

НИИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 1386	в ДЕЛО
«28» 05 2021 г.	№
Осн. 4 л.	подп.

Отзыв

официального оппонента Чувильдеева Владимира Николаевича
на диссертационную работу Яковлевой Екатерины Александровны
«Прогнозирование склонности к деформационному старению ферритно-перлитных,
ферритно-бейнитных и бейнитно-мартенситных судостроительных сталей»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертационная работа Яковлевой Е.А. посвящена проблеме изучения склонности к деформационному старению судостроительных низкоуглеродистых сталей различного марочного состава, широко эксплуатируемых в условиях воздействия коррозионно-агрессивных сред и низких температур.

Актуальность диссертационной работы Яковлевой Е.А. определяется необходимостью дальнейшего повышения требований к уровню физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик судостроительных сталей, позволяющих обеспечить длительную и безотказную работу высокоответственных судостроительных конструкций различного назначения. Одним из актуальных вопросов при решении задачи обеспечения безаварийной эксплуатации судостроительных конструкций является обеспечение повышенной стойкости сталей к деформационному старению, которое может приводить к увеличению склонности сталей к хрупкому разрушению. Практическая актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена также тем обстоятельством, что для изготовления современных высокопрочных судостроительных сталей часто используются методы термдеформационного упрочнения (термомеханическая обработка и закалка с прокатного нагрева с отпуском), способствующие увеличению интенсивности деформационного старения.

Объектами исследований в диссертационной работе Яковлевой Е.А. являются фрагменты листового проката толщиной до 80 мм с различным гарантированным пределом текучести (от 235 МПа до 960 МПа), изготовленные из низкоуглеродистых сталей различного химического состава, имеющих различные типы микроструктур (феррито-перлитные, ферритно-бейнитные, бейнито-мартенситные стали).

Предметом исследования является склонность к деформационному старению низкоуглеродистых судостроительных сталей, в том числе – взаимосвязь между технологией изготовления стали, ее параметрами микроструктуры и склонностью к деформационному старению в различных условиях.

Научная новизна работы связана, в первую очередь, с выявлением механизмов деформационного старения низкоуглеродистых судостроительных сталей различного химического состава. В частности, Яковлевой Е.А. было показано, что основным механизмом деформационного старения является диффузия углерода по ядрам решеточных дислокаций и образование частиц карбидов на границах зерен. Высоким уровнем научной новизны обладают результаты исследований склонности к деформационному старению судостроительных сталей с различным типом микроструктур, а также результаты исследований влияния отпуска на склонность к деформационному старению высокопрочных мартенситно-бейнитных сталей.

Практическая ценность работы заключается в разработке рекомендаций по прогнозированию склонности судостроительных сталей к деформационному старению, включая рекомендации к режимам изготовления листового проката, позволяющим

минимизировать склонность низкоуглеродистых сталей к деформационному старению, отрицательно влияющему на их механические свойства и эксплуатационные характеристики. Большую практическую значимость также имеют результаты исследований сварных соединений, позволившие подтвердить их низкую склонность сварных соединений к искусственному деформационному старению.

Достоверность полученных результатов обусловлена применением широкого круга современных и традиционных методов испытаний, использованием современного оборудования, а также опубликованием полученных результатов в ведущих отечественных научных журналах.

Общая характеристика диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, трех приложений и изложена на 226 страницах машинописного текста. Список используемой литературы включает 115 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели и основные задачи, описаны объекты, методы и методология исследований, показана научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, описан личный вклад автора, обоснована достоверность полученных экспериментальных результатов, представлены сведения о публикациях и апробации работы на ведущих отечественных и международных конференциях.

В первой главе представлен литературный обзор по теме диссертации – описаны известные данные о механизмах деформационного старения стали, методы определения склонности сталей к деформационному старению, проведен обзор ранее полученных экспериментальных результатов исследований влияния параметров структуры сталей на их склонность к деформационному старению, а также влияния деформационного старения на основные физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики сталей. В заключение, на основании анализа литературных данных, сформулирована постановка задачи диссертационной работы.

Вторая глава диссертации посвящена описанию объектов и методик исследований. Описаны методики исследований структуры сталей с использованием металлографии, растровой и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновских методов исследований, метода дифракции нейтронов, а также подробно описаны используемые методы механических испытаний и оценки эксплуатационных характеристик сталей (испытания на растяжение, ударный изгиб, микротвердость, методика определения критического раскрытия в вершине трещины, методика оценки склонности к коррозионному растрескиванию). В п.2.2.7 описана процедура расчета диффузионной подвижности углерода при старении стали, базирующаяся на известных термодинамических подходах.

В третьей главе диссертации Яковлевой Е.А. подробно описаны результаты экспериментальных исследований процессов деформационного старения в низкоуглеродистых низколегированных судостроительных сталях (п.3.1-3.3), приведены результаты исследований особенностей естественного деформационного старения судостроительной стали при длительном хранении (п.3.4), а также результаты исследований влияния отпуска до и после деформационного старения на структуру и механические свойства низкоуглеродистых низколегированных сталей с различным гарантированным пределом текучести (п.3.5). В п.3.6 диссертации проведена оценка характерного масштаба диффузионного массопереноса в процессе старения сталей различного химического состава.

В Главе 4 диссертации представлены результаты исследований процессов деформационного старения легированных судостроительных сталей, в том числе – результаты исследований влияния естественного старения (длительного хранения) на свойства стали (п.4.2), исследования влияния режимов закалки и отпуска на склонность к деформационному старению низкоуглеродистой легированной стали (п.4.3), а также проведен анализ влияния повторного отпуска на склонность к деформационному старению.

В заключительной (пятой) главе описаны результаты исследований влияния деформационного старения на эксплуатационные характеристики листового проката и сварных соединений (проведена оценка хладостойкости, параметра трещиностойкости CTOD, склонности к коррозионному растрескиванию под напряжением). В п.5.5 диссертации представлена информация о внедрении результатов работы, в том числе – о разработке «Методических указаний по прогнозированию и оценке склонности судостроительной стали к деформационному старению» для Научного центра качественных сталей ГНЦ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина» и о внедрении результатов в учебный процесс на базе СПбПУ Петра Великого.

В заключении, на четырех листах, сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

К работе имеются следующие **замечания**:

1. Для листов большой толщины обычно наблюдаются достаточно заметные различия в параметрах микроструктуры центра и поверхностного слоя листа. Вследствие этого следует ожидать, что склонность к деформационному старению центрального и поверхностного слоя листа будут отличаться.
2. Не ясно, как автор разделял частицы цементита (карбидов) выделившиеся в результате заводской термомеханической обработки на стадии изготовления листа, от частиц цементита, выделившихся из феррита в результате деформационного старения.
3. В работе при расчете времени старения используется предположение, что величина предэкспоненциального множителя коэффициента диффузии D_{C0} экспоненциально зависит от энергии активации диффузии углерода (см. формулу 3.6.1 на стр. 127). Это достаточно неожиданное предположение, поскольку обычно величина D_{C0} является константой.
4. Как следует из таблицы 3.6.3, в случае диффузии по ядрам дислокаций («трубчатая диффузия») расчетная средняя длина диффузионного пробега углерода (R_D) в сталях после естественного старения в течение 12 лет оказывается намного больше (более чем на порядок), чем в случае искусственного старения при 250 °С, 1 ч. Автору следовало бы указать, какой длительности хранения соответствуют используемые режимы искусственного старения.
5. В выводах к главе 3 (стр. 134) автором указано, что склонность стали к деформационному старению усиливается с увеличением размера зерна (d). Поскольку характерное время диффузионного массопереноса (t) обратно пропорционально квадрату размеру зерна ($t \sim 1/d^2$), то обычно предполагается, что в мелкозернистых сталях интенсивность диффузионных процессов намного больше, чем в крупнозернистых материалах. Автору следует пояснить, почему, на его взгляд, в исследуемых материалах наблюдается обратная тенденция.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Яковлевой Е.А., выполненной на высоком научном уровне и являющейся

законченным научным исследованием. В работе получен ряд интересных научных результатов, имеющих большое практическое значение. Полученные результаты прошли апробацию на ведущих отечественных и международных конференциях, и были опубликованы в ведущих российских журналах («Сталь», «Тяжелое машиностроение» (2 статьи), «Вопросы материаловедения»). Практические решения защищены патентом РФ RU 2653748 «Хладостойкая свариваемая сталь и изделие, выполненное из нее (варианты)».

Диссертационная работа **соответствует** требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018 г., Постановление Правительства РФ №1168). Автор данной работы Яковлева Екатерина Александровна **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния), профессор, директор «Научно-исследовательского физико-технического института» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23

Раб.тел.: 8-831-4623120

Моб.тел.: +7-903-0603091

e-mail: chuvildeev@nifti.unn.ru

ВЛ

Чувильдеев Владимир Николаевич

«Подпись Чувильдеева Владимира Николаевича заверяю»

Ученый секретарь ННГУ



М.Ю.

Черноморская Л.Ю.

Ознакомлена
28.05.2021
ММ