

ОТЗЫВ

на диссертацию Э.Б. Завойчинской «Усталостное масштабнo-структурное разрушение и долговечность конструкций при пропорциональных процессах нагружения», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

1. Актуальность темы диссертации

Актуальность теоретических и экспериментальных исследований проблем механики деформирования и разрушения при циклическом нагружении сохраняется на протяжении многих десятилетий в нашей стране и за рубежом. Это связано с двумя основными факторами – как сложностью процессов деформирования и повреждения, условий возникновения и развития трещин циклического происхождения, так и практической важностью закономерностей указанных процессов в большом числе реальных объектов техносферы. По мере накопления теоретических знаний и практического опыта в области циклической прочности и долговечности идет непрерывное совершенствование методологии расчетов и испытаний на усталость во все расширяющемся диапазоне числа циклов амплитуд напряжений и структурно-механических свойств современных конструкционных материалов, характера воздействий окружающей среды. В таком совершенствовании всё большую актуальность приобретает сочетание детерминированных, статистических и вероятностных трактовок усталостного разрушения, привязанных к физико-механическим и структурным особенностям кинетики циклических повреждений и трещин.

Оппонируемая диссертация Э.Б. Завойчинской, несомненно, относится к отмеченному кругу исследований актуальных вопросов усталости в их комплексной постановке.

2. Научная новизна результатов диссертации

Оппонент в качестве основного объекта научной новизны диссертации отмечает построение структурно-механических моделей усталости и

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 29 08 2018

получение системы определяющих уравнений и их параметров для детерминированного и вероятностного описания кинетики возникновения, накопления и развития циклических повреждений и трещин до их критического состояния, определяющего переход к окончательному хрупкому разрушению.

Для достижения этого результата автором с использованием собственных и опубликованных в литературе данных в главе 1 предложена и обоснована многоуровневая модель стадийности усталостного и хрупкого разрушения на доле или конгломератам поликристаллических структур, претерпевающих непрерывные изменения в процессе нагружения. В ней выделены три основные стадии:

- образование первичных полосчатых повреждений актов вдоль плоскостей микросдвигов до зарождения микродефектов;
- развитие микродефектов до достижения ими мезо-макроразмеров;
- рост макродефектов до окончательного разрушения.

Для этих стадий в рассмотрение вводятся шесть уровней дефектности и размерностей дефектов, определяющих границы переходов от одной стадии к другой.

Каждый из уровней дефектности в свою очередь увязан как с исходной микроструктурой материала, так и с её трансформацией по мере накопления повреждений. При таком подходе в диссертации дана классификация микро-мезо-макромеханизмов деформирования и повреждения.

С научной точки зрения важной представляется двойственная трактовка механизмов и размеров зон повреждения и разрушения – по абсолютным размерам отдельных структурных составляющих и по их объединениям. Это стало основой количественной фрактографии и фрактодиагностики с оценкой параметров нераспространяющихся и распространяющихся трещин усталости.

Реализация в главе 2 этих моделей и механизмов усталостного разрушения при простых режимах нагружения в детерминированной и

вероятностной постановке привела автора к новой систематизированной системе построения кривых усталости и уравнений многоуровневой повреждаемости. Для этого использованы представления о диаграммах исходного статического деформирования и о диаграммах циклического деформирования с пониженным сопротивлением макродеформациям и с учетом актов микропластических деформаций.

К элементам научной новизны можно отнести развитие автором теории циклических повреждений и разрушений на случаи более сложных режимов нагружения, таких, как двухосное с равными и неравными компонентами главных напряжений, а также асимметрии цикла напряжений. Этот вопрос привязан преимущественно к мезо-и макромеханизмам разрушения, не снижая возможностей построения всей серии кривых усталости по выбранным шести уровням повреждений.

3. Достоверность результатов исследований

Достоверность научных и практических результатов диссертации Э.Б. Завойчинской основывается на комплексности теоретического и экспериментального анализа процессов и механизмов усталости в историческом и методологическом плане. Для повышения достоверности в диссертации проблемы усталости материалов и конструкций проанализированы в качестве объектов отечественных и зарубежных научных исследований и практических разработок в течение более века. Многие из привлеченных результатов по механике усталостного разрушения стали классическими – сюда относятся кривые усталости и уравнения кривых, связывающие амплитуды напряжений и числа циклов до разрушения, представления о многостадийности процесса усталостного разрушения, линейные и нелинейные закономерности накопления усталостных повреждений, нормирование и стандартизация испытаний на усталость, инженерные методы расчета циклической прочности и циклической долговечности. В этом анализе исследований и результатов отражена

комплексная роль целого ряда конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

Как показано в диссертации, в последние десятилетия в связи с развитием физики материаловедения и методов тонкого исследования структур конструкционных материалов интенсивное развитие в диссертации получили теоретические исследования:

- разноуровневых механизмов циклического разрушения;
- определяющих параметров и особенностей кривых усталости для соответствующих уровней повреждений;
- смены показателей в уравнениях кривых усталости с учетом участков и точек переломов на этих кривых;
- моделей и механизмов зон формирования трещин усталости с их переходом в критические состояния.

В оппонируемой диссертации эффект достоверности полученных результатов усиливается тем, что затронутые вопросы представлены не в виде отдельных элементов общего анализа, а в виде их взаимоувязки для формирования обобщенной научно-методической базы теоретических знаний и банков данных для практических приложений.

4. Обоснованность полученных результатов

Для обоснования достоверности результатов оппонент считает приемлемым уровень использования полученных в обширной отечественной и мировой литературе теоретических данных в сочетании с прямой экспериментальной информацией о форме и уравнениях кривых усталости, о фрактографических параметрах повреждений и роста трещин, о критических размерах трещин при переходе к хрупкому долому, о сопоставимости кривых статического и циклического деформирования.

Такая информация позволяет считать обоснованным предложения автора по построению серий шестиуровневых кривых усталости для различных по структуре и свойствам материалов и режимов одноосного и многоосного нагружения.

В этой части заслуживают внимания табличные данные по экспериментально обоснованным параметрам кривых усталости, а также по научно-методическим рекомендациям при целевой постановке экспериментов.

5. Практическая значимость полученных результатов

Существенной составляющей оппонируемой диссертации является глава 4, в которой изложены основные положения по критериям и по количественной оценке параметров безопасности эксплуатации практически важных и сложных объектов магистрального трубопроводного транспорта газа, нефти и нефтепродуктов. Оппонент согласен с предложенной в диссертации декомпозицией протяженных трубопроводных конструкций с последовательным выделением опасных участков, опасных зон и опасных дефектов для двух сценариев анализа – оптимистического и пессимистического. Расчеты прочности, ресурса и надежности протяженных конструкций предлагается проводить на основе результатов теоретического анализа номинальных и локальных напряженно-деформированных состояний и ранее выбранных критериев повреждений и разрушения. Базовыми критериями количественной оценки безопасной эксплуатации приняты приемлемый срок службы и конструкционный риск с учетом 16 повреждающих факторов. Эффективность и практическая значимость разработок диссертации продемонстрирована на целом ряде примеров реальных трубопроводов (Газпрома, Транснефти и других компаний), классифицированных по трем группам.

6. Оформление диссертации

Диссертационная работа Э.Б. Завойчинской представлена на оппонирование в виде текста диссертации на 303 страницах и её автореферата на 46 страницах. Их содержание и оформление соответствует поставленным целям и задачам исследования; диссертация в четырех главах отражает постановку проблем, содержат анализ их состояния, теоретическую базу по каждому из разделов, предложенные модели и механизмы разрушения,

соответствующие критерии, уравнения и их параметры, а также выводы по главам и диссертации в целом. Методы расчетно-экспериментальной оценки долговечности помещены в приложение к основному тексту диссертации.

Список литературы состоит из двух частей: список публикаций автора (из 89 наименований) и список использованной литературы (из 281 наименования).

Качество оформления диссертации и её полнота хорошие. Автореферат отражает содержание диссертации.

7. Замечания по диссертации

1. В диссертации широко представлены серии кривых усталости различных материалов (с соответствующими структурами и состояниями) при различных режимах нагружения по 6 уровням циклических повреждений. У этих кривых в 2-3 раза изменяются уровни напряжений при изменениях долговечностей на 2-3 и более порядков. В диссертации не дана количественная оценка потери достоверности при переходе от кривой окончательного разрушения, достоверно обоснованной экспериментом, к серии кривых по снижающемуся уровню повреждений.

2. Предложенный набор из 16 повреждающих факторов наряду с его важностью (по существу понимания роли механизмов и причин разрушения образцов и натуральных конструкций) делает неустойчивым расчет многоуровневой повреждаемости и циклической долговечности; погрешности такого расчета увеличиваются с ростом числа факторов. В диссертации следовало бы выделить 3-4 определяющих фактора с оценкой погрешностей от неучета других факторов. Это имеет принципиальное значение для практических расчетов.

3. В механике циклического разрушения и в фрактографии усталостных изломов большое внимание уделяется анализу бороздок (шагов) на поверхности разрушения и связи шага бороздок со структурой материала и амплитудой циклических напряжений. Этот параметр роста циклических

трещин диссертанту следовало бы увязать со степенью повреждения при построении сериальных многоуровневых кривых усталости.

4. Реальные конструкции объектов трубопроводного транспорта содержат большое число сварных швов с повышенным уровнем начальных дефектов, часто являющихся очагами начала и развития ускоренных эксплуатационных повреждений и разрушений. Для этих зон должны быть предложены свои дополнительные структурно-механические параметры металла сварных соединений и свои уровни эксплуатационных напряжений с учетом остаточных напряжений от сварки.

5. В редакционном плане замечание сводится к тому, что в главе 4 недостаточно четко изложены основные положения, алгоритмы и методическая база инженерного расчета сроков безопасной эксплуатации по параметрам конструкционного риска.

8. Рекомендации по развитию исследований

Высказанные в п. 7 замечания по диссертации не снижают её в целом положительной оценки оппонентом; они направлены на дальнейшее развитие научных исследований и практических разработок в части дополнительных экспериментальных обоснований ранних стадий повреждения с учетом не только состояния исходных микроструктур, но и исходной технологической микро-мезо-макродефектности, когда общая циклическая долговечность в основном определяется стадией развития трещин.

Кроме того, по мере накопления числа циклов нагружения и роста трещин всё большую роль начнут приобретать эффекты упругопластического деформирования, требующие перехода к нелинейной механике деформирования и разрушения как для лабораторных образцов, так и для реальных конструкций.

Оппонент выражает надежду на то, что автор диссертации сможет в последующем уделить внимание этим вопросам, которые относятся к ряду приоритетных направлений развития науки и технологий и к критическим технологиям.

9. Заключение

Диссертационная работа Э.Б. Завойчинской «Усталостное масштабнo-структурное разрушение и долговечность конструкций при пропорциональных процессах нагружения» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на кафедре теории упругости механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, содержащей новое решение актуальной научно-технической проблемы расчетно-экспериментального обоснования долговечности материалов и конструкций на базе комплексного многоуровневого анализа механизмов и закономерностей образования дефектов, возникновения и развития трещин усталости, приводящих к хрупкому окончательному разрушению.

Решение этой проблемы имеет существенное значение для научно-методического обоснования выбора и назначения методов диагностики их структуры и состояния, механических свойств конструкционных материалов и расчета сроков безопасной эксплуатации высокорисковых объектов трубопроводного транспорта.

По актуальности тематики, новизне научных результатов, обоснованию их достоверности, по практическому значению приложений, уровню оформления диссертации и степени отражения её содержания в автореферате, степени опубликования основных диссертационных положений оппонируемая работа «Усталостное масштабнo-структурное разрушение и долговечность конструкций при пропорциональных процессах нагружения» отвечает требованиям ВАК к докторским диссертациям по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», а её автор Элеонора Борисовна Завойчинская заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент:

Махутов Николай Андреевич, член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук, председатель Рабочей группы при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности, главный научный сотрудник Института машиноведения имени

А.А. Благонравова (ИМАШ РАН), советник РАН

27.08.2018 Махутов

Москва 119991, Ленинский пр., 32а, Президиум РАН, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, каб. 1718.

Тел.: 8(495) 930-80-78, e-mail: kei51@mail.ru

Подпись руки члена-корреспондента РАН Н.А. Махутова удостоверяю.

Начальник Отдела энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН – заместитель академика-секретаря по научно-организационной работе кандидат технических наук



М.А. Поляков