

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Федотовой Анны Владимировны «Коррозионно-механическое разрушение соединительных деталей нефтепромысловых трубопроводов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из главных требований к трубопроводным системам для добычи, переработки и доставки к потребителю нефти и газа является высокая надежность, долговечность и работоспособность. В большинстве нефтегазовых месторождений содержатся такие агрессивные вещества, как сероводород, углекислый газ, хлориды, присутствует бактериальная зараженность. Все это способствуют сульфидному и водородному растрескиванию, углекислотной и бактериальной коррозии и приводит к преждевременному выходу их строя промышленного и транспортирующего нефтегазового оборудования. Трубопроводные системы состоят из линейных участков, выполненных из труб, а также соединительных деталей (отводы, переходы, тройники). Соединительные детали подвергаются наиболее интенсивному механическому разрушению из-за коррозии, вызванной высокими гидравлическими нагрузками в зонах завихрения и застоя. Поэтому в связи со сложными условиями эксплуатации деталей соединений трубопроводов возникла необходимость замены традиционно используемых для их изготовления сталей 20, 20Ф, 20пс, 17Г2, 09Г2С на стали с эксплуатационными характеристиками не ниже линейных частей, обладающие повышенной стойкостью к коррозионно-механическому разрушению в нефтяных средах. Для организации производства соединительных деталей из перспективных сталей, более устойчивых к коррозии в нефтедобывающих средах, необходимы надежные данные коррозионно-механических испытаний соединительных элементов трубопроводов, что требует проведения значительного объема лабораторных и промышленных испытаний. В связи с вышесказанным тема диссертационной работы Федотовой А. В., направленной на изучение процессов коррозионно-механической поврежденности деталей соединений трубопроводов и выбора оптимальных составов и режимов термической обработки перспективных малоуглеродистых низколегированных сталей с повышенными эксплуатационными свойствами, является очень актуальной.

## НАУЧНАЯ НОВИЗНА И НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

К научной новизне работы можно отнести проведенную сравнительную оценку коррозионно-механических повреждений соединительных деталей и линейных участков нефтепроводов. Определены особенности образования продуктов углекислотной коррозии на стальных поверхностях, покрытых плотным слоем окарины, сформировавшихся при высоких температурах изготовления деталей. Показано, что свойства карбонатов, осаждающихся в продуктах коррозии, присутствующих в аналогичных деталях, существенно отличаются от свойств карбонатов, присутствующих в линейных участках трубопроводов. Впервые получены данные по скорости коррозии каждого типа соединительных деталей в течение различного времени эксплуатации. Установлено, что в застойных зонах соединительных деталей преобладает биологическая коррозия как приоритетный вид разрушения. Значимыми научными результатами диссертации являются выявленные закономерности изменения структуры, механических и коррозионных свойств стали 05ХГБ после закалки от температур 880 и 920 °С и отпуска в интервале температур 300...600 °С. Показано, что структура речного бескарбидного бейнита обеспечивает повышенный комплекс механических свойств и сопротивления коррозионному разрушению стали в нефтепромысловых средах.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Значимым практическим результатом диссертации является разработанный метод исследования продуктов коррозии, позволяющий установить связь между морфологией продуктов коррозии, составом транспортной среды и процессами коррозии металла. По результатам исследований из бесшовной трубы из стали 13ХФА изготовлена опытная партия соединительных деталей трубопроводов с повышенной коррозионной стойкостью. Для повышения сопротивления стали коррозионно-механическому разрушению предложен новый метод термической обработки, включающий двойную закалку и высокий отпуск. Сравнительный анализ интенсивности коррозионно-механических повреждений линейных участков и соединительных деталей трубопроводов позволил оценить надежность и работоспособность нефтепромысловых трубопроводных систем, а также оптимизировать процедуры эксплуатации и обслуживания трубопроводов. По предложенной новой технологии была изготовлена опытная партия отводов из стали 05ХГБ, которая успешно эксплуатируется с середины 2020 года. Данные разработки используются в АО «Трубодеталь» и рекомендованы другим предприятиям-производителям соединительных деталей трубопроводов.



## ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность представленных в диссертационной работе результатов обеспечена тщательной проработкой поставленных задач, применением современного научного оборудования, апробированных стандартных и специализированных методов исследования, а также соответствием полученных диссертантом результатов с известными экспериментальными данными других исследователей. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на российских и международных тематических научных конференциях, а также были опубликованы в ряде авторитетных научных изданий.

## АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и списка литературных источников из 154 наименований. Работа содержит 153 страницы основного текста, 52 рисунка, 17 таблиц и 1 приложение.

*Во введении.* Обоснована актуальность темы диссертации, определены ее цель и задачи, подчеркнута научная новизна и практическая значимость диссертационного исследования, перечислены и структурированы основные положения работы, выносимые на защиту.

*В первой главе.* Проведен аналитический обзор по тематике диссертации и определены цель и задачи исследования. Изложены представления о видах, механизме и кинетике коррозионного повреждения трубопроводов в агрессивных нефтепромысловых средах. Показано, что в соединительных частях трубопроводных систем по сравнению с линейными участками вследствие более высокой гидродинамической нагрузки при смене направления потока транспортируемой жидкости процессы коррозии существенно активизируются. Рассмотрены перспективные составы сталей для соединительных трубопроводных систем и возможности повышения их стойкости в условиях коррозионно-механического нагружения.

*Во второй главе.* Определены основные объекты исследования – перспективные малоуглеродистые низколегированные бейнитные стали 05ХГБ, 08ХМФЧА и 13ХФА для производства соединительных деталей трубопроводов. Сравнительные испытания проводились также на сталях 09ГСФ и 20-ксп, традиционно применяемых в производстве труб и трубопроводной арматуры. Описаны использованные в работе методы структурного анализа, определения механических свойств, проведения коррозионных и промышленных испытаний металла труб и отводов.

*В третьей главе.* Представлены данные долговременных опытно-промысловых испытаний (ОПИ) различных соединительных деталей из стали 13ХФА на коррозионное растрескивание под напряжением и приведены значения информативного параметра коррозионной механики разрушения  $K_{1sc}$ . Результаты ОПИ включенных в одну байпасную линию линейных участков трубы и основных соединительных деталей трубопроводов нефтесборочного коллектора Мамонтовского месторождения Западной Сибири позволили сравнить интенсивность коррозионно-механического разрушения всех компонентов трубопроводных систем в одинаковых условиях эксплуатации. Показано, что скорость коррозионного разрушения соединительных деталей трубопроводов и ее изменение во времени определяется воздействием двух разрушающих процессов: углекислотной и бактериальной коррозии.

*В четвертой главе.* Представлена технология изготовления соединительных деталей с высокими механическими и антикоррозионными свойствами из сварных трубных заготовок. Полученные по этой технологии сварные трубы для нефте- и газопроводов имеют ряд преимуществ перед бесшовными трубами и, в частности, обладают более высокой стабильностью размеров и стойкостью к коррозии внутренней поверхности. Установлено, что использованная технология формообразования отводов из сварной трубы-заготовки 05ХГБ обеспечивает идентичность структуры и механических свойств по толщине стенки соединительных деталей.

*В пятой главе.* Представлены полученные методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии результаты исследований по выбору оптимального структурного состояния стали 05ХГБ после различных режимов термической обработки, обеспечивающего сочетание высоких механических свойств и стойкости соединительных деталей трубопроводов в углекислых нефтепромысловых средах. С использованием предложенной технологии формообразования сварной трубы-заготовки из стали 05ХГБ и выбранного режима термообработки (закалка с  $920^{\circ}\text{C}$  в воду и отпуск при  $400^{\circ}\text{C}$ ) была изготовлена промышленная партия соединительных деталей для эксплуатации на месторождении Западной Сибири (ООО «Газпром нефть»), на которых с середины 2020 года не выявлено ни одного случая коррозионно-механического повреждения.

*В заключении.* Сделаны выводы и представлены основные научные и практические результаты диссертационной работы. Выводы, сделанные автором, отражают результаты его собственных исследований и соответствуют поставленным задачам.



## СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАБОТЫ УКАЗАННОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Тема диссертационной работы и ее содержание полностью соответствуют паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение, пунктам №1, 3, 5, 6, 9:

п.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».

п.3. – «Разработка научных основ выбора материалов с заданными свойствами применительно к конкретным условиям изготовления и эксплуатации изделий и конструкций».

п. 5. – «Установление закономерностей и критериев оценки разрушения материалов от действия механических нагрузок и внешней среды».

п. 6. – «Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на образцах и изделиях».

п. 9. – «Разработка способов повышения коррозионной стойкости материалов в различных условиях эксплуатации».

## ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Для понимания механизмов коррозионно-механического разрушения было бы целесообразно привести результаты фрактографического анализа поверхности изломов изученных сталей;

2. Нет единообразия в оформлении выводов по работе. Так, в главах 3 и 4 выводы делаются как по разделам 3.1, 3.2 и 4.1, так и по всей главе, а в остальных главах в соответствии с общепринятой практикой - только по главам;

3. В работе не указаны методики определения величин остаточных напряжений и плотности дислокаций, приведенных в таблице 5.2;

4. Не ясно, чем подтверждается приоритет диссертанта на предложенную методику исследования состава и структуры продуктов коррозии, а также на разработанную технологию опытной партии соединительных деталей трубопроводов (публикации, патентные заявки);

5. Цель работы сформулирована недостаточно четко, а разделы Заключение 1 и 3 неконкретны и носят общий декларативный характер;

6. Из выводов по главам и заключения так и не ясно, какая из изученных сталей и какой режим термической обработки обеспечивают наибольшее сопротивление соединительных деталей трубопроводов коррозионно-механическому разрушению;

7. В Главе 5 приведено большое количество изображений микроструктур стали 05ХГБ после закалки и различных температур отпуска, полученных методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Однако описание результатов структурных исследований выполнено довольно фрагментарно.

Данные замечания, часть которых носит рекомендательный характер, не снижают общей положительной оценки диссертации, выполненной на высоком научно-методическом уровне.

### ОФОРМЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация подготовлена в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии по проверке кандидатских диссертаций и ГОСТ Р 7.0.11 – 2011. Содержание диссертации представлено на достаточно высоком научном уровне и убедительно аргументировано. Работа написана грамотным научно-техническим языком и снабжена качественным иллюстративным материалом. В тексте имеются только отдельные стилистические неточности и ошибки (стр.6, 52, 106, 138). Автореферат соответствует содержанию диссертации, отражает ее основные положения и выводы, дает представление об актуальности темы исследования, цели и задачах, предмете и объекте исследования, научной новизне и практической значимости работы.

### ПУБЛИКАЦИИ ПО РАБОТЕ

Основное содержание диссертации в полной мере отражено в 9 статьях, в том числе 6 статьях в журналах, входящих в Перечень ВАК РФ, 3 статьях в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus. Использование в диссертации материалов других авторов указано в библиографическом списке, а справочные источники приведены в тексте диссертации.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Федотовой Анны Владимировны на тему «Коррозионно – механическое разрушение соединительных деталей нефтепромысловых трубопроводов» является законченной научной квалификационной работой, в которой решена имеющая важное хозяйственное значение научная проблема по выбору оптимального химического состава и структурного состояния перспективных малоуглеродистых низколегированных

сталей, обеспечивающего высокие коррозионные и механические свойства соединительных деталей нефтепромысловых трубопроводов.

Диссертация соответствует всем требованиям ВАК, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. N 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, содержание диссертационной работы полностью соответствует паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение. **Автор работы, Федотова Анна Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).**

*На обработку персональных данных, связанных с защитой диссертационной работы Федотовой Анны Владимировны, согласен.*

Официальный оппонент,  
Заведующий лабораторией деформирования и разрушения  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт  
машинovedения имени Э.С. Горкунова» Уральского отделения Российской академии наук,  
620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34  
Доктор технических наук по специальности  
05.02.01 – Материаловедение (машиностроение), технические науки,  
доцент, главный научный сотрудник,  
Электронная почта: gsv@imach.u  
Тел.: 8 (343) 362-42-17

ский Сергей Викторович

Подпись Гладковского С.В. :  
Ученый секретарь Федерального  
«Институт машинovedения имени  
академии наук ИМАШ УрО РАН,  
кандидат физико-математических н:

ого учреждения науки  
) отделения Российской

В.В. Привалова

