый минимум шага.

5. Уравнения изгиба балки на с. 96 - слишком простое моделирование для решения поставленной задачи. Если уж использовать студенческий курс сопромата, то надо хотя бы записать эти уравнения в стохастической постановке, тем более в диссертации много экспериментов. Уравнение (2.4) - можно было не использовать, просто сослаться на учебник сопротивления материалов. С. 96-99 - для докторской (и кандидатской) диссертации слишком просты. Надо было как-то учесть и многомерность процесса.

6. с.72 "Преимущества механики сплошных повреждений заключаются в том, что наличие микроструктурных дефектов (пустот, разрывов и неоднородностей) влияет на ключевые величины, которые можно наблюдать и измерять на макроскопическом уровне (т.е. Коэффициент Пуассона и жесткость)". МСС здесь не причем. Дефекты влияют на коэффициент Пуассона и жесткость и без механики.

7. с.117. Бездоказательное, ни на чем не основанное предположение: "предположение о том, что выявление резких перепадов и значительных величин экстремумов в профиле обычно свидетельствуют о нестабильности прохождения процесса высокоэнергетического распространения магистральной трещины часто связанного с изменением механизма разрушения материала." Следовало бы дать какую-то статистику по материалам экспериментальных исследований или хоть какую-то теорию.

8. п. 2.7., с.117 — это гимн микроскопу Keyence VHX-1000. Но к разработке микроскопа и его производству автор не имеет отношения. Особенно выделяется фраза про "исследование фиксированных и живых организмов", совершенно неуместная в работе автора.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента Кузнецова Е.Б. имеет основные замечания:**

1. На стр. 312 константы  $\lambda(i)$  - это корни характеристического, а не дифференциального уравнения (6.28).

2. Общее решение дифференциального уравнения (6.28) будет иметь вид, представленный в диссертации, только в том случае, когда все корни характеристического

уравнения вещественные и различные. Другие же возможные случаи (комплексные и равные корни) в диссертации не исследуются.

3. Для дифференциального уравнения (6.28) требуется найти решение задачи Коши, однако начальные условия опущены, хотя они необходимы для решения системы линейных алгебраических уравнений (6.29).

4. Не обосновано в шестой главе дифференциального уравнения именно третьего порядка.

5. Из некоторых рисунков видно, что разброс экспериментальных данных из-за недостатка испытаний сложно оценить математически.

Отзыв на автореферат Пенькова Виктора Борисовича, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры общей механики и Иванычева Дмитрия Алексеевича кандидата физико-математических наук, доцента, доцента кафедры общей механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» содержит замечание:

К оформлению автореферата есть **замечание**, не снижающее уровня оценки выполненной работы: формулировки положений и выводов, не обладают компактностью. Это затрудняет понимание результатов, которые сами по себе имеют существенное значение для целей проектирования и эксплуатации типовых механических деталей и элементов конструкций.

Вопросы:

1. Испытания на усталость в лаборатории проводились при комнатной температуре; далее в автореферате приведено выражение для гомологической температуры  $\Theta$ , которая оказывает влияние на плотность полос скольжения и кривую усталости. Но, каким образом температура оказывает влияние, не указано. Величина  $\Theta$  ни в какие выражения (по крайней мере те, что приведены в автореферате) не входит.

2. Выражения (18) и (19) автореферата имеют одинаковые левые части; не понятно, какое выражение использовать в той или иной ситуации.

3. Поликристаллические металлы, усталостное поведение которых описывается формулами (18) и (19) обладают слабовыраженной анизотропией. Учитывается ли этот фактор в работе?

4. Следует ли предположить, что другой лабораторный образец с отличной от предыдущего кристаллической решеткой, величиной зерна, их разориентировкой и т.д., даст

иные значения параметров, полученных при испытании предыдущего. Тогда возникает вопрос, как в таком случае достоверно прогнозировать усталостные характеристики определенных деталей машин?

5. Детали машин в результате механической обработки получают концентраторы напряжений на поверхности в виде шероховатостей и термическую обработку поверхностного слоя. Как эти факторы учитываются в работе?

Отзыв на автореферат Ерофеева Владимира Ивановича, доктора физико-математических наук, профессора, директора Института проблем машиностроения РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» содержит следующие замечания:

1. Не совсем ясна величина погрешности измерения параметра  $\Phi$  (уравнение 11, стр. 12), который выражается параметрами микроструктуры. Исходя из вида этого уравнения, погрешность при расчете  $\Phi$  должна сильно зависеть от погрешности измерения параметров, входящих в это выражение.

2. Некоторые современные материалы, а также детали и изделия начинают разрушаться с внутренних дефектов, при этом магистральная трещина может расти внутри частично деформированного объема, что достаточно успешно обнаруживается методами и средствами измерения и диагностики неразрушающего контроля, например, с помощью упругих волн. Как предполагается учитывать такого рода разрушения и оценку накопленных повреждений в методиках данной работы?

Отзыв на автореферат Чернышова Александра Даниловича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры высшей математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» содержит замечание:

1. Не указано в автореферате, что изложено во введении.
2. В автореферате не приводится постановка и решение нелинейных задач, когда коэффициенты в исходных уравнениях зависят от неизвестных величин.

Отзыв на автореферат Савкина Алексея Николаевича, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры сопротивления материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» содержит следующие замечания:

1. не совсем понятны, используемые автором, термины «спектры нагружения», «спектр эксплуатационного нагружения деталей». Как его получали и конкретно для каких деталей.

2. по моему мнению, основные выводы излишне размыты и каждый пункт содержит слишком много информации, что снижает конкретику.

3. тоже можно отнести к списку публикаций. Можно было бы ограничиться списком наиболее значимых статей и конференций.

Отзыв на автореферат Любимовой Ольги Николаевны, доктора физико-математических наук, доцента, профессора Отделения машиностроения, морской техники и транспорта Инженерного департамента Политехнического института (школы) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» содержит следующий вопрос:

1. Известно развитие и распространение методов поверхностного упрочнения деталей из металлов и сплавов, например, для повышения прочности и долговечности различных титановых сплавов применяются комбинации плазменного, электроискрового, лазерного легирования, лазерного ударного упрочнения, электропластического и ультразвукового воздействия. Какие рекомендации по предотвращению развития усталостных дефектов, могут быть сформулированы для технологий термосилового поверхностного упрочнения?

Отзыв на автореферат Козлова Владимира Анатольевича, доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой строительной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» содержит следующее замечание:

1. В качестве замечания по содержанию автореферата отметим, что в заключении, содержащем основные результаты выполненной работы, слишком детально представлены пункты, текст которых в краткой форме дублирует изложение результатов научной работы по главам с обозначениями и значениями рассматриваемых величин и параметров (п.п. 4-8).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными специалистами в исследуемой области, а ведущая организация широко известна достижениями работающих в ней специалистов в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны:**



-принципиально новый подход для оценки материалов по динамике эволюции безразмерных прочностных показателей по системе параметров, которая позволяет обстоятельно отображать функциональные связи и закономерности поведения материалов при испытаниях на усталость;

- методика оценки 3D-структуры для определения наиболее уязвимых мест в зонах локализации деформации, включая поверхности разрушения;

-экспериментальная методика оценки стабильности усталостных свойств и долговечности материала при высокочастотном нагружении;

впервые **получены** соотношения для описания поведения кривых усталости поликристаллических сплавов, позволяющие представить взаимовлияние параметров их состояния: дефектности, структурно-энергетических условий, релаксационной способности, напряженно-деформированных состояний в зависимости от внешних особенностей циклического нагружения;

**указаны** новые сведения о закономерностях изменения физических величин, эволюции структур и показателей сопротивления усталости в динамике процесса циклического нагружения по различным схемам чистых металлов с разной атомно-кристаллической структурой и разных конструкционных материалов, определена корреляция с их усталостной прочностью и долговечностью;

**предложены** методы и алгоритмы расчетов прогноза кривых усталости и прогнозирования долговечности натуральных деталей машин и элементов конструкций на основе новых универсальных критериев, сформулированных по результатам настоящей работы;

### **Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

средствами механики деформируемых тел экспериментально и проведенными расчетами **доказана** возможность оценки функциональных свойств различных материалов по динамике эволюции безразмерных прочностных показателей с использованием системы параметров, позволяющей обстоятельно отображать механические связи и закономерности поведения материалов при испытаниях на циклическую прочность и долговечность;

**изложены** особенности постановок комплексных задач циклического деформирования, учитывающих поверхностные эффекты деформирования материалов, структурные и фазовые изменения в них, упругое или упругопластическое деформирование;

**установлены** закономерности изменения физических величин, структур и показателей сопротивления усталости в динамике процесса циклического нагружения по

различным схемам чистых металлов с разной атомно-кристаллической структурой и конструкционных материалов, определена корреляция с их усталостной прочностью и долговечностью.

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** традиционные экспериментальные методы, техника и приборы для построения графиков и таблиц о прочностных и деформационных параметрах на основе испытаний металлов и сплавов в условиях различных схем циклического нагружения.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**созданы** установки для испытаний на усталость и уникальный лабораторный комплекс для испытаний на частотную стабильность при циклическом нагружении материалов. Проведено комплексное исследование усталостных свойств чистых металлов и различных конструкционных сплавов;

**установлены** перспективы практического использования по предпочтительному выбору широко применяемых марок сталей для изготовления реальных деталей машин и элементов конструкций при их эксплуатации в требуемых условиях нагружения с учетом стоимости и вида предварительной обработки детали;

сформированы и **представлены** предложения по ряду практических задач прогнозирования показателей сопротивления усталости лабораторных образцов и натуральных деталей;

**предложены** новые методы прогноза циклической прочности и долговечности по результатам изменения параметров структурно-фазовых состояний металлов с применением полученных в настоящем исследовании результатов и экспресс-метод, позволяющий сократить количество стендовых испытаний натуральных деталей машин и конструкций или отказаться от дополнительных испытаний совсем.

#### **Оценка достоверности результатов выявила:**

**теория** построена с использованием классических основ механики деформируемых твердых тел, в том числе механики повреждений и разрушения;

**идея** базируется на классическом методе оценки с использованием переменных

состояния для представления влияния повреждений на прочность и долговечность материала, повреждаемого в результате циклической нагрузки; определения напряжённо-деформированного состояния материалов в условиях широкого частотно-амплитудного диапазона испытаний;

**представлены** результаты комплексных исследований по изучению механических параметров в условиях изменяющихся структур материалов и показателей их сопротивления усталости в динамике процессов циклического нагружения;

для расчетов **использованы** классические численные методы;

при проведении экспериментальных исследований **использованы** стандартные методы проведения опытов, сертифицированные установки и средства измерений, дополненные инструментарием специально разработанным соискателем.

**Личный вклад** соискателя заключается в постановке задач механики повреждения и разрушения с учетом деформационного поведения чистых металлов и конструкционных материалов в широком диапазоне частотно-амплитудных режимов и технологических схем нагружения при мало- и многоцикловых испытаниях, разработке методов их решений и решений конкретных задач прогнозирования прочности и долговечности натуральных деталей, а также в планировании, проведении и анализе экспериментальных исследований параметров и способов их оценки, представлении публикаций и обсуждении результатов исследований.

#### **Заключение:**

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным пунктом 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям.

На заседании 21 декабря 2023 г. диссертационный совет 24.2.316.03 принял решение присудить Мыльникову Владимиру Викторовичу учёную степень доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела за решение ряда новых проблемных научных задач механики повреждений и разрушения при воздействии знакопеременных циклических нагрузок, составивших предмет аналитической и экспериментальной оценки в процессе деформационного поведения материалов и прогнозирования прочности и долговечности деталей машин и элементов конструкций, имеющих важное значение в механике деформируемого твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 7 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председательствующий

Учёный секретарь  
диссертационного совета

21 декабря 2023 года



Буренин Анатолий Александрович

Григорьева Анна Леонидовна