

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный
исследовательский центр
Уральского отделения
Российской академии наук
(ПФИЦ УрО РАН)

614990, г. Пермь, ул. Ленина, 13а
Тел. (342) 212-60-08, факс (342) 212-93-77
E-mail: psc@permisc.ru, http://www.permisc.ru
ИНН 5902292103, КПП 590201001

21.02.2025 № 337/2171-129

на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУН

«Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук»

д.ф.-м.н., член корреспондент РАН

/ О.А. Плехов

21 февраля 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук»
(филиал – Институт механики сплошных сред УрО РАН)

по диссертации Вшивкова Алексея Николаевича

*"Расчётно-экспериментальный метод построения уравнения роста усталостной трещины
в металлах на основе оценки диссипации энергии в её вершине"
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук "Расчётно-экспериментальный метод построения уравнения роста усталостной трещины в металлах на основе оценки диссипации энергии в её вершине" выполнена в лаборатории термомеханики твердых тел Института механики сплошных сред УрО РАН (ИМСС УрО РАН) – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН).

Соискатель Вшивков Алексей Николаевич в 2014 г. окончил ФГБОУ ВПО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" по направлению «Радиофизика и электроника», квалификация «Специалист».

В период подготовки диссертации А.Н. Вшивков обучался в очной аспирантуре Института механики сплошных сред УрО РАН по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела (01.07.2014 – 29.06.2018) и работал инженером-исследователем (2015–2018 гг.), младшим научным сотрудником (2018 г. – наст. время) лаборатории термомеханики твердых тел ИМСС УрО РАН.

Справка №117700\6546-3 об обучении и сдаче кандидатских экзаменов по специальности 01.02.04 (иностранный (английский) язык – хорошо, история и философия науки – отлично, механика деформируемого твёрдого тела – отлично) выдана 29 июня 2018 г. ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории термомеханики твердых тел ИМСС УрО РАН Плехов Олег Анатольевич – представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

1. Актуальность темы диссертационной работы.

Прогнозирование разрушения под действием циклических напряжений с амплитудой существенно меньшей предела прочности материала (далее – усталость) является актуальной научной и инженерной задачей на протяжении последних двухсот лет. Несмотря на значительные успехи в понимании физической природы усталости, достигнутые в пионерских работах А. Вёлера, О. Баскина, В. Вейбулла, И. Баушингера, Д.К. Чернова и их последователей, вопросы прогнозирования эксплуатационного ресурса и предотвращения аварийных ситуаций, вызванных усталостным разрушением, остаются актуальными.

Значительное число моделей и соотношений, используемых в инженерной практике продолжают носить эмпирический характер. При этом повышение требований к безопасности и экономической эффективности инженерных конструкций требует физически обоснованного снижения коэффициентов запаса. Это диктует необходимость продолжения научных исследований процесса разрушения при циклическом деформировании с применением современных экспериментальных методов и методов математического моделирования.

Широкое внедрение в инженерную практику принципа допускаемой повреждаемости («damage tolerance») повышает требования к построению точных, физически обоснованных моделей развития начальных повреждений, в том числе усталостных трещин в условиях сложного напряжённого состояния. Разработка энергетически обоснованных моделей в сочетании с прямыми экспериментальными методами измерения входящих в них физических величин позволяет получить новые результаты как при детектировании, так и при прогнозировании скорости распространения усталостных трещин в условиях многоосного деформирования.

Представленная диссертация направлена на разработку оригинальных экспериментальных подходов к измерению теплового потока в области вершины усталостной трещины, которые в сочетании с методами инфракрасной термографии и корреляции цифровых изображений позволяют получить новые научные результаты в области исследования особенностей пластического деформирования в вершине усталостной трещины в металлах и предложить соотношение для прогнозирования скорости усталостных трещин в условиях одноосного и многоосного деформирования. Актуальность темы исследования определяется возможностью построения экспериментально-теоретического подхода, описывающего процесс распространения усталостной трещины, применимого для широкого спектра условий эксплуатации.

2. Новизна и практическая значимость полученных результатов.

В работе разработана экспериментальная методика измерения теплового потока в вершине усталостной трещины в металлах при проведении усталостных испытаний, основанная на применении эффекта Зеебека и использовании элемента Пельтье в качестве чувствительного элемента.

Экспериментально выявлены закономерности взаимосвязи эволюции поля пластической деформации и теплового потока в вершине усталостной трещины при её распространении в стали 08X18H10 и техническом титане ВТ1-0. Показан линейный характер зависимости скорости распространения усталостной трещины от теплового потока в её вершине при многоосном нагружении.

Предложена теоретическая модель, основанная на экспериментально устанавливаемой взаимосвязи скорости распространения усталостной трещины и интенсивности теплового потока в её вершине, позволяющая прогнозировать усталостную долговечность металлов при одноосном и двухосном нагружении.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность экспериментальных исследований обеспечивается соблюдением методологии проведения эксперимента, использованием поверенного метрологического оборудования, повторяемостью результатов и соответствием установленных закономерностей с частными результатами других авторов.

4. Ценность научных работ соискателя ученой степени.

Использование термодинамического подхода к описанию распространения усталостных трещин в металлах позволит повысить точность и достоверность их прогнозирования в реальных конструкциях. В работе предложена и экспериментально обоснована гипотеза о возможности использования подходов линейной механики разрушения для оценки поля неупругой деформации в вершине усталостной трещины в металлах. Получено аналитическое соотношение для расчёта теплового потока в вершине усталостной трещины для смешанного типа нагружения и установлена её взаимосвязь со скоростью роста трещины.

Проведена серия экспериментов по изучению теплового потока в процессе распространения усталостной трещины в металлах при одноосном и двухосном циклическом деформировании. Получены новые данные о кинетике и термодинамике распространения усталостной трещины в металлах при одноосном и двухосном циклическом деформировании. Предложена методика для оценки и прогнозирования скорости роста трещины на основе данных о потоке тепла в области вершины усталостной трещины при многоосном циклическом деформировании.

5. Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах.

Основное содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 11 публикациях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК, и 1 патенте Российской Федерации на изобретение:

Статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК и/или индексируемые в базах данных Web Of Science, Scopus:

1. **Vshivkov A.**, Iziumova A., Plekhov O., Baer J. Experimental study of heat dissipation at the crack tip during fatigue crack propagation // Fracture and Structural Integrity. – 2016. – Vol. 35. – P. 131-137.
2. Baer J., **Vshivkov A.**, Plekhov O. Combined lock-in thermography and heat flow measurements for analysing heat dissipation during fatigue crack propagation // Fracture and Structural Integrity. – 2015. – Vol. 34. – P. 456-465.
3. Plekhov O., **Vshivkov A.**, Iziumova A., Zakharov A., Shlyannikov V. The experimental study of energy dissipation during fatigue crack propagation under biaxial loading // Fracture and Structural Integrity. – 2019. – Vol. 13, № 48. – P. 50-57.
4. Vedernikova A., Iziumova A., **Vshivkov A.**, Plekhov O. Three approaches to evaluate the heat dissipated during fatigue crack propagation experiments // Fracture and Structural Integrity. – 2020. – Vol. 14, № 51. – P. 1-8.
5. Plekhov O., **Vshivkov A.**, Iziumova A., Venkatraman B. A model of energy dissipation at fatigue crack tip in metals // Fracture and Structural Integrity. – 2019. – Vol. 13, № 48. – P. 451-458.
6. Plekhov O., **Vshivkov A.** The effect of fatigue crack rate on the heat dissipation in metals under mixed-mode loading // Fracture and Structural Integrity. – 2019. – Vol. 13, № 50. – P. 1-9.
7. **Vshivkov A.**, Iziumova A., Plekhov O. Experimental investigation of fatigue crack induced energy dissipation under mixed mode loading // Procedia Structural Integrity. – 2020. – Vol. 28. – P. 1839-1845.

8. Vshivkov A., Iziyuma A., Zakharov A., Shlyannikov V., Plekhov O. The experimental and theoretical study of heat dissipation at fatigue crack tip under biaxial loading // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2019. – Vol. 103. – P. 102308.

9. Вшивков А.Н., Изюмова А.Ю., Пантелеев И.А., Плехов О.А. О методе оценки распределения пластической деформации в области вершины усталостной трещины на основе решения задачи линейной теории упругости // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2023. – № 6. – С. 41-49.

10. Vshivkov A., Iziyuma A., Zakharov A., Shlyannikov V., Plekhov O. The experimental and theoretical study of plastic deformation in the fatigue crack tip based on method of digital image correlation // Procedia Structural Integrity. – 2018. – Vol. 13. – P. 1189-1194.

11. Vshivkov A.N., Iziyuma A.Yu., Panteleev I.A., Ilinykh A.V., Wildemann V.E., Plekhov O.A. The study of a fatigue crack propagation in titanium Grade 2 using analysis of energy dissipation and acoustic emission data // Engineering Fracture Mechanics. – 2019. – Vol. 210. – P. 312-319.

12. Вшивков А.Н., Прохоров А.Е., Плехов О.А., Бэр Ю., Бацаль Ж-К. Способ определения скорости роста трещины в образце и устройство для этого // Патент Российской Федерации на изобретение № 2603939 от 20.07.2015.

Перечисленные выше публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают основные положения всех содержательных глав диссертации. Вторая глава [1, 12], третья глава [2-4, 8, 11], четвертая глава [5-7, 9, 10].

6. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

Автором диссертации разработан программно-аппаратный комплекс для измерения диссипации тепла при распространении усталостной трещины. Проведены испытания на циклическое деформирование образцов при одноосном и двухосном нагружении. Автором разработан способ оценки диссипации энергии для прогнозирования усталостной долговечности при одноосном и двухосном нагружении. Постановка задач, результаты исследования и их интерпретация обсуждалась с научным руководителем О.А. Плеховым и другими соавторами публикаций.

7. Научная специальность, которой соответствует диссертация.

Представленная диссертационная работа соответствует формуле специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела "Изучение закономерности процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов различной природы, а также напряженно деформированное состояние твердых тел из этих материалов, при механических, тепловых, радиационных, статических и динамических воздействиях в пассивных и активных, газовых и жидких средах и полях различной природы", а именно следующим областям исследования из паспорта специальности: 1. Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых; 10. Прочность при сложных режимах нагружения. Теория накопления повреждений. Механика разрушения твёрдых тел; 13. Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях.

Диссертационная работа Вшивкова Алексея Николаевича "Расчётно-экспериментальный метод построения уравнения роста усталостной трещины в металлах на основе оценки диссипации энергии в её вершине" представляет собой законченное исследование важных научных проблем, удовлетворяющее требованиям пп.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от

24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, и рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Диссертационная работа Вшивкова Алексея Николаевича "Расчётно-экспериментальный метод построения уравнения роста усталостной трещины в металлах на основе оценки диссипации энергии в её вершине" обсуждена и одобрена на заседании Научного семинара Института механики сплошных сред УрО РАН под руководством академика РАН Матвеевко В.П. 16 октября 2024 г., протокол № 13/24.

Присутствовало на заседании 38 человек, из них 8 докторов наук и 19 кандидатов наук. Результаты открытого голосования научных работников ИМСС УрО РАН: "за" – 38 чел.; "против" – 0 чел.; "воздержалось" – 0 чел.

Директор

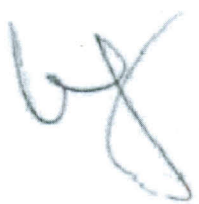
Института механики сплошных сред УрО РАН:
доктор физико-математических наук,
доцент Мизев Алексей Иванович



/ Мизев А.И.

Председатель заседания Научного семинара

Института механики сплошных сред УрО РАН:
Главный научный сотрудник,
доктор физико-математических наук,
профессор Шардаков Игорь Николаевич



/ Шардаков И.Н.