



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВТ СО РАН)

Проспект Академика Лаврентьева, д. 6, г. Новосибирск, 630090
Тел.: +7 (383) 330-6150, факс: +7 (383) 330-6342, e-mail: ict@ict.nsc.ru
ОКПО 05222159, ОГРН 1025403650920, ИНН/КПП 5408105390/540801001

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИВТ СО РАН

д-р физ.-мат. наук, профессор

 С.Г. Черный

«30» 10 2019 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Филина Владимира Юрьевича**
«Разработка критериев трещиностойкости и хладостойкости материалов
сварных конструкций морского шельфа на основе механики разрушения»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальностям 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) и
05.02.10 – сварка, родственные процессы и технологии

1. Актуальность работы для науки и практики

Стратегия освоения арктического шельфа России, необходимость круглогодичной эксплуатации Северного морского пути требуют создания сварных конструкций высокой эксплуатационной надёжности из низколегированных и среднелегированных сталей. В первую очередь, необходимо гарантировать отсутствие хрупких и квазихрупких разрушений сталей и конструкций при низких климатических температурах. В этой ситуации актуально решение двух основных задач в области совершенствования системы аттестации материалов:

- обоснование требований и критериев трещиностойкости сварных соединений, определяющих сопротивление инициации хрупкого разрушения;
- оценка критических температур вязко-хрупкого перехода основного металла, что обеспечивает возможность торможения хрупкого разрушения.

НИИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 3420	в ДЕЛО
«13» 11 2019 г.	№
Осн. 8 л.	

2. Структура диссертации и общая характеристика работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, основных выводов, списка используемой литературы (241 наименование). Общий объем работы составляет 397 страниц, содержащих 172 рисунка и 53 таблицы. Приложения на 28 страницах включают 8 таблиц результатов и акты внедрения разработок автора.

Во введении отмечены актуальность работы, описан объект исследований, представлены цель, задачи, научная новизна исследований и практическая значимость работы. Кроме того, изложены основные научные положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов и рекомендаций. Структура работы и содержание глав в целом соответствуют целям и задачам исследования.

В первой главе рассмотрены методы аттестации и сертификации конструкционных материалов с учетом международного опыта, указаны их ограничения и недостатки. Выполнен обзор принципов и методик расчетных оценок прочности сварных конструкций с дефектами на основе методов механики разрушения. Рассмотрена действующая система аттестации судостроительных сталей и их сварных соединений, указаны ограничения и недостатки существующих подходов.

Во второй главе представлены методология, разработанный алгоритм и процедуры оценок прочности по критерию предотвращения хрупкого разрушения. Эта глава является ключевой в работе, поскольку определяет направления дальнейших исследований автора. В качестве основной идеи предлагается использовать энергетический критерий в форме J -интеграла, как базовую расчетную характеристику трещиностойкости материалов.

В третьей главе рассмотрены методические и технологические вопросы испытаний на трещиностойкость, проводимых с целью получения базы данных расчетных характеристик оценки сопротивления сварных конструкций хрупкому разрушению. На основе результатов экспериментальных исследований рассмотрены вопросы зависимости характеристик трещиностойкости от типа и размеров образцов. Обосновано использование критических значений коэффициента интенсивности напряжений и J -интеграла для оценки трещиностойкости материалов и сварных соединений. Объем экспериментальных исследований достаточен для правомерных выводов и заключений.

В четвертой главе рассмотрены возможности и выполнен анализ результатов численного моделирования (МКЭ) термического цикла сварки на малых образцах с целью упрощения процедуры проверки свариваемости сталей и определения «истинной» трещиностойкости зоны термического влияния (ЗТВ). Использование промышленной установки имитации термического цикла

сварки позволяет получать заданную структуру металла с ровными границами характерных участков зоны термического влияния, что существенно облегчает экспериментальные оценки трещиностойкости и хладостойкости металла ЗТВ.

Пятая глава посвящена разработке вероятностного подхода к обоснованию запаса прочности в критериальном условии предотвращения хрупкого разрушения и обеспечения прочности сварных соединений, реализованного с использованием метода статистического моделирования Монте-Карло.

В шестой главе обоснованы требования по значениям критических температур вязко-хрупкого перехода, коррелирующих с температурой торможения трещины в основном металле. Автор синтезирует известные подходы и собственные наработки для обоснования допустимости применения сталей для заданных условий эксплуатации. Предлагается многокритериальный подход, дающий обоснованную на современном уровне знаний оценку обеспечения хладостойкости и трещиностойкости конструкционных материалов.

Глава 7 посвящена практическому применению результатов исследований. Приведены примеры использования разработанной процедуры интерпретации результатов испытаний на трещиностойкость сварных соединений и реализации программ аттестации конструкционных сталей.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность представленных результатов, выводов и рекомендаций подтверждена:

- согласованностью расчетных и экспериментальных результатов по трещиностойкости металла сварных соединений и хладостойкости рассматриваемых сталей;
- применением современных численных методов моделирования напряженно-деформированных состояний сварных соединений;
- применением нормативных методик исследований структуры металла;
- непротиворечивостью полученных результатов с теоретическими и экспериментальными исследованиями других авторов,
- успешной практической реализацией программ аттестации материалов с использованием разработанных процедур и критериев;
- положительной апробацией результатов исследования на научных конференциях и семинарах различного уровня;
- публикацией основных выводов и положений исследования в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, а также индексируемых в базе Scopus.

4. Научная новизна выводов, положений и рекомендаций

Полученные в диссертации новые научные результаты направлены на разработку и обоснование требований к трещиностойкости и хладостойкости сварных конструкций, эксплуатируемых в условиях Арктики и морского шельфа.

Среди полученных результатов следует особо отметить следующие:

1. Предложен принцип взаимно согласованного назначения размеров расчётного дефекта, доверительной вероятности и коэффициента запаса с учетом статистической неопределённости значений характеристик трещиностойкости материала в условии прочности, в совокупности обеспечивающий приемлемую вероятность разрушения элемента конструкции.

2. Обоснованы упрощённые соотношения для расчёта значений J-интеграла, как функции его упругой составляющей и относительной номинальной нагрузки для дефектов в типовых сварных элементах с высоким уровнем остаточных сварочных напряжений (ОСН).

3. Впервые показано, что в присутствии высокого уровня ОСН моделирование разрушений конструкций на образцах с трещиной при испытаниях на изгиб (SENB) не имеет избыточного консерватизма и должно применяться как основной вид сертификационных испытаний при выборе и производстве сталей для арктических конструкций.

4. Величины коэффициента запаса в условии прочности элементов конструкций с трещинами рассчитаны с помощью двухстадийного численного эксперимента с учётом погрешностей, вносимых процедурой сертификации материала. Определён требуемый нормативный уровень трещиностойкости металла сварных соединений, который зависит от количества испытаний и разброса получаемых экспериментальных результатов.

5. Разработана процедура аттестации металла сварных соединений по характеристикам трещиностойкости, согласно которой необходимое число испытаний образцов определяется текущими полученными результатами. Этим обеспечивается возможность корректной аттестации материалов, имеющих большой разброс экспериментальных данных.

6. Показано по результатам испытаний на трещиностойкость металла имитированной зоны термического влияния многопроходной сварки, что повторное термическое воздействие при наложении нескольких сварочных проходов оказывает эффект, подобный многократному отпуску. Такие испытания позволяют оценивать свариваемость низколегированных и среднелегированных сталей и разрабатывать рекомендации по оптимальным режимам их термообработки.

7. Установлена связь результатов испытаний по определению температур вязко-хрупкого перехода NDT и T_{KB} низколегированных и среднелегированных

сталей с критическим значением коэффициента интенсивности напряжений на стадии останова хрупкого разрушения. На основании этого разработаны требования к температурам вязко-хрупкого перехода, которые зависят от толщины проката и предела текучести сталей.

5. Теоретическая и практическая значимость

Разработан и откорректирован целый ряд разделов Правил Российского морского регистра судоходства. Разработаны редакции стандартов организации (СТО) НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» для выполнения специальных видов механических испытаний.

Разработан Руководящий документ РД5.УЕИА.3613-2012 «Расчётная оценка прочности по критерию предотвращения разрушения от дефектов в конструкции. Методы расчёта».

В ГОСТ Р 52927-2015 «Прокат для судостроения из стали нормальной, повышенной и высокой прочности» разработано приложение В «Определение параметра трещиностойкости CTOD» и требования по величине CTOD – критического раскрытия вершины трещины для сталей с индексом «Arc».

Применение разработок автора позволяет:

- обоснованно назначать требования к корпусным материалам сварных конструкций;
- корректно выполнять сертификацию сварных соединений, которые не могут быть аттестованы по зарубежным нормам вследствие большого разброса трещиностойкости, характерного для материалов с объёмно-центрированной кристаллической решёткой при низких температурах;
- экономить на объеме сертификационных испытаний сварных соединений на трещиностойкость по количеству и массе образцов;
- определять сопротивляемость стали развитию трещины, распространяющейся по механизму хрупкого разрушения, с использованием сравнительно небольших образцов;
- проводить сравнение по характеристикам трещиностойкости и свариваемости различных марок сталей при выборе поставщиков и способов производства;
- выполнять расчёты на прочность конструкций с дефектами и определять нормы дефектности для неразрушающего контроля.

6. Замечания по диссертационной работе

1. Автору следовало указать соответствие тематики научных исследований пунктам паспортов научных специальностей 05.16.09 и 05.02.10.

2. В автореферате и работе приводится семь позиций научной новизны, тогда как в положениях, выносимых на защиту, указано только пять пунктов.

3. В названии диссертационной работы заявлена разработка критериев трещиностойкости. Автору следовало однозначно определить, какие новые критерии предложены или, что понимается под новыми критериями трещиностойкости.

4. В обосновании актуальности и обзоре существующих подходов (глава 1) слабо отражена существенная роль исследований остаточных напряжений, проблемы обеспечения прочности и хладостойкости, дефектности и трещиностойкости сварных конструкций, выполненных в Институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины и в Институте физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН.

5. Автором отмечается, что стандарт SINTAP, как и другие западные стандарты подобного типа, построены на использовании коэффициента интенсивности напряжений. Выбор J-интеграла в качестве базиса можно было бы принять оправданным для аттестации конструкционных и сварочных материалов и технологий сварки. Однако применительно к конструкциям практическое использование J-интеграла вызывает ряд существенных методических и вычислительных сложностей. Именно поэтому стандарт SINTAP использует коэффициент интенсивности напряжений, как основную характеристику, а J-интеграл – как вспомогательную. Автор оставляет эти вопросы за рамками обсуждения.

6. В работах А.Р. Ржаницына, С.А. Тимашева, О. Дитлевзена и др. обоснования запасов прочности на основе вероятностного подхода выполнялись в предположении нормального закона распределения вероятностей характеристик прочности и нагрузки. Автор делает это для экспериментально обоснованного Вейбулловского закона распределения вероятностей J-интеграла. Обращают на себя внимание очень высокие коэффициенты запаса при больших вариациях исследуемых переменных. Автор не дает объяснения полученным значениям коэффициентов запаса, а принимает это как факт. Также нет указания на рациональный диапазон коэффициентов запаса для рассматриваемых конструкций.

7. В работе автор синтезирует известные подходы и собственные наработки для обоснования применимости использования материалов в заданных условиях эксплуатации. Фактически предлагается многокритериальный подход, дающий обоснованную на современном уровне знаний оценку обеспечения хладостойкости и трещиностойкости конструкционных материалов. Недостаток подхода состоит в том, что из него «выпала» постулируемая в работе связь хладостойкости и трещиностойкости с размерами технологических дефектов. Поэтому не ясна роль выполненных автором исследований выявляемости дефектов различными методами неразрушающего контроля и не ясно, как учитывается понятие «расчетного» дефекта.

8. В автореферате задача исследований п. 8 сформулирована очень похоже на цель работы.

9. Недостаточно чётко указано, что рассматриваемый коэффициент запаса относится к неопределённости характеристик трещиностойкости как свойства материала, и не является коэффициентом запаса по нагруженности конструкции.

10. Определение автором энергетического J-интеграла как параметра нагруженности требует дополнительных пояснений с позиций традиционных представлений механики разрушения.

11. Выводы по работе представлены в стиле констатации выполненных исследований, а не в форме изложения наиболее существенных новых количественных и качественных результатов исследования.

7. Общее заключение по диссертационной работе

Диссертация Филина Владимира Юрьевича является законченным научно-исследовательским трудом, в рамках которого автором усовершенствована система контроля качества материалов, включая количественно обоснованные сертификационные требования к сталям арктического применения. Внедрение разработанных требований и критериев вносит значительный вклад в решение обеспечения проблемы техногенной и экологической безопасности крупногабаритных сварных конструкций Арктики и морского шельфа.

Автореферат и основные публикации достоверно и полно отражают содержание работы. Работа содержит необходимый объем информационно-аналитических и экспериментальных материалов, подтверждающих достоверность основных результатов, положений и выводов.

Тематика и содержание работы соответствует паспортам научных специальностей специальностям 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) и 05.02.10 – сварка, родственные процессы и технологии, диссертация имеет внутреннее единство и является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация полностью соответствует требованиям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями, внесенными постановлением Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней»), а её автор Филин Владимир Юрьевич заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по научным специальностям 05.16.09 – материаловедение (машиностроение) и 05.02.10 – сварка, родственные процессы и технологии.

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и одобрен на заседании объединенного научно-практического семинара «Проблемы природно-техногенной безопасности» лабораторий вычислительной механики и риска-анализа и мониторинга природно-техногенной безопасности Красноярского

филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук – Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»
22 октября 2019 г. протокол № 6 по результатам доклада В.Ю. Филина и
детального обсуждения его диссертационной работы.

Председатель семинара
главный научный сотрудник
лаборатории мониторинга и природно-техногенной безопасности
Красноярского филиала Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института вычислительных технологий Сибирского
отделения Российской академии наук – Специальное конструкторско-
технологическое бюро «Наука»

доктор технических наук, профессор
заслуженный деятель науки РФ  Москвичев Владимир Викторович

Заведующий
лабораторией вычислительной механики и риск-анализа
Красноярского филиала Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института вычислительных технологий Сибирского
отделения Российской академии наук – Специальное конструкторско-
технологическое бюро «Наука»

кандидат технических наук  Буров Андрей Ефимович

Почтовый адрес: 660049, г. Красноярск, проспект Мира, д. 53

Тел. раб.: +7(391)227-29-12;

E-mail: krasn@ict.nsc.ru