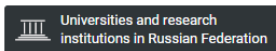




Chernye Metally

COUNTRY

Russian Federation



SUBJECT AREA AND CATEGORY

Materials Science
└ Metals and Alloys

PUBLISHER

Ore and Metals Publishing house

H-INDEX

12

Quartiles

Metals and Alloys



ISSN 0132-0890
www.rudmet.ru

Черные металлы

Издается с 1961 года
(№ 1089)

9.2022



Тема номера:
**80 лет Самарскому
университету им. С.П. Королева
и 70 лет его кафедре технологии
металлов и авиационного
материаловедения (стр. 32-48).**

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом
«Руда и Металлы»

№ 9 (1089), сентябрь 2022 г.

Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

Учредители:

Акционерное общество
«Издательский дом
«Руда и Металлы»

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»

Федеральное бюджетное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический
университет им. Г. И. Носова»

При участии:

ПАО «ММК»
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»
Государственного Эрмитажа

Официальный информационный орган
Федерального УМО
«Технологии материалов»

Редакционный совет:

Главный редактор: В. М. Колокольцев
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев
Зам. главного редактора: А. Г. Воробьев, Е. В. Цирульников
А. М. Беленький, В. Блек (Германия), Ю. Л. Бобарикин (Беларусь), О. И. Борискин, И. В. Буторина,
Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада),
Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов,
А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарев, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Т. Н. Матвеева, А. Е. Пелевин,
Ю. Ю. Пиотровский, И. М. Потравный, А. Н. Савенок (Беларусь), А. В. Серебряков, Е. Ю. Сидорова,
И. А. Султангузин, С. С. Ткаченко, А. Я. Травянов, Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, П. Шеллер (Германия),
Е. А. Яценко

Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников
Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 622

Адрес редакции:
• фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 617
• почтовый: 119049, Москва, а/я № 71
Телефон/факс: (495) 955-01-75
Эл. почта: chernet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения
«Черные металлы» № 9 (1089), сентябрь 2022 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.)
Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»
Отпечатано с предоставленных готовых файлов
в типографии «Кандлер»
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16. стр. 66А.
Тел. (4852) 58-76-33

Дата выхода в свет: 10.10.2022. Формат 60х90/8.
Печ. л. 10,5. Офсетная печать. Бумага офсетная.
Тираж 800 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна
«Реклама» — материал публикуется на правах рекламы
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции
и редсовета журнала

Подписной индекс:
12985 («Пресса России»)

ISSN 0132-0890



9 770132 089006 >

СОДЕРЖАНИЕ

Агломерация

- Д. В. Федоренко, А. А. Воротынцев, Э. М. Щеглов, В. И. Искалин.* Способ повышения прочности агломерата за счет улучшения окомкования шихты 4
- А. И. Насифуллина, Р. Р. Габдулхаков, В. А. Рудко, И. Н. Пягай.* Нефтяная коксующаяся добавка — сырьевой компонент для получения металлургического кокса.
Часть 1. Формирование спекающих свойств нефтяной коксующейся добавки (обзор) 13

Прокатка и другие процессы ОМД

- Ю. Н. Логинов, С. К. Грехов.* Кинематика заполнения штампа при высадке головки стального самонарезающего винта 21

Производство труб

- А. В. Выдрин, Д. Н. Лысов, Е. Н. Кондратьев, А. А. Пузиков.* Реализация расчетно-аналитического метода нормирования расхода металла при производстве бесшовных горячедеформированных труб в условиях АО «ТАГМЕТ» 26

70 лет кафедре технологии металлов и авиационного материаловедения

Самарского НИУ им. С. П. Королева

- С. В. Коновалов, Е. А. Носова.* Юбилей Самарского университета и кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения 32
- Д. В. Жуков, А. А. Мельников, С. В. Коновалов, М. О. Дмитриева.* Причины образования поперечных трещин на продольном сварном шве трубы магистрального газопровода 34
- О. С. Бондарева, О. С. Добычина, А. А. Мельников, С. В. Коновалов.* Фрактографический анализ особенностей разрушения пробивного пуансона и профилегибочного ролика из стали Х12МФ 39
- К. К. Чаплыгин, С. В. Воронин.* Влияние длительного термоциклического воздействия в коррозионной среде на изменение свойств и микроструктуры чугуна СЧ20 45

Металловедение и физика металлов

- В. Ф. Петрова, С. О. Гевлич, Е. А. Пожилова.* Исследование изменений в структуре жаропрочного железосодержащего хромоникелевого сплава в результате длительной эксплуатации 49
- С. А. Зайдес, Хо Минь Куан.* Внеконтактная деформация при маятниковом поверхностном пластическом деформировании конструкционной стали 55
- Н. Г. Колбасников, Н. В. Жуков, С. А. Кузин, В. С. Тетерятников.* О роли карбонитридов в формировании зерна аустенита при непрерывной горячей прокатке трубной стали 61

Экология

- И. В. Буторина, М. В. Буторина.* Наилучшие доступные технологии по снижению шума в черной металлургии 70
- О. С. Нуржанов, А. Л. Петелин, А. С. Нуржанов, Л. А. Полулях.* Анализ зоны распространения и расчет полей концентраций в атмосфере выбросов мелкодисперсной пыли доменной печи № 4 ОАО «НЛМК» 76

Из истории металлургии

- Е. С. Тараканова.* Второе рождение Ижорских заводов 82

Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по металлургии

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Chemical Abstracts Service

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Scopus, II квартал (2021)

(по версии SCIMAGO)

Причины образования поперечных трещин на продольном сварном шве трубы магистрального газопровода

Д. В. Жуков, руководитель группы сопровождения баз данных¹

А. А. Мельников, доцент кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения², канд. техн. наук

С. В. Коновалов, главный научный сотрудник лаборатории ОНИЛ-4², проректор по научной и инновационной деятельности³, докт. техн. наук, профессор, эл. почта: Konovalev@sibsiu.ru

М. О. Дмитриева, инженер⁴

¹ ООО «Газпром трансгаз Самара», Самара, Россия.

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, Самара, Россия.

³ Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия.

⁴ ООО НИПП «Вальма», Самара, Россия.

Представлены исследования поперечных трещин продольного сварного шва трубы магистрального газопровода, проанализированы причины образования этих дефектов. Проведен сравнительный анализ результатов внутритрубной диагностики и дополнительного неразрушающего контроля с фактическими параметрами трещин на микрошлифах. Выполнены замеры микротвердости металла сварного шва в зоне трещины и на расстоянии до 20 мм от нее в обе стороны, показавшие наличие остаточных напряжений в районе вершины трещины. Методами оптической и электронной сканирующей микроскопии выполнены исследования зоны трещины с определением химического состава основного металла шва и включений в зоне трещины. Полученные результаты позволили классифицировать дефекты как «холодные трещины», образовавшиеся в металле шва через длительный период эксплуатации и развивавшиеся в дальнейшем по механизму коррозионного растрескивания под напряжением.

Ключевые слова: поперечная трещина, холодная трещина, сварной шов, микроструктура, остаточные напряжения, периодическая диагностика, магистральный газопровод.

DOI: 10.17580/chm.2022.09.05

Введение

Единая система газоснабжения (ЕСГ) Российской Федерации имеет протяженность более 176,8 тыс. км, при этом срок эксплуатации значительной ее части (более 67 %) превышает 30 лет [1]. В связи с этим большое значение имеют качество проведения диагностических работ и методы оценки вероятности появления или развития дефектов на магистральных газопроводах (МГ) после длительной эксплуатации. Особенно актуальным является вопрос определения причин и условий их возникновения.

При длительной эксплуатации газопроводы подвергаются процессам старения материала, действию проектных, постоянных и циклических нагрузок. В ПАО «Газпром» разработан и функционирует комплекс организационно-практических мер по управлению техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы. При этом диагностические полевые обследования и лабораторные исследования труб являются одними из основных элементов анализа надежности газопроводов [2]. Своевременная и качественная диагностика позволяет обнаружить развивающиеся дефекты и тем самым максимально снизить вероятность разрушения трубопроводов.

В условиях сложного, разнонаправленного воздействия нагрузок [3], основными из которых для МГ являются подвижки грунта, недостатки технологического процесса производства труб могут получать развитие и в конечном итоге привести к аварии.

Наиболее эффективным методом диагностирования протяженных газопроводов является внутритрубное техническое диагностирование (ВТД). В силу специфики перекачиваемой среды в газотранспортной отрасли используются внутритрубные инспекционные снаряды, в которых реализованы магнитные и механические виды неразрушающего контроля. Сразу после проведения ВТД выполняют контрольную шурфовку для подтверждения и корректировки окончательных результатов, а также контроля выявленных наиболее опасных участков [4, 5]. Следует также отметить, что, несмотря на постоянно возрастающее качество ВТД, результаты внутритрубного контроля не всегда подтверждаются при непосредственном контроле в шурфах.

В настоящее время газопроводы больших диаметров преимущественно выполняют из сварных труб дуговой двусторонней сваркой. Исследования технологий изготовления [6, 7], определение свойств и моделирование образуемых структур металла швов и околошовных зон [8–10], изучение поведения сварных швов с дефектами [11–14] является актуальным и востребованным среди исследователей. При этом практически отсутствуют работы, рассматривающие разрушения на стадии развития дефектов и исследующие реальные причины их возникновения.

Целью данной работы является выявление причин образования поперечных трещин в сварном соединении, анализ результатов ВТД и их сопоставление с фактическим контролем дефектов и металлографическими исследованиями.

Материалы и методика исследования

Анализу и лабораторному исследованию подвергнуты образцы с поперечными трещинами продольного заводского сварного шва, вырезанные из дефектного участка трубы магистрального газопровода. Дефектный участок содержал 17 поперечных трещин, расположенных на сварном шве с внешней стороны. Конструкция трубы диаметром 1420 мм, двухшовная, номинальная толщина стенки 16,5 мм, изготовлена из стали 09Г2ФБ по ТУ 14-3-741-78, класс прочности 56. Продольный стыковой сварной шов выполнен методом двусторонней сварки под флюсом.

Участок магистрального газопровода, на котором смонтирована обследованная труба, введен в эксплуатацию в 1982 г. Дефекты обнаружены при проведении внутритрубной инспекции (ВТИ) в 2019 г., через 37 лет эксплуатации, и подтверждены результатами дополнительного диагностического контроля в шурфе (рис. 1) и в лабораторных условиях.

Рассмотрены и сопоставлены результаты ВТИ, выполненных в 2011, 2014 и 2019 г. Проанализированы результаты обследования в шурфах дефектов такого же типа, проведенного по итогам ВТИ 2011 и 2014 г.

Осуществляли визуальный осмотр, неразрушающий контроль и макроскопический анализ образцов. Отмечены не указанные при полевом шурфовом осмотре особенности дефектных участков. При осмотре использовался поверенный набор инструментов для визуального и измерительного контроля. Ультразвуковой контроль проводили при помощи ультразвукового дефектоскопа «Пеленг-115» (НПК «Луч», Россия).

Измерена микротвердость образцов в зоне распространения трещины по вертикали шва и на расстоянии до 20 мм по обе стороны на стационарном твердомере HV-1000 (TIME Group Inc., Китай) с программным комплексом NEXSYS ImageExpert (НЭКСИС, Россия).

Для проведения оптической и электронной микроскопии подготовлены микрошлифы с участками основного металла, сварного шва с трещиной и бездефектным участком сварного шва. Перед осмотром образцы подвергали травлению 4%-ным раствором азотной кислоты в спирте. Микрошлифы образцов исследовали методом световой оптической микроскопии на бинокулярном оптическом металлографическом инвертированном микроскопе МЕТАМ ЛВ-31 (АО «ЛОМО», Россия). Спектральный анализ структур и фазового состава проводили на растровом электронном

микроскопе TESCAN VEGA SB (Tescan, a.s., Чехия) с применением микрорентгенофлуоресцентной системы VEGA Energy X-act (OXFORD Instruments NanoAnalysis, Великобритания).

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты предыдущих обследований и сопоставление результатов последней ВТД с фактическими параметрами дефектов

Участок газопровода подвергали периодической внутритрубной инспекции магнитными снарядами с 2003 г. Пропуски снарядов также осуществляли в 2007, 2011, 2014 и 2019 г. Проведенные в 2011 и 2014 г. ВТИ показывали трещиноподобные дефекты на соседних трубах, что не было подтверждено при непосредственном дублирующем контроле в шурфах. На исследуемом участке аномалий при прошлых ВТД не выявлено. Внутритрубная инспекция в 2019 г. показала 17 дефектов, сконцентрированных на одной трубной секции (рис. 2) и классифицированных как трещины, глубиной от 22 до 50 % толщины стенки. По данным обследования, дефекты сконцентрированы преимущественно в средней части трубы, на заводском продольном сварном шве, расположенном на 11 ч, рядом с верхней образующей. На противоположном продольном шве, расположенном на 5 ч, дефектов не обнаружено. Протяженность трещин

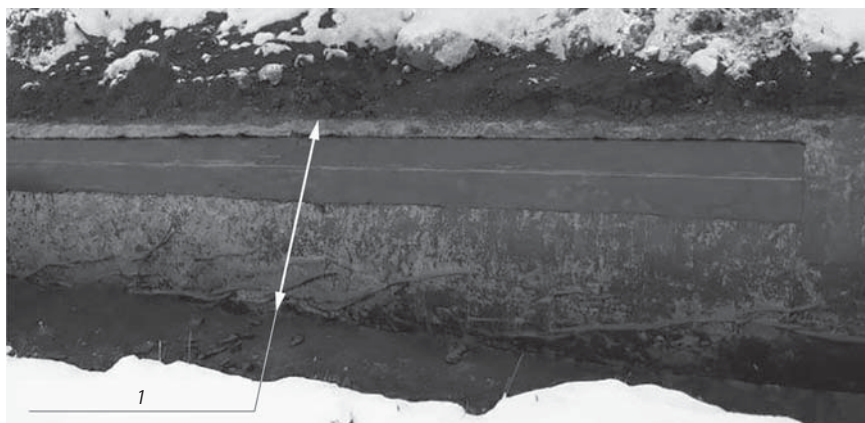


Рис. 1. Вскрытый шов на трубной секции при проведении дополнительного диагностического контроля в шурфе:
1 — диаметр трубы 1420 мм

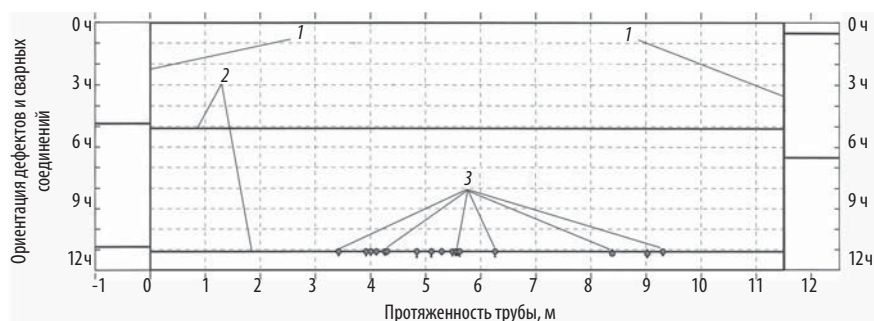


Рис. 2. Положение аномалий в масштабе трубы по результатам внутритрубной дефектоскопии:
1 — кольцевые сварные соединения; 2 — продольные сварные соединения; 3 — дефекты

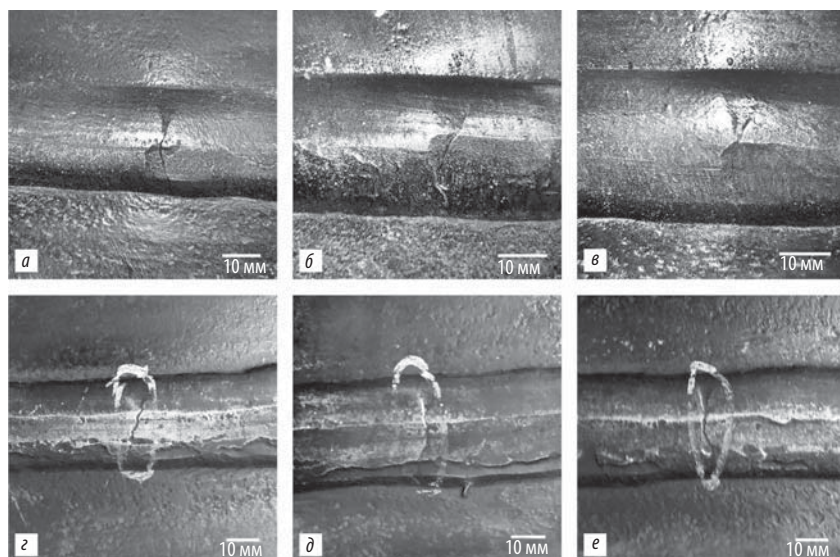


Рис. 3. Места разрушения продольного шва:
а–в, д — двустороннее нарушение формы шва; г, е — одностороннее нарушение формы шва

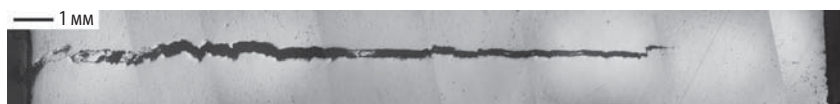


Рис. 4. Вид трещины в поперечном сечении, без травления

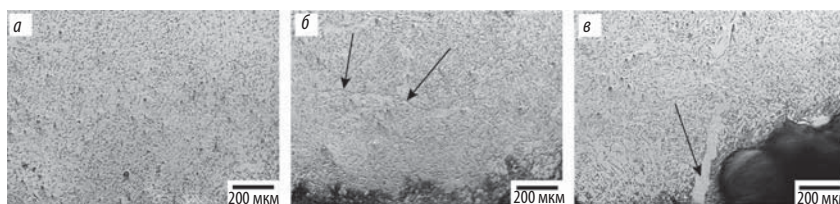


Рис. 5. Структура металла шва:
а — бездефектная зона; б — слияние границ зерен; г — ферритные прожилки

по результатам ВТД составила от 95 до 146 мм. Дополнительно участок определен как имеющий упругопластический изгиб с воздействием растягивающих напряжений в зоне обнаруженных дефектов.

Визуальный осмотр и неразрушающий контроль

На участке проведено шурфовое обследование, по результатам которого подтверждено наличие дефектов и уточнены их физические параметры. Геометрические размеры сварного шва составляли 20 мм в толщину и от 27 до 30 мм в ширину. Поперечные трещины в продольном сварном шве подтверждены визуально и классифицируются по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 [15] как 1021 и 1АСАВ в соответствии с ISO/TS 17845:2004. За пределы сварного шва трещины не выходили.

При визуальном осмотре мест разрушения (рис. 3) отмечен общий коррозионный износ поверхности, что свидетельствует о нарушении изоляции и доступе грунтовых вод к металлу трубы. Однако следует отметить,

что коррозионные повреждения для такого длительного срока эксплуатации незначительны, не превышают 0,5 мм в глубину и не несут существенной опасности для конструкции.

При визуальном осмотре определены характерные отклонения дефектных мест и составлены схемы особенностей формы шва в местах наличия трещин. Особенности заключаются в наличии в зоне трещин искривления и снижения валика усиления с одной стороны шва в форме, близкой к вытянутому треугольнику, во всех дефектных местах. В месте образования трещин (см. рис. 3, а–в, д) отмечено дополнительное отклонение в виде «среза» с другой стороны валика усиления. На рис. 3, г и е обнаружены дефекты сварного шва в виде неполного заполнения валика усиления по объему.

При проведении ультразвукового контроля уточнена глубина распространения трещин. Результаты измерений показали, что дефекты распространялись на глубину до 15 мм, на 75 % глубины шва. Фактические размеры трещин, определенные при внешнем осмотре и приборном обследовании, отличаются от полученных при ВТД как по протяженности, так и по глубине распространения (рис. 4).

Отклонения формы могли образоваться при колебаниях параметров сварочной дуги или отклонениях при подаче сварочного материала, что, в свою очередь, изменяло параметры расплава шва и технологические условия его формирования.

Оптическая микроскопия

Микроструктура металла, характерная для сварных швов, представлена мелкозернистым перлитом (рис. 5, а). Посторонние включения, поры или раковины отсутствуют. Металл рядом с трещиной имеет локальные отклонения в структуре, характеризующиеся наличием сетки феррита по границам зерен параллельно трещине (см. рис. 5, б) и включений ферритных зерен вблизи поверхности разрушения (см. рис. 5, в).

Трещина отличается прямолинейностью, относится к типу «холодной трещины», ее образование могло быть вызвано возникшими при эксплуатации изгибающими напряжениями трубопровода.

Электронная микроскопия

Результаты электронной микроскопии и квантового картирования металла в верхней зоне трещины приведены на рис. 6.

Для количественного определения элементов проведен анализ химического состава в верхней (спектр 1), средней (спектр 2) и нижней (спектр 3) частях шва около трещины, а также анализ в бездефектных областях, расположенных на расстоянии 50 мм (спектры 4, 5 и 6 соответственно). На основании результатов электронной микроскопии и спектрального анализа отклонений в химическом составе по основным легирующим элементам (кремнию, марганцу и алюминию), превышающих допускаемые значения, не выявлено. Во внешней части шва (спектры 1, 2, 4, 5) обнаружено превышение содержания серы и фосфора в 1,5–2,5 раза от указанных в ГОСТ 2246–70 [16] максимально допустимых значений. Это дает основания предположить загрязненность флюса примесями с содержанием данных элементов. Повышенная концентрация серы и фосфора существенно снижает пластические свойства сварного шва, особенное влияние оказывает фосфор, повышающий склонность к хладноломкости. Спектральный анализ состава включений внутри трещины представлен в спектре 7 — внутри трещины обнаружены оксиды железа, образовавшиеся в результате коррозии в условиях воздействия окружающей среды [17]. Результаты приведены в **таблице**.

Измерения микротвердости

Проведено измерение микротвердости микрошлифа образца по вертикали шва с шагом 1,0 мм на расстояниях 0,5; 2; 5; 10 и 20 мм по обе стороны от границы трещины. Измеренные значения находились в диапазоне от 252 до 265 HV_{0,3/10}. Ближе к вершине трещины микротвердость возрастала и достигла 305 HV_{0,3/10}. Повышенная твердость обнаружена в радиусе 4 мм от ее окончания. Такое распределение свидетельствует об упрочнении металла в процессе развития дефекта, что дополнительно подтверждает, что разрушение происходило в процессе эксплуатации.

Выводы

По результатам лабораторных исследований рассматриваемый дефект имеет признаки «холодной трещины», так как присутствуют остаточные напряжения и продукты коррозии внутри дефекта. Место расположения трещины находится в зоне упругопластического изгиба трубопровода, что подтверждено при ВТД. Рассмотренные трещины являются недопустимым дефектом и требуют устранения.

Предпосылкой возникновения трещин в рассматриваемом сварном шве является отклонение в технологическом процессе при производстве, о чем свидетельствуют внешние дефекты формы сварного шва и внутренние, определенные при металлографических исследованиях

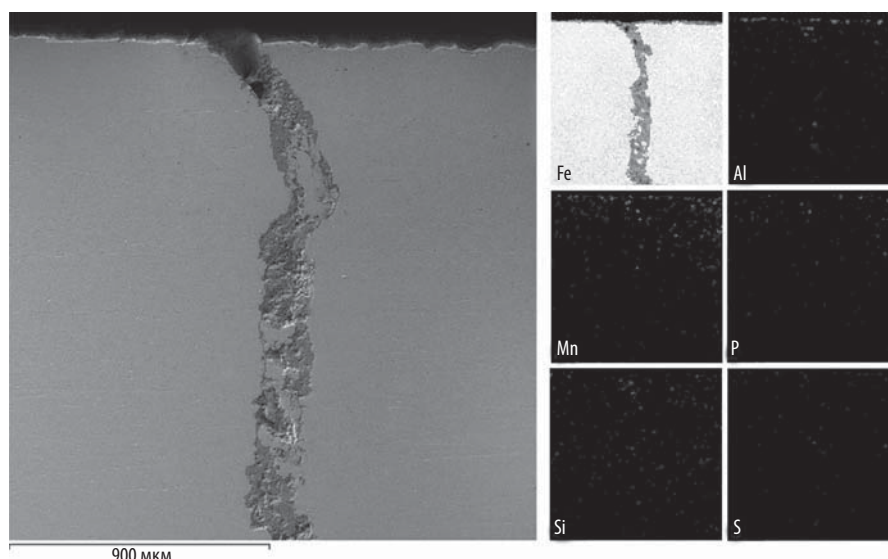


Рис. 6. Электронная микроскопия и квантовое картирование верхней части трещины

Содержание химических элементов, %

Спектр	Химический элемент, %						
	S	P	Al	Si	Mn	O	Fe + C
1	0,06	0,10	0,22	0,70	1,89	–	Ост.
2	0,08	0,06	0,18	0,62	1,83	–	Ост.
3	0,06	–	0,15	0,62	1,75	–	Ост.
4	0,07	0,05	0,13	0,69	1,94	–	Ост.
5	0,04	0,03	0,24	0,66	1,75	–	Ост.
6	0,05	–	0,14	0,71	1,78	–	Ост.
7	0,02	–	–	0,59	1,39	40,39	Ост.

отклонения по химическому составу и микроструктуре. Катализатором разрушения стало приведение конструкции в напряженное состояние под действием подвижек грунта с созданием растягивающих напряжений по верхней образующей трубы.

Проведенные исследования дефектов, анализ условий их возникновения и обнаружения, доказали, что диагностика, проводимая современными средствами внутритрубной дефектоскопии, показывает высокий уровень обнаружения дефектов. Несмотря на значительные расхождения в размерах дефектов, определенных при ВТД и измеренных при непосредственном контроле, достигнута главная цель, поставленная при проведении периодической диагностики: обеспечена безопасная эксплуатация магистрального газопровода за счет своевременного обнаружения, локализации и ликвидации опасных дефектов.

Библиографический список

1. Справочник «Газпром в цифрах». URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/05/118974/gazprom-in-figures-2016-2020-ru.pdf> (дата обращения : 25.03.2022).
2. Харионовский В. В. Надежность магистральных газопроводов: становление, развитие и современное состояние // Газовая промышленность. 2019. № 1. С. 56–68.
3. Савин Д. В., Жуков Д. В., Комаров Д. В., Холодков С. А., Виноградов И. С. Анализ причин разрушения элементов обвязки крановых узлов тру-

- беспроводов с применением численного моделирования // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2021. № 7–8. С. 90–96.
4. Witek M. Validation of in-line inspection data quality and impact on steel pipeline diagnostic intervals // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018. Vol. 56. P. 121–133.
 5. Щербо И. В., Холодков С. А., Бельков Д. Н., Комаров Д. В., Жуков Д. В. Повышение достоверности данных внутритрубного технического диагностирования линейной части магистральных газопроводов // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2020. № 3–4. С. 60–69.
 6. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю. Способы управления формированием сварного шва // *Технологии и материалы*. 2015. № 3. С. 21–26.
 7. Ильясова А. Х. Технология современной сварки деталей трубопровода // *Экспозиция Нефть Газ*. 2012. № 3. С. 26–29.
 8. Wen C., Deng X., Tian Y., Wang Z., Misra R. D. K. Microstructural evolution and toughness of the various HAZs in 1300-MPa-grade ultrahigh-strength structural steel // *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2019. Vol. 28. P. 1301–1311. DOI: 10.1007/s11665-019-3869-1
 9. Рыбаков А. А., Семенов С. Е., Филиппук Т. Н. Свойства металла шва двусторонних сварных соединений труб из микролегированной стали повышенной прочности // *Автоматическая сварка*. 2013. № 5. С. 40–45.
 10. Прыхин Е. И., Шарапова Д. М. Имитационное моделирование структуры зоны термического влияния сварных соединений из низколегированных сталей // *Записки Горного института*. 2014. № 209. С. 239–243.
 11. Круглова А. А., Орлов В. В., Шарапова Д. М. Моделирование тепловых воздействий на зону термического влияния высокопрочной трубной стали К70 при двухпроходной дуговой сварке под флюсом // *Металлург*. 2014. № 9. С. 98–104.
 12. Deliou A., Bouchouicha B. Fatigue crack propagation in welded joints in X70 // *Frattura ed Integrità Strutturale*. 2018. № 46. P. 306–318.
 13. Чучкалов М. В., Юсупов Р. Х., Аскаров Г. Р., Бахтизин Р. Н., Китаев С. В., Аскаров Р. М. Анализ дефектности сварных соединений магистральных газопроводов // *Газовая промышленность*. 2017. № 4. С. 84–88.
 14. Захаров М. Н., Насонов В. А., Морозов Е. М. Критерий разрушения сварных стыковых соединений с внутренними дефектами // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2014. № 7. С. 76–82.
 15. ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012. Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением. Введ. 01.01.2014.
 16. ГОСТ 2246-70. Проволока стальная сварочная. Технические условия. Введ. 01.01.1973.
 17. Zhukov D., Kononov A., Afanasyev A. Morphology and development dynamics of rolled steel products manufacturing defects during long-term operation in main gas pipelines // *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 109. A. 104359.

“Chernye metalli”, 2022, No. 9, pp. 34–38
DOI: 10.17580/chm.2022.09.05

Reasons for formation of transverse cracks in longitudinal weld of a pipe of the main gas pipeline

Information about authors

D. V. Zhukov, Head of the Database Maintenance Group¹;

A. A. Melnikov, Cand. Eng., Associate Professor, Dept. of Metal Technology and Aviation Materials Science²;

S. V. Kononov, Dr. Eng., Prof., Chief Researcher, ONIL-4 Laboratory², Vice-Rector for Research and Innovation³, e-mail: Kononov@sisbiu.ru;

M. O. Dmitrieva, Engineer⁴

¹ Gazprom Transgaz Samara, Samara, Russia.

² Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev, Samara, Russia.

³ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia.

⁴ Research and Development Manufacturing Enterprise “Valma”, Samara, Russia.

Abstract: Investigations of transverse cracks in a longitudinal weld of a main gas pipeline pipe are presented, and the reasons for the formation of defects are analyzed. A comparative analysis of the results of in-line diagnostics and additional non-destructive testing with the actual parameters of cracks in microsections was carried out. The microhardness of the weld metal was measured in the crack zone and at a distance of up to 20 mm from it in both directions, which showed the presence of residual stresses in the region of the crack tip. The methods of optical and electron scanning microscopy were used to study the crack zone with the determination of the chemical composition of the weld base metal and inclusions in the crack zone. The results obtained made it possible to classify defects as “cold cracks” that formed in the weld metal after a long period of operation and developed further according to the stress corrosion cracking mechanism.

Key words: transverse crack, cold crack, weld, microstructure, residual stresses, periodic diagnostics, main gas pipeline.

References

1. «Gazprom in Numbers» Handbook. Available at: <https://www.gazprom.ru/f/posts/05/118974/gazprom-in-figures-2016-2020-ru.pdf> (accessed: 25.03.2022).
2. Kharionovskiy V. V. Reliability of main gas pipelines: formation, development and current state. *Gazovaya promyshlennost*. 2019. No. 1. pp. 56–68.

3. Savin D. V., Zhukov D. V., Komarov D. V., Kholodkov S. A., Vinogradov I. S. Analysis of causes of destruction of elements of the piping valve units of pipelines using numerical simulation. *Territoriya «NEFTEGAZ»*. 2021. No. 7–8. pp. 90–96.
4. Witek M. Validation of in-line inspection data quality and impact on steel pipeline diagnostic intervals. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018. Vol. 56. pp. 121–133.
5. Shcherbo I. V., Kholodkov S. A., Belkov D. N., Komarov D. V., Zhukov D. V. Improvement of data reliability for internal pipe diagnostics in linear parts of main pipelines. *Territoriya «NEFTEGAZ»*. 2020. No. 3–4. pp. 60–69.
6. Krampit A. G., Krampit N. Yu. Ways to control the weld formation. *Tekhnologii i materialy*. 2015. No. 3. pp. 21–26.
7. Ilyasova A. Kh. Technology of modern welding of pipeline parts. *Ekspozitsiya Neft Gaz*. 2012. No. 3. pp. 26–29.
8. Wen C., Deng X., Tian Y., Wang Z., Misra R. D. K. Microstructural evolution and toughness of the various HAZs in 1300-MPa-grade ultrahigh-strength structural steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2019. Vol. 28. pp. 1301–1311.
9. Rybakov A. A., Semenov S. E., Filipchuk T. N. Properties of the weld metal of double-sided welded joints of pipes made of high-strength microalloyed steel. *Avtomaticheskaya svarka*. 2013. No. 5. pp. 40–45.
10. Pryakhin E. I., Sharapova D. M. Simulation modeling of the heat-affected zone structure of welded joints from low-alloy steels. *Zapiski Gornogo instituta*. 2014. No. 209. pp. 239–243.
11. Kруглова А. А., Орлов В. В., Шарапова Д. М. Modeling of thermal effects on the heat-affected zone of K70 high-strength pipe steel during two-pass submerged arc welding. *Metallurg*. 2014. No. 9. pp. 98–104.
12. Deliou A., Bouchouicha B. Fatigue crack propagation in welded joints in X70. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 2018. No. 46. pp. 306–318.
13. Chuchkalov M. V., Yusupov R. Kh., Askarov G. R., Bakhtizin R. N., Kitaev S. V., Askarov R. M. Analysis of defectiveness of welded joints of main gas pipelines. *Gazovaya promyshlennost*. 2017. No. 4. pp. 84–88.
14. Zakharov M. N., Nasonov V. A., Morozov E. M. Fracture criterion for welded butt joints with internal defects. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye*. 2014. No. 7. pp. 76–82.
15. GOST R ISO 6520-1-2012. Welding and allied processes. Classification of geometric imperfections in metallic materials. Part 1: Fusion Welding. Introduced: 01.01.2014.
16. GOST 2246-70. Welding steel wire. Specifications. Introduced: 01.01.1973.
17. Zhukov D., Kononov S., Afanasyev A. Morphology and development dynamics of rolled steel products manufacturing defects during long-term operation in main gas pipelines. *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 109. A. 104359.

