



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

28.05.2021

№ 03-12/282/1



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор Горного университета
профессор, д.э.н.

Н.В. Пашкевич

2021 г.

НИЦ «Курчатовский институт»		ФНИИ КМ «Прометей»	
Бх. №	1432	в ДЕЛО	
03	06.2021 г.	№	
Осн.	8 л.	подп.	
Прил.			

ОТЗЫВ

**ведущей организации федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Санкт-
Петербургский горный университет» на диссертацию Яковлевой
Екатерины Александровны на тему: «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»**

Актуальность диссертационной работы

Исследования, направленные на повышение стабильности механических свойств, в том числе при отрицательных температурах конструкционных сталей, эксплуатирующихся в арктических условиях, в последнее время вызывают особый интерес. Поскольку стабильность механических свойств и склонность к хрупкому разрушению связаны с деградацией свойств металла в процессе эксплуатации изделий, то весьма актуальным является изучение процессов деформационного старения стали. К настоящему моменту имеется достаточно большой объем информации, касающийся деформационного старения трубных сталей, однако для судостроительных сталей с иной композицией легирования такие исследования практически не проводились.

В последние годы при изготовлении листового проката из низколегированных и легированных сталей в судостроительном производстве преимущественно используется термомеханическая обработка и закалка с прокатного нагрева с отпуском, после которых при операции гибки и правки листового и профильного проката формируется метастабильное состояние стали. Поэтому при эксплуатации такого полуфабриката происходит деградация механических свойств стали вследствие ее старения. С этих позиций рецензируемая работа Яковлевой Е.А., направленная на прогнозирование и оценку изменения структуры и механических свойств стали вследствие ее старения, безусловно, является актуальной.

Научная новизна работы

Основным достоинством диссертационной работы является сочетание ее практической направленности с научной интерпретацией полученных экспериментальных данных, что делает работу актуальной и полезной. Одним из главных научных достижений работы является выявление склонности судостроительных сталей к деформационному старению в зависимости от их фазового состава. Автором показано, что низкоуглеродистые низколегированные судостроительные ферритно-перлитные стали с долей перлитной составляющей в структуре менее 20% и размером зерна 15-20 мкм и марганцево-никелевые ферритно-бейнитные судостроительные стали при содержании в структуре менее 25% реечного бейнита не проявляют склонности к деформационному старению.

Следует отметить попытку расчетного определения возможности протекания естественного старения за счет диффузии углерода в стали. Автор в работе показывает, что даже при комнатной температуре объяснить наблюдаемую скорость естественного старения возможно за счет многократно ускоренной диффузии углерода по ядрам дислокаций (так называемой «трубочной диффузии»). При этом, в отличие от ферритно-бейнитных сталей, для хорошо отпущенных бейнитно-мартенситных сталей указано, что старение существенно влияет лишь после предварительной деформации.

В работе рекомендовано для предотвращения деформационного старения на этапе изготовления листового проката низкоуглеродистой низколегированной ферритно-бейнитной стали, формировать структуру с бейнитом преимущественно гранулярной морфологии (не более 25 % реечного бейнита). А для низкоуглеродистой легированной мартенситно-бейнитной стали Ni- Cr – Cu - Mo композиции, рекомендовано проводить высокий отпуск в полной мере, чтобы обеспечить завершение процессов выделения углерода из твердого раствора, и тем самым предотвратить деформационное старение стали.

Практическая значимость работы

Практическая значимость диссертационной работы сводится к решению нескольких взаимосвязанных задач, направленных на установление закономерностей изменения свойств низкоуглеродистых микролегированных, низколегированных и легированных судостроительных сталей с пределом текучести от 235 до 960 МПа, вследствие деформационного старения. Полученные результаты внедрены в учебный процесс в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Разработанные автором рекомендации по прогнозированию склонности к деформационному старению, ее снижению или предотвращению посредством формирования заданной структуры на этапе производства листового проката, оформлены в виде методических указаний, которые внедрены в Центре сталей для труб и сварных конструкций (в составе Научного центра качественных сталей ГНЦ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»).

Достоверность результатов обеспечена большим объемом выполненных экспериментов, использованием современного оборудования, результатами механических испытаний, проведенных на этом оборудовании в соответствии с требованиями ГОСТов и «Правил...» Российского морского регистра судоходства, применением взаимодополняющих методов исследования структуры, которые подтверждают полученные механические свойства и характеристики работоспособности исследуемых сталей.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа изложена на 226 страницах машинописного текста, логично выстроена и состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и трех приложений, в которых также представлены акты внедрения результатов диссертационной работы. Результаты исследований подтверждены значительным объемом испытаний и исследований структуры и фазового состава судостроительных сталей в процессе старения.

Во введении представлены цели и задачи работы, объект, методы и методология исследований, личный вклад автора, показана актуальность работы. Приведены основные положения на защиту.

В первой главе, имеющей обзорный и постановочный характер, выполнен анализ имеющихся данных о механизмах деформационного старения стали и методах определения склонности к старению; рассмотрено влияние различных технологий производства на склонность стали к старению, представлены известные данные о влиянии структуры на склонность стали к деформационному старению, влиянии деформационного старения на изменение механических свойств стали, в том числе в процессе эксплуатации, сформулированы цели и задачи исследования.

Вторая глава содержит информацию об объекте исследований и методах проведения испытаний. Приведен химический состав низкоуглеродистых низколегированных и легированных судостроительных сталей в широком диапазоне значений предела текучести от 235 до 960 МПа.

Автором проведен комплекс испытаний, включающий всесторонние исследования структуры, в том числе рентгеноструктурный фазовый анализ и метод дифракции нейтронов; для всех состояний стали были исследованы структура и характер ее разрушения.

В третьей главе изложены результаты исследований склонности к естественному (при длительном хранении) и искусственному старению низкоуглеродистых низколегированных судостроительных сталей. Искусственное старение проводили как по режимам, рекомендованным

нормативно-технической документацией, так и с увеличенными: степенью деформации, температурой и продолжительностью изотермической выдержки.

Отдельный раздел в работе посвящен оценке возможности предотвращения или снижения склонности к деформационному старению с помощью дополнительного высокого отпуска стали при 580-620°C после термомеханической обработки, после термомеханической обработки и старения и после длительного хранения. Высокий отпуск должен был привести структуру стали в равновесное состояние посредством выделения и коагуляции карбидной фазы. Однако проведенные исследования не позволили рекомендовать отпуск после ТМО для предотвращения процессов старения или отпуск после деформационного старения для улучшения свойств ферритно-бейнитной стали.

В четвертой главе представлены результаты исследования склонности к старению низкоуглеродистой легированной судостроительной стали с гарантированными значениями предела текучести от 500 до 960 МПа. Автором проведена статистическая обработка достаточно большого массива данных, которая позволила сделать вывод об отсутствии изменения значений работы удара после старения с деформацией 3-5 % и изотермической выдержкой при 250°C.

Впервые в работе установлена необходимость проведения высокого отпуска низкоуглеродистой легированной мартенситно-бейнитной стали Ni- Cr – Cu - Mo композиции для завершения процессов выделения углерода из твердого раствора. Полноту протекания процессов отпуска автор рекомендует определять с помощью параметра Холломона Яффе отдельно для каждой марки стали.

Недостаточность степени отпуска способствует увеличению склонности стали к деформационному старению, проявляющейся в изменении вида диаграммы растяжения, упрочнении и снижении пластичности.

В работе автором учтено, что процессы отпуска в стали могут протекать по-разному в зависимости от того, происходила предшествующая закалка в термической печи или непосредственно после горячей пластической обработки

(закалка с прокатного нагрева), поэтому были проведены исследования по влиянию технологии изготовления листового проката из высокопрочной стали на ее склонность к старению.

Пятая глава диссертации посвящена исследованию работоспособности стали и ее сварных соединений. Автором проведена оценка хладостойкости, определение параметра трещиностойкости, оценка склонности к коррозионному растрескиванию листового проката судостроительных сталей с благоприятной структурой до и после старения. А также проведена оценка склонности к деформационному старению металла зоны термического влияния сварных соединений низкоуглеродистых низколегированных и легированных сталей.

Описано внедрение результатов работы.

Замечания по диссертационной работе

1. На стр. 64 рисунок 3.1.1в пропечатан не полностью.
2. Объем диссертационной работы превышает рекомендуемый и составляет 226 листов.
3. В п.3.6 диссертационной работы автор определяет пробеги углерода при старении в результате диффузии по ядрам дислокаций в зависимости от типа структуры: перлитной, бейниной или мартенситной, однако расчеты для смешанного типа структуры, которым обладают исследуемые стали не приведены.
4. В главе 5, посвященной исследованию работоспособности, автор исследует только сталь с благоприятной структурой, почему не исследована сталь с неблагоприятной структурой остается непонятно.

Диссертационная работа Яковлевой Екатерины Александровны «Прогнозирование склонности к деформационному старению ферритно-перлитных, ферритно-бейнитных и бейнитно-мартенситных судостроительных сталей» представляет собой целостную и законченную работу, выполненную на высоком научном уровне. Она способствует решению задач, актуальных для

безопасной эксплуатации судостроительных сталей, в том числе в арктических условиях, обеспечивающих отсутствие деградации свойств стали вследствие старения.

Перечисленные в отзыве замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы, и во многом вызваны большим объемом разносторонних исследований и испытаний.

По актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа полностью соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями, внесенными постановлением Правительства 21.04.2016 г. № 335), а ее автор – Яковлева Е.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Работа заслушана и обсуждена на заседании кафедры материаловедения и технологии художественных изделий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» 28.04.2021г., протокол заседания № 10.

Отзыв подготовлен профессором кафедры материаловедения и технологии художественных изделий, д.т.н. профессором Пиирайненом Виктором Юрьевичем.

Декан Механико-
машиностроительного
факультета,
доктор технических наук,
профессор



Максаров
Вячеслав Викторович

Доктор технических наук,
профессор,
профессор кафедры
материаловедения и
технологии
художественных изделий



Пиирайнен
Виктор Юрьевич

Heaps

ОТДЕЛ
ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА

В.В. Махорова, В.Ю. Пширайкина, А.В. Сивенкова
Заведующий отделом
производства Е.Р. Яновицкая
" 28 " 05 2021 г.

Ознакомлена
03.06.2021 