



Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

142717, Московская область, г.о. Ленинский, п. Развилка, пр-д Проектируемый № 5537, зд. 15, стр. 1
тел.: +7 (498) 657-42-06, факс: +7 (498) 657-96-05, e-mail: vniigaz@vniigaz.gazprom.ru, http://vniigaz.gazprom.ru/
ОКПО 31323949, ОГРН 1025000651598, ИНН 5003028155, КПП 500301001

УТВЕРЖДАЮ:

**Заместитель Генерального
директора по науке
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
кандидат технических наук**

Р.Р. Кантиков

2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Шапошникова Никиты Олеговича на тему **«Исследование основных структурных факторов, влияющих на надежность труб из стали 10Г2ФБ, в условиях низкотемпературной эксплуатации нефтегазовой инфраструктуры»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Актуальность диссертационной работы

В современных условиях перед нефтегазовым комплексом РФ стоит задача по добыче трудноизвлекаемых запасов и обустройству нефтегазовой инфраструктуры в северных регионах. Однако критерии и методы испытаний металла труб для оценки их работоспособности существенно различаются в зависимости от условий эксплуатации нефтегазовых месторождений, и при этом в условиях пониженных климатических температур и агрессивных сред сохраняется высокий уровень аварийности труб. Поэтому направление исследований, нацеленных на создание дополнительных методик контроля и унификацию нормативной базы испытаний трубной продукции для повышения надежности труб, является, несомненно, актуальным.

В связи с этим, цель исследования состояла в обеспечении надежности, работоспособности и качества трубной продукции, изготовленной из низколегированных трубных сталей, для низкотемпературных условий эксплуатации, за счет установления закономерностей влияния различных структурных факторов.

ОТЗЫВ

**ВХ. № 9-617 от 19.09.22
АУ УС**

Научная новизна

1. Выявлены основные причины высокой аварийности трубопроводов в условиях пониженных климатических температур и агрессивных сред, состоящие в том, что металл труб имеет недостаточную трещиностойкость, хладостойкость и коррозионную стойкость. Установлены, что причиной резкого снижения свойств металла труб является неравновесность структуры металла труб, заключающаяся в повышенной разнозернистости, полосчатости и загрязненности неметаллическими включениями.

2. Впервые произведен комплексный анализ влияния metallургического качества трубной стали, проката и трубной продукции для трубопроводов и установлены закономерности влияния metallургического качества металла труб на трещиностойкость, механические и коррозионные свойства при пониженных температурах.

3. Установлено влияние интенсивности остаточной текстуры по кристаллографической ориентировке (110) в металле труб из стали типа 10Г2ФБ на низкотемпературную вязкость, трещиностойкость и коррозионную стойкость металла.

Практическая значимость

1. Выполнена экспертная оценка металла поврежденных трубопроводов Арктики, Северных и Северо-Восточных регионов страны. Определено, что основными причинами ускоренного выхода из строя являются коррозионные повреждения и недостаточная хладостойкость и трещиностойкость металла труб.

2. Выполнены комплексные исследования металла труб из стали 10Г2ФБ после эксплуатации 25-40 тыс. час. в диапазоне от 20 до минус 60 °C; определены коррозионные, механические свойства и трещиностойкость, установлена взаимосвязь между этими свойствами и особенностями структурного состояния стали, размерами неметаллических включений, распределением ниобия между твердым раствором и включениями.

3. Проведены исследования остаточной текстуры металла труб, показана взаимосвязь текстурного состояния стали с ее коррозионной стойкостью в агрессивных средах, трещиностойкостью и работоспособностью в условиях низких климатических температур.

4. Экспериментально доказана необходимость введения дополнительного контроля структурного и текстурного состояния металла труб из стали 10Г2ФБ, предназначенных для строительства нефтепроводов, расположенных в северных регионах страны.

5. Разработаны рекомендации по дополнительному объему контроля металла труб, предназначенных для строительства трубопроводов Северного исполнения. Предложенные рекомендации используются в новых нормативно-технических документах ПАО «ГАЗПРОМНЕФТЬ» (акт внедрения ООО «Газпромнефть НТЦ» от 15.05.2022 г.).

Достоверность результатов обеспечена тем, что исследования металла труб трубопроводов северного исполнения проведены с использованием современного оборудования, а результаты обработаны с использованием статистических методов. Сформулированные гипотезы и обобщения основаны на фундаментальных представлениях о структуре и свойствах материалов.

Личное участие автора

Основные этапы исследования, включая постановку цели и задач, подготовку объектов исследования, проведение экспериментов, обсуждение и анализ полученных результатов, проводились с непосредственным участием автора работы. Все экспериментальные результаты, включенные в диссертацию, получены либо самим автором, либо при его непосредственном участии. Анализ полученных результатов и подготовка публикаций выполнена диссертантом как лично, так и в составе коллектива авторов.

Результаты диссертационной работы достаточно полно освещены в 18 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий из перечня ВАК, в 10 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Кроме того, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов по работе и списка литературы из 169 наименований, изложена на 154 страницах машинописного текста, содержит 47 рисунков и 28 таблиц, 1 приложение. Автореферат полностью отвечает содержанию диссертации.

Во введении автором обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы и задачи исследований, показаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлена структура диссертации. Приведены основные положения, выносимые на защиту, и указан личный вклад автора в исследования, проведенные по теме диссертации.

В первой главе проведен анализ требований, предъявляемых к металлу труб с учетом усложнения условий эксплуатации месторождений и транспортировки. Также рассмотрены этапы развития трубных сталей с точки зрения применяемых составов стали и технологии производства при выплавке и прокатке металла, что в целом определяет его структурное состояние. Выполнен анализ аварий трубопроводов при низких климатических температурах. Основным результатом анализа является то, что несмотря на формальное соответствие свойств металла труб требованиям нормативных документов, металл труб не обладает требуемой надежностью, а разрушение труб происходит по причинам, обусловленным их metallurgическим качеством. Показано, что для условия низких климатических температур и агрессивных сред требования к механическим свойствам могут оказаться недостаточными. Кроме того, отмечено, что в ранее разработанных

технических условиях (ТУ) на трубы отсутствуют требования к структурным параметрам. Однако в этой связи необходимо указать, что в современных ТУ на трубы в обязательном порядке указываются требования к параметрам структуры, таким как величина действительного зерна феррита, полосчатость структуры и загрязненность металла неметаллическими включениями. В конце первой главы диссертации представлены цель и задачи исследования, сформулированные на основании проведенного анализа.

Во второй главе представлены материалы и методы исследования металла труб. Исследование проводили на материале темплетов от восьми труб большого диаметра из стали 10Г2ФБ после их эксплуатации в течение 25-40 тыс. час, что позволило получить различные сочетания структурного состояния и механических и коррозионных свойств металла. Представлено описание методик для определения механических свойств, исследования структуры, оценки коррозионной стойкости металла труб. Интерес представляют электрохимические исследования коррозионных свойств в соответствии со стандартами ASTM (G3, G5, G59, G102) в деаэрированном растворе 5 % NaCl без и с насыщением CO₂.

Третья глава содержит анализ причин ускоренного выхода из строя труб нефтепроводов различного назначения из стали 10Г2ФБ, что проводили путем оценки низкотемпературных механических свойств (низкотемпературной вязкости, трещиностойкость (CTOD)) и исследований структуры металла. При исследовании изломов образцов установлено влияние параметров структуры на характер разрушения. В результате установлено, что пониженные свойства металла труб имеют своей причиной неблагоприятное структурное состояние металла, а именно неравновесность структуры и повышенный размер и большое количество неметаллических включений. Это приводит к возникновению сложнонапряженных состояний в структуре металла, снижают коррозионную стойкость и хладостойкость стали. Сделан закономерный вывод о том, неблагоприятное структурное состояния металла отдельных труб приводит к появлению в эксплуатируемом трубопроводе зон металла, склонных к хрупкому низкотемпературному разрушению; это приводит к снижению надежности и долговечности трубопровода.

Структурные исследования для определения формы и размера зерна феррита, разнозернистости, полосчатости структуры позволили провести ранжирование металла труб из стали 10Г2ФБ по параметрам структуры. Данные по параметрам структуры были сопоставлены с уровнем низкотемпературных вязкости и трещиностойкости металла труб. В результате выявлена однозначная зависимость низкотемпературных вязкости и трещиностойкости металла труб стали 10Г2ФБ от неравновесности ее структуры, а также повышенного количества неметаллических включений и их крупного размера. Кроме того, установлено, что обнаруженные включения

являются комплексными соединениями на основе системы Al-Ca-Mg-O и Ca-Al-S-O, что находится в хорошем соответствии с данными других работ.

Следует отметить раздел исследования, посвященный анализу состояния ниобия в составе избыточных фаз или в твердом растворе. Важным представляется вывод о том, что при связывании Nb в карбонитридах образующихся в высокотемпературной области) его роль в процессе контролируемой прокатки снижается и в металле формируется ферритно-перлитная структура с сильной разнозернистостью, что приводит к ухудшению низкотемпературной вязкости и трещиностойкости.

В результате электрохимических испытаний на коррозионную стойкость и испытаний на стойкость к сульфидному растрескиванию показано, что у сталей с высокой структурной неоднородностью скорость коррозии является максимальной.

На основании проведенных в главе 3 исследований автор сделал совершенно справедливое заключение о том, что структурные (металлургические) факторы играют ведущую роль в формировании комплекса низкотемпературных свойств стали 10Г2ФБ. Поэтому параметры структуры и такие свойства должны контролироваться при поставке труб в регионы с низкими климатическими температурами.

В четвертой главе представлены результаты исследований интенсивности текстуры металла труб из стали 10Г2ФБ, а также дано сопоставление этих результатов с уровнем низкотемпературной вязкости, трещиностойкости и коррозионной стойкости металла. Выявлено, что в основном металле труб из стали 10Г2ФБ имеется определенное различие в интенсивности отражений от серии плоскостей (110) в основном металле труб, что отражает разный уровень остаточной текстуры прокатки.

Интересным, и в определенной мере дискуссионным, представляется вывод о том, что усиление текстурных ориентировок (110) от 1-3 до 12-15%, увеличивает уровень низкотемпературной вязкости и трещиностойкости металла, то есть повышает работоспособность труб в условиях низких климатических температур. Это отмечено в разделе замечаний.

Пятая глава диссертации содержит разработку основных требований к металлургическому качеству металла труб, которые предназначены для эксплуатации в условиях низких климатических температур или агрессивных сред. Автором определены критерии структурного состояния, позволяющие обеспечить необходимый уровень свойств металла труб: фактор разнозернистости – не менее 0,45, полосчатость – не выше 3 балла, максимальный размер неметаллических включений – до 10 мкм, наличие текстурной ориентации металла {110} <001> – не менее 10 %. Данные положения подтверждены при сравнительных исследованиях металла трубных заготовок из сталей 10Г2ФБ, 09Г2С, 13ХФА и X56 API 5L.

В результате автор предложил распространить разработанные требования на всю группу труб нефтяного сортамента, изготовленных из феррито-перлитных сталей и поставляемых на особо ответственные участки нефтепроводов. Это имеет весьма высокое практическое значение для нефтегазовой и трубной отрасли.

В заключении представлены основные выводы по работе.

Замечания по диссертационной работе

1. Автором исследованы трубы одной марки стали одной группы прочности, на основании чего сформулированы требования к различным параметрам микроструктуры. Однако следовало бы провести подобный анализ и для других марок и классов прочности, чтобы распространить эти требования на широкий сортамент труб нефтегазовой отрасли.

2. При оценке микроструктуры автором использованы, в основном, шкальные методы. Правильнее было бы использовать в дальнейшем более современные инструментальные методы количественной оценки, которые находят широкое применение, в том числе в современных отечественных и зарубежных стандартах.

3. Положительное влияние текстурирования на эксплуатационные свойства стали несколько противоречит с известными представлениями, согласно которым интенсификация текстурирования является негативным явлением для конструкционных сталей.

4. Предложение о включении в объем обязательных сдаточно-приемных испытаний определение остаточной текстуры прокатки металла труб представляется сложным для реализации на практике, поскольку метод рентгеновской дифрактометрии требует специального оборудования и высокой квалификации персонала, а результаты часто имеют разброс. Конечно, такие исследования целесообразно проводить на стадии разработки технологии производства металлопроката для труб.

Сделанные замечания не снижают положительной оценки работы, так как не затрагивают ее основные положения и выводы.

Заключение

Рассмотренная диссертационная работа «Исследование основных структурных факторов, влияющих на надежность труб из стали 10Г2ФБ, в условиях низкотемпературной эксплуатации нефтегазовой инфраструктуры» является законченной научно-квалификационной работой в области материаловедения (машиностроение) и полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм., а автор

диссертации Шапошников Никита Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение).

Диссертационная работа заслушана и обсуждена на заседании Корпоративного научно-технического центра развития трубной продукции ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (протокол № 1 от 12 сентября 2022 г.).

Начальник Корпоративного
научно-технического центра
развития трубной продукции

В.А. Егоров

Секретарь,
научный руководитель
междисциплинарного направления
«Эффективное применение трубной продукции
для газовой промышленности»,
главный научный сотрудник, к.т.н.

А.Б. Арабей

Сведения о ведущей организации.

Полное наименование организации	ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ И ГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ - ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ"
Сокращенное наименование организации	ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
Фамилия, имя, отчество руководителя организации	Недзвецкий Максим Юрьевич
Должность руководителя организации	Генеральный директор
Почтовый адрес	142717, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, ГОРОДСКОЙ ОКРУГ ЛЕНИНСКИЙ, П РАЗВИЛКА, ПР-Д ПРОЕКТИРУЕМЫЙ N5537, ЗД. 15, СТР. 1
Телефон	+7 (498) 657 4206 Факс: +7 498 657 9605
Адрес официального сайта в сети «Интернет»	vniigaz.gazprom.ru
Адрес электронной почты	vniigaz@vniigaz.gazprom.ru