

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Костина Станислава Константиновича, «Коррозионное растрескивание в
морской воде высокопрочных сталей различного структурно-фазового
состава», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение
(машиностроение).

Актуальность выбранной темы. При эксплуатации изделий для морской техники из высокопрочных сталей одним из основных и наиболее опасных видов разрушения является коррозионное растрескивание (КР). Несмотря на большой объем работ по разработке мероприятий по выявлению и предотвращению КР, значительная часть данных исследований выполнена на низко- и среднелегированных сталях. В настоящее время разрабатываются новые марки судостроительных сталей – это высокоазотистые нержавеющие аустенитные стали, которые наряду с необходимым комплексом механических свойств обладают высокой сопротивляемостью к КР в морской воде. Для прогнозирования сопротивляемости к КР новых сталей необходима разработка ускоренных методов испытаний. Поэтому постановка данного исследования и его результаты имеют важную научную и практическую значимость, а актуальность не вызывает сомнений.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и основных выводов по работе. Работа изложена на 223 страницах, включая 163 рисунка, 23 таблицы и 2-х приложений. Библиографический список содержит 236 наименований.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, рассмотрена степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость. Изложены сведения о личном вкладе автора и апробация работы.

В первой главе представлен аналитический обзор низко- и среднелегированных судостроительных сталей, а также коррозионностойких нержавеющих аустенитных сталей, легированных азотом. Рассмотрены различные механизмы КР, влияние внутренних и внешних факторов на сопротивляемость материала КР. Подробно изложена постановка задачи и цель диссертационной работы, для достижения которой поставлены пять основных задач.

Во второй главе описаны материалы и методы исследований. В качестве материала для проведения исследований были выбраны 38 вариантов низко- и среднелегированных сталей с различной исходной структурой и пределом текучести от 370 до 1200 МПа. Стойкость к коррозионному растрескиванию нержавеющей азотсодержащей стали была проанализирована на 8 плавках, с композицией легирования 20% Cr, 6% Ni, 11% Mn, 1,5% Mo, N-V-Nb, выплавленных на основе базового материала

Базовый материал	
ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 11/19	в ДЕЛО
«09» 04 2018 г.	№
Док.	6

04X20H6Г11М2АФБ и отличающихся переменным содержанием азота от 0,01 до 0,50 масс.%, повышенным содержанием углерода, а также режимами обработки с целью получения нескольких вариаций структурно-фазового состояния.

Для изучения структуры использовали металлографический и электронномикроскопический (просвечивающая и растровая микроскопия) методы исследования. Для определения фазового состава применяли рентгеноструктурный анализ и магнитный метод. Определение механических свойств проводили при испытаниях на растяжение и ударную вязкость, которые проводили в соответствии с требованиями ГОСТа.

Особое внимание в диссертационной работе Костина С.К. уделено на проведение испытаний на коррозионное растрескивание. Комплекс современных методов испытаний на коррозионное растрескивание включает в себя пять взаимодополняющих методов. Методики ускоренных испытаний сталей разработаны непосредственно с участием автора работы. В качестве основной испытательной среды был выбран 3,5 % раствор NaCl. Для высокотемпературных коррозионно-механических испытаний стали 04X20H6Г11М2АФБ использованы более концентрированные растворы хлоридов натрия, кальция и магния.

В третьей главе изложены экспериментальные результаты исследований низко- и среднелегированных сталей к КР в условиях свободной коррозии, наводороживания при катодной поляризации в растворе 3,5% NaCl и сероводородной среде. Показано, что исследованные стали имеющие феррито-бейнитную, и бейнито-мартенситную и мартенситную структуру с пределом текучести в интервале от 370 до 1000 МПа, устойчивы к КР в растворе NaCl. При потенциале коррозии склонность к КР обнаруживают стали с мартенситной структурой и пределом текучести выше 1000 МПа. Наибольшая склонность к КР отмечена в стали 03Н18К9М5ТО с пределом текучести 1400 МПа.

Отмечено, что полосчатая структура со строченными выделениями сульфидов и нитридов приводит к снижению сопротивляемости КР при каждой поляризации ($E = -1,0$ В) в сталях с феррито-бейнитной структурой и $\sigma_{0,2} = 450$ МПа. Показано, что при наводороживании в сероводородной среде низкоуглеродистые и среднелегированные стали уже при достижении предела текучести 750 МПа проявляют склонность к сероводородному растрескиванию (СВР).

Проанализирован характер изломов образцов после испытаний на КР в 3,5 % растворе NaCl. В конце главы сформулированы выводы.

В четвертой главе описано влияние структурно-фазового состава стали 04X20H6Г11М2АФБ на сопротивляемость к коррозионному растрескиванию. Показано, что сталь с содержанием азота 0,43-0,47%, содержащая в структуре деформированные и рекристаллизованные зерна, после ВТМО практически не проявляет склонности к КР в растворе NaCl, в сероводородной среде, но склонна к КР в 25 % растворе CaCl₂ при

температуре 90 °С. Отмечено, что сталь 04X20H6Г11М2АФБ с полностью рекристаллизованной аустенитной структурой обладает повышенной стойкостью к КР даже в сероводородной среде, в т.ч. при наличии δ -феррита, а также в концентрированном растворе CaCl_2 вплоть до температур 90 °С.

Проанализированы структурные факторы положительно и отрицательно влияющие на склонность исследуемой стали к КР.

Установлено, что холоднодеформированная сталь 04X20H6Г11М2АФБ склонна к сероводородному хлоридному растрескиванию. Подробно изучено КР аустенитной стали 04X20H6Г11М2АФБ в зависимости от содержания δ -феррита при различных методах и условиях испытаний. Показано, что сталь с 7-30% ферритной фазы подвергается КР уже при 70 °С в хлоридном растворе CaCl_2 . При температуре хлоридного раствора 90 °С разрушение происходит в стали, содержащей выше 0,5 % δ -феррита.

Сенсибилизированная сталь 04X20H6Г11М2АФБ с повышенным содержанием углерода до 0,09 % при испытаниях методами консольного изгиба, медленного растяжения в зависимости от степени сенсибилизации проявляет склонность к КР в 3,5 % растворе NaCl и 25% растворе CaCl_2 при комнатной температуре. Установлено, что катодная поляризация с помощью протекторов не предотвращает КР сенсибилизированной стали, а ускоряет его.

Такое негативное проявление склонности к КР сенсибилизированной стали связано с наличием в структуре непрерывных цепочек хромсодержащих нитридов и карбонитридов.

В конце главы сформулированы выводы.

Пятая глава посвящена разработке рекомендаций по выявлению склонности к КР различными методами с учетом структурно-фазового состава сталей.

На основании проведенных испытаний КР низко- и среднеуглеродистых сталей в 3,5 % растворе NaCl при потенциале коррозии сделан вывод, что наиболее эффективным для оценки склонности к КР является метод консольного изгиба при ступенчато возрастающей нагрузке образцов с трещиной. Корректность результатов при данном методе испытаний подтверждена при проведении экспертизы исследований высокопрочных сталей, из которых изготовлены нагруженные конструкции, предназначенные для эксплуатации в морской воде.

Сравнительный анализ результатов исследования склонности к КР азотсодержащей аустенитной стали в зависимости от структурно-фазового состава позволил автору дать рекомендации по наиболее применимым методам испытаний. К примеру: для содержащих δ -феррит сталей – метод консольного изгиба в концентрированном хлоридном растворе наиболее эффективен, а при катодной «перезащите» – медленное растяжение.

Предложены и экспериментально обоснованы механизмы КР азотсодержащей стали с аустенитной структурой с δ -ферритом, а также при наличии границ с большим количеством нитридов и карбонитридов.

Разработанные автором методики испытаний на КР в виде Руководящих документов рекомендованы и внедрены в практику проведения сдаточных и исследовательских работ.

В заключении сформулированы выводы в диссертационной работе, которые включают разработанные методики ускоренных испытаний на КР сталей различных классов, а также рекомендации по выбору методик испытаний.

Научная новизна и достоверность полученных результатов. В качестве наиболее важных научных результатов диссертационной работы Костина С.К., с моей точки зрения, можно указать следующее.

На основании проведенного большого объема экспериментов по изучению стойкости к КР низко- и среднеуглеродистых сталей с различным структурным состоянием в 3,5% растворе NaCl впервые четко определены пороговые значения предела текучести в условиях свободной коррозии, в условиях наводораживания при катодной поляризации в области «перезащиты».

Установлено влияние содержания δ -феррита в структуре и наличие зернограницных выделений карбонитридов азотсодержащей стали аустенитного класса на склонность к КР в условиях свободной коррозии и наводораживания при значительной катодной поляризации.

Использованы новые подходы при разработке методик испытаний на КР при консольном изгибе образцов с трещиной со ступенчато возрастающей нагрузкой при медленном одноосном растяжении цилиндрических образцов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается как использованием современного оборудования и методов исследований, включающих наряду с традиционными более пяти методов испытаний на коррозионное растрескивание, так и большого объема проведенных экспериментов. Полученные результаты лабораторных испытаний согласуются с данными по коррозионно-механическому разрушению эксплуатирующихся в морской воде стальных конструкций.

Практическая значимость работы. Важное значение работы Костина С.К. заключается в создании базы экспериментальных данных по влиянию механических свойств и структурного состояния судостроительных сталей на КР в различных растворах и параметрах коррозионной среды, что важно при выборе конструкционных материалов для проектирования судов и морских сооружений.

Разработанные в диссертационной работе методики испытаний на КР выпущены в виде нормативно-технической документации.

Результаты работы Костина С.К. по коррозионному растрескиванию в морской воде высокопрочных сталей различного структурно-фазового состава внедрены ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и ЦКБ МТ «Рубин», что подтверждается соответствующими актами в приложениях.

Замечания по работе

1. В главе 5 рассматривается гальваническая пара – анод в вершине трещины и катод на ее берегах. Автор приводит довольно часто встречающиеся в литературе рассуждения по поводу того, что при растворении металла в вершине трещины может происходить ее притупление или рост. Необходимо объяснить, когда происходит тот или иной процесс

2. Во многих работах отечественных и зарубежных исследователей отмечается, что для повышения сопротивления коррозии необходимо совместное легирование стали углеродом и азотом в определенных соотношениях (C + N). Учитывался ли этот фактор при выборе химического состава аустенитной стали 04X20H6Г11M2АФБ?

3. Развитие коррозионного растрескивания сильно зависит от содержания никеля в стали. В монографии Ф.Б. Пикеринга показано, что аустенитные стали содержащие 6-10% Ni имеют наихудшую сопротивляемость коррозии. В исследуемой стали 04X20H6Г11M2АФБ содержание никеля от 6,94 до 7,45% находится в этом интервале.

4. В главе 3 (рисунок 3.1) приведена важная зависимость показателя β склонности КР от предела текучести низко и среднеуглеродистых сталей. Стали в областях 3 и 6 имеют структуру отпускаемого мартенсита, но обладают разным пределом текучести. Известно, что имеется несколько структурных факторов способствующих понижению предела текучести. Из текста диссертации неясно, какие из данных факторов влияют на величину предела текучести в сталях с одинаковой структурой отпускаемого мартенсита.

5. На мой взгляд метод консольного изгиба со ступенчато возрастающей нагрузкой образцов, предложенный в работе, не совсем совершенен, так как смешиваются процессы, идущие во времени при постоянном напряжении и при превышении напряжения. В итоге: смесь двух разных механизмов КР - один во времени, другой при повышении напряжения.

6. Основные выводы диссертации перегружены информацией, что затрудняет их восприятие.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, являющееся законченным исследованием.

Автор работы Костин С. К. обладает достаточными научно-техническими знаниями и владеет информацией о современном состоянии материаловедческих исследований в области коррозионной стойкости изделий из высокопрочных сталей при их эксплуатации в морской воде.

Заключение

Диссертация Костина С. К. является научно-квалификационной работой, результаты которой вносят вклад в решение научной технической

проблемы в части оценки склонности к КР в морской воде сталей различного класса на основе разработки методик ускоренных испытаний, моделирующей критические условия эксплуатации.

Содержание диссертации полностью соответствует специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение) и пунктам паспорта специальности: 1. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий; 3. Разработка научных основ выбора материалов с заданными свойствами применительно к конкретным условиям изготовления и эксплуатации изделий и конструкций.

Диссертация написана грамотно и хорошо оформлена. Текст автореферата в достаточной мере отражает содержание диссертации. Полученные результаты соответствуют целям и задачам диссертационной работы и отражены в 4 публикациях автора, в журналах, включённых в перечень ВАК. Диссертация Костина Станислава Константиновича «Коррозионное растрескивание в морской воде высокопрочных сталей различного структурно-фазового состава» является законченной научно-исследовательской работой, имеющей несомненное значение, как для теории, так и для практики материаловедения. Диссертация соответствует требованиям пункта 9 «положения о присуждении ученых степеней № 842 от 24.09.2013, а ее автор Костин Станислав Константинович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Ирина Леонидовна Яковлева

Главный научный сотрудник
лаб. физического металловедения
ФГБУН Института физики металлов
имени М. Н. Михеева УрО РАН

e-mail: labmet@imp.uran.ru
620108, г. Екатеринбург,
ул. С. Ковалевской, 18

Подпись И.Л. Яковлевой

Яковлева

и.о. у. Ковалевской

и.о. у.

к.ф.н.



6

Т.П. Суркова

06.04.2018