Министерство промышленности и торговли
Российской Федерации
Государственный научный центр
Российской Федерации

Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П.Бардина

Федеральное государственное унитарное предприятие
(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»)

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2
Тел. (495) 777-93-01; Факс (495) 777-93-00
ИНН/КПП 7701027596/770101001
E-mail: chermet@chermet.net
www.chermet.net

02.04 2018 г. № 48/342

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ: Первый
Заместитель Генерального директора
ФГУП «ЦНИИчермет
им. И.П. Бардина»

_____ **В.А. УГЛОВ**

«02» апреля 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Костина Станислава Константиновича на тему: «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)

Диссертация Костина Станислава Константиновича посвящена исследованию важной научно-технической проблемы – количественной оценке сопротивляемости коррозионному растрескиванию в морской воде высокопрочных сталей различных систем легирования и структурных классов. Эта задача решается автором на основе разработки методик ускоренных испытаний.

Коррозионное растрескивание (КР) является одним из самых трудно предсказуемых и наиболее опасных видов разрушения, проявляющихся при эксплуатации высокопрочных сталей в морской воде.

Несмотря на разработку специальных мероприятий по предотвращению КР, проблема и в настоящее время остается **актуальной**. Это связано с расширением области применения, в частности, с длительной эксплуатацией судокорпусных конструкций в условиях морского тропического климата, с использованием сталей для строительства морских нефтегазодобывающих объектов, где дополнительную опасность представляет сероводородное растрескивание (СВР). Кроме того, разрабатываются новые марки сталей для судостроения, в том числе, низко- и среднелегированных, а также нержавеющей азотсодержащей аустенитной стали марки 04Х20Н6Г11М2АФБ, отличающиеся от применяемых ранее химическим составом и технологией изготовления. В связи с этим задача прогнозирования сопротивляемости КР новых материалов на базе применения современных ускоренных методов испытаний требует решения.

НИЦ «Курчатовский институт»-
ЦНИИ КМ «Прометей»
ДОУ
Вх. № 1391
«04» 04 2018 г.
Осн. 6 п.
в ДЕЛО
№

Диссертационная работа изложена на 223 страницах и состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы (236 наименований) и двух приложений. Стоит отметить, что главы со второй по пятую имеют собственные выводы, а заключением к первой главе служит постановка задачи.

В первой и второй главе при постановке задач и выборе методов и материалов для исследования автор выполнил обстоятельный анализ современного состояния проблемы определения условий коррозионного растрескивания. Основное внимание уделено анализу влияния на сопротивляемость КР структурно-фазового состава стали, формируемого за счет легирования, термической и деформационной обработки, а также внешних параметров среды, таких как температура, кислотность, концентрация раствора и наличие поляризации структуро- и текстурообразования при горячей прокатке исследуемых сталей.

Важной частью работы являются описанные **в третьей главе** экспериментальные исследования склонности низко- и среднелегированных сталей к КР в 3,5 % NaCl при потенциале коррозии, наводораживании при катодной поляризации и в сероводородной среде. В результате показано, что при испытаниях методом консольного изгиба при ступенчато возрастающей нагрузке 38-ми вариантов сталей исследуемые стали с ферритно-бейнитной, бейнитно-мартенситной и мартенситной структурой и соответствующими значениями предела текучести в интервале от 370 до 1000 МПа устойчивы к КР в 3,5 % NaCl. Появление склонности к КР в 3,5 % NaCl при потенциале коррозии обнаружено в сталях при формировании мартенситной структуры, когда величина предела текучести достигает 1000 МПа и выше. В условиях наводораживания при катодной поляризации склонность к КР наблюдается при меньших значениях предела текучести 750-800 МПа в сталях с бейнитно-мартенситной структурой.

В четвертой главе большой научный интерес представляет вывод, что механизм КР нержавеющей азотсодержащей аустенитной стали марки зависит, главным образом, от ее структурно-фазового состава и коррозионной среды:

- для сенсибилизированной стали в хлоридных растворах характерно межкристаллитное КР, обусловленное анодным растворением обедненных хромом границ зерен;

- в концентрированном горячем растворе $CaCl_2$ механизм КР связан с ростом трещин из питтингов, первоначально образовавшихся на стали при наличии скоплений дислокаций (в холоднодеформированном состоянии), карбонитридов (в стали ЗПН), различия в питтингостойкости отдельных фаз (в стали с δ-ферритом);

- при значительной катодной поляризации в 3,5 % растворе NaCl во всех отмеченных случаях механизм КР - водородный, причем степень чувствительности к

наводораживанию зависит от насыщенности структуры «водородными ловушками» (частицами карбонитридной фазы и δ-ферритом).

Особо необходимо отметить **пятую главу**, посвященную разработке рекомендаций по выявлению склонности к коррозионному растрескиванию различными методами с учетом структурно-фазового состава сталей. Автор показал хорошие навыки экспериментатора при назначении режимов эксперимента, а также при анализе и интерпретации полученных данных.

В результате выполненных исследований, расчетов, экспериментов и анализа результатов в диссертационной работе разработаны и научно обоснованы практические рекомендации по выбору методик испытаний на КР, включая выбор схемы нагружения и геометрию образцов в зависимости от структуры стали.

Диссертантом получены результаты, обладающие существенной научной новизной. Кроме описанных выше результатов, касающихся выявленного влияния предела текучести низко- и среднеуглеродистых сталей на стойкость против КР при потенциале коррозии и при катодной поляризации, большой интерес вызывают установленные закономерности влияния на стойкость против КР структурного состояния азотсодержащей стали аустенитного класса. Показано, что присутствие в структуре такой стали до 30 % ферритной фазы или деформационной структуры (без мартенситного превращения), полученной при холодной прокатке (со степенью до 46 %), не вызывает КР в 3,5 % NaCl при потенциале коррозии. При значительной катодной поляризации (E = -1,0 В по нормальному водородному электроду) присутствие более 0,5 % δ-феррита и структуры наклепа (при степени холодной деформации 26 % и более) или зернограничных выделений карбонитридов приводит к КР.

Важным, как с научной, так и с прикладной точек зрения, результатом является разработка адекватных методик оценки стойкости против КР, а также рекомендации по наиболее эффективному применению методов испытаний высокопрочных сталей с различной структурой для выявления склонности к КР.

Интересными и достаточно обоснованными представляются предложенные автором механизмы КР:

– для низко- и среднелегированных сталей в 3,5 % NaCl при потенциале коррозии – ступенчатый механизм, основанный на последовательном протекании процессов локального анодного растворения, гидролизе продуктов коррозии и механическом разрушении наводороженного металла в вершине трещины;

– для аустенитной азотсодержащей стали, содержащей δ-феррит: при катодной поляризации разрушение идет по водородному механизму с образованием и ростом

коррозионных трещин в ферритной фазе, в значительно большей степени, чем аустенит, склонной к охрупчиванию при наводораживании. В концентрированном горячем хлоридном растворе КР развивается по анодному механизму: инициирование и рост трещин происходит в аустените, характеризующемся более низким индексом питтингостойкости PRE по сравнению с δ-ферритом.

Практическая значимость работы также не вызывает сомнений и заключается, в частности, в создании базы экспериментальных данных по влиянию механических свойств судостроительных сталей с различной структурой на стойкость к КР в 3,5 % растворе NaCl и сероводородсодержащей среде, которая может применяться при разработке новых и выборе существующих конструкционных материалов для проектирования и строительства судов и морских сооружений и оценке возможности продления ресурса морской техники с длительным временем эксплуатации.

С практической точки зрения также очень важно, что разработанные в работе методики испытаний на коррозионное растрескивание выпущены в виде нормативно-технической документации (НТД):

- Руководящий документ «Определение склонности сталей и сварных соединений к коррозионному растрескиванию методом консольного изгиба при ступенчатом нагружении. Методика»;

- Руководящий документ «Определение склонности сталей к коррозионному растрескиванию методом одноосного растяжения при медленном деформировании. Методика».

Результаты диссертационной работы Костина Станислава Константиновича рекомендованы и внедрены в практику проведения сдаточных и исследовательских испытаний, выполнения экспертизных работ, что подтверждено актами внедрения. Разработанная НТД включена в перечень применяемых методик ФГУП «Крыловский государственный научный центр» для проведения аттестационных испытаний («Технология проведения аттестационных испытаний металлических корпусных материалов для кораблестроения»).

Полученные данные о стойкости к сероводородному растрескиванию судостроительных сталей позволяют расширить область их применения, рассматривая данные материалы для конструкций в нефтегазодобывающей отрасли, в первую очередь, в морских условиях.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается применением современных исследовательских методов и оборудования, а также большим объемом экспериментальной базы.

К работе имеются следующие замечания:

1. Недостаточно полным представляется исследование влияния структурных характеристик на стойкость против КР низко- и среднеуглеродистых сталей. Указано влияние плотности дислокаций, которая закономерно возрастает при переходе к более высокому уровню прочности. Отмечено также отрицательное влияние на стойкость против КР полосчатости из строчечных сульфидов, нитридов и других неметаллических включений. В то же время, неметаллические включения в современных сталях отличаются многообразием. Часть из них, несмотря на малые размеры, могут создавать в матрице вокруг включения повышенный уровень растягивающих напряжений и являться активными ловушками водорода, повышая склонность стали к КР, особенно в условиях катодной поляризации.

2. В работе не был использован метод термокинетического анализа различных фракций водорода. Использование такого метода позволило бы лучше понять механизмы КР различных сталей, выявить неблагоприятные компоненты структуры, снижающие стойкость против КР.

3. Из представленных в работе результатов следует, что при близком уровне предела текучести (1000-1100 МПа) показатель стойкости против КР изменяется в достаточно широких пределах (от 0,7 до 0,9). Можно предположить, что один и тот же уровень прочности может быть достигнут за счет разных механизмов. Кроме формирования мартенситной структуры, целесообразно учитывать вклад в упрочнение таких характеристик, как дисперсность структуры, присутствие в стали выделений избыточных фаз, вызывающих дисперсионное твердение и т.д. Учет таких факторов позволил бы выявить возможности и условия обеспечения высокой стойкости против КР и при таких высоких значениях предела текучести.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы, выполненной на высоком научном уровне.

По результатам диссертации опубликовано 11 работ, из них 4 – в журналах, рекомендуемых перечнем ВАК РФ. Автореферат и публикации достаточно полно отражают содержание, новизну и выводы работы.

В целом, диссертационная работа Костина Станислава Константиновича является законченной научной работой, выполненной на современном уровне. Содержание и тема диссертации соответствуют отрасли «технические науки» и научной специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение). Результаты работы вносят значительный научный вклад в развитие представлений о механизмах коррозионного растрескивания и

направлены на решение важнейших практических задач в области производства и эксплуатации высокопрочных сталей в морской воде.

Диссертация «Коррозионное растрескивание в морской воде высокопрочных сталей различного структурно-фазового состава» соответствует требованиям п.п. 9 и 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842) а её автор, Костин Станислав Константинович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Заключение принято на расширенном заседании Центра физической химии, материаловедения, биметаллов и специальных видов коррозии (ЦФМК) ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина». Присутствовало на заседании 18 чел. Результаты голосования: «за» - 18 чел., «против» - 0, «воздержалось» - 0; протокол № 2 от 22 марта 2018 г.

Директор ЦФМК
доктор физ.-мат. наук, профессор А.И. Зайцев

Зайцев Александр Иванович, доктор физико-математических наук, специальность 01.04.07 - Физика конденсированного состояния, профессор, директор Центра физической химии, материаловедения, биметаллов и специальных видов коррозии
(ЦФМК).
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»;
Адрес: 105005, г. Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2;
Тел/Факс: (495) 777 93 01 / (495) 777 93 00
Email: chermet@chermet.net Web-сайт: www.chermet.net

Заместитель директора ЦФМК
доктор технических наук И.Г. Родионова

Родионова Ирина Гавриловна, доктор технических наук, специальность 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, старший научный сотрудник, заместитель директора Центра физической химии, материаловедения, биметаллов и специальных видов коррозии (ЦФМК).
ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»;
Адрес: 105005, г. Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2;
Тел/Факс (495) 777 93 01 / (495) 777 93 00
Email: chermet@chermet.net Web-сайт: www.chermet.net

Подписи Зайцева А.И. и Родионовой И.Г. заверяю:
Ученый секретарь ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»,
кандидат технических наук Москвина Татьяна Павловна