

ПОРИСТОСТЬ ПРИ РЕМОНТЕ РЕЗЕРВУАРОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ И МЕРЫ ПО ЕЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ

© 2018

А.И. Ковтунов, доктор технических наук,

профессор кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

Н.Г. Пудовкина, магистрант кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

А.А. Пудовкин, магистрант кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

А.М. Масляев, магистрант кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: пористость сварного шва; ремонт резервуаров; магистральных и технологических трубопроводов; химический состав металла резервуаров и трубопроводов.

Аннотация: При проведении ремонтных работ металлоконструкций резервуаров, магистральных и технологических трубопроводов системы транспорта нефти и нефтепродуктов наблюдается повышенная пористость сварных швов. В качестве причины повышенной пористости рассматривается изменение химического состава и структуры металлов, возникающее под влиянием эксплуатационных факторов, в том числе при контакте с нефтью и нефтепродуктами.

Доминирующими факторами, влияющими на повышенное порообразование при ремонте элементов системы трубопроводного транспорта, описанными ранее в научной литературе с учетом особенностей сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа, являются: повышенное содержание водорода и углерода в сварочной ванне; высокая скорость охлаждения металла, явления деформационного старения ферритно-перлитных сталей и водородного охрупчивания.

Сделаны выводы о причинах повышенной пористости.

Проведены исследования, подтверждающие увеличенное содержание водорода и углерода в металле под влиянием эксплуатационных факторов, причем в металле со стороны контакта с нефтепродуктами массовая концентрация водорода с внутренней стороны образца более чем в два раза выше массовой концентрации водорода с внешней стороны. Содержание углерода со стороны контакта с нефтью превышает содержание углерода с внутренней стороны на 20 %.

На основе проведенного исследования предложен ряд технологических мер по уменьшению пористости в металле шва в производственных условиях ПАО «Транснефть»: увеличение погонной энергии сварки в пределах установленных диапазонов режимов сварки; предварительная термообработка стали, бывшей в эксплуатации, с последующим медленным охлаждением для уменьшения свободного углерода.

ВВЕДЕНИЕ

В 2015 году в ПАО «Транснефть» была разработана «Программа повышения качества выполнения работ по строительству и ремонту резервуаров стальных для хранения нефти и нефтепродуктов на объектах организаций системы «Транснефть», в которой особое внимание уделяется такому направлению, как проведение анализа и формирование предложений по вопросам повышения качества выполнения строительно-монтажных работ по строительству и ремонту резервуаров на объектах организаций системы «Транснефть» [1].

Несмотря на разнообразие применяемых марок сталей, основную часть трубопроводов и резервуаров, которые находятся в эксплуатации от 15 до 40 лет, изготавливали из низколегированных сталей (10Г2С, 09Г2С, 14ХГС, 19Г, 17ГС, 17Г1С) [2–4]. В настоящее время весьма актуальным является вопрос поддержания работоспособности системы, причем независимо от срока эксплуатации ее отдельных элементов [5–7].

В начальный период эксплуатации состояние резервуаров, магистральных и технологических трубопроводов для транспортирования нефти и нефтепродуктов определяется качеством проектирования и строительства. Влияние этих факторов уменьшается во времени, и доминирующее значение приобретают условия работы системы. В процессе работы изменение техническо-

го состояния транспортной магистрали происходит под воздействием эксплуатационных факторов [8].

Из практики проведения сварочных работ при строительстве и ремонте элементов системы трубопроводного транспорта известно, что повышенная пористость сварных швов наблюдается именно при проведении ремонтных работ. На рис. 1 приведены снимки горизонтальных сварных швов при ремонте резервуаров, полученные при проведении контроля рентгенографическим методом.

Были установлены доминирующие факторы, влияющие на качество сварки, причем основная масса дефектов (свыше 80 %) приходится на поры, шлаковые включения, непровары и их сочетание [9; 10].

Согласно руководящим документам ПАО «Транснефть» РД-25.160.10–КТН-015-15 [11; 12], РД 23.040.00–КТН-386-09 [13], технология сварочно-монтажных работ допускает большой выбор существующих технологий сварки резервуаров и трубопроводов. При проведении ремонтных работ выбор технологии несколько уже, однако и при ремонте, и при проведении строительно-монтажных работ из низколегированных сталей на практике благодаря технологичности и экономичности наиболее часто используется многопроходная механизированная сварка плавящимся электродом (как правило, проволока Св-08Г2С или ее аналоги) в среде защитных газов (как правило, CO₂) [14–16].

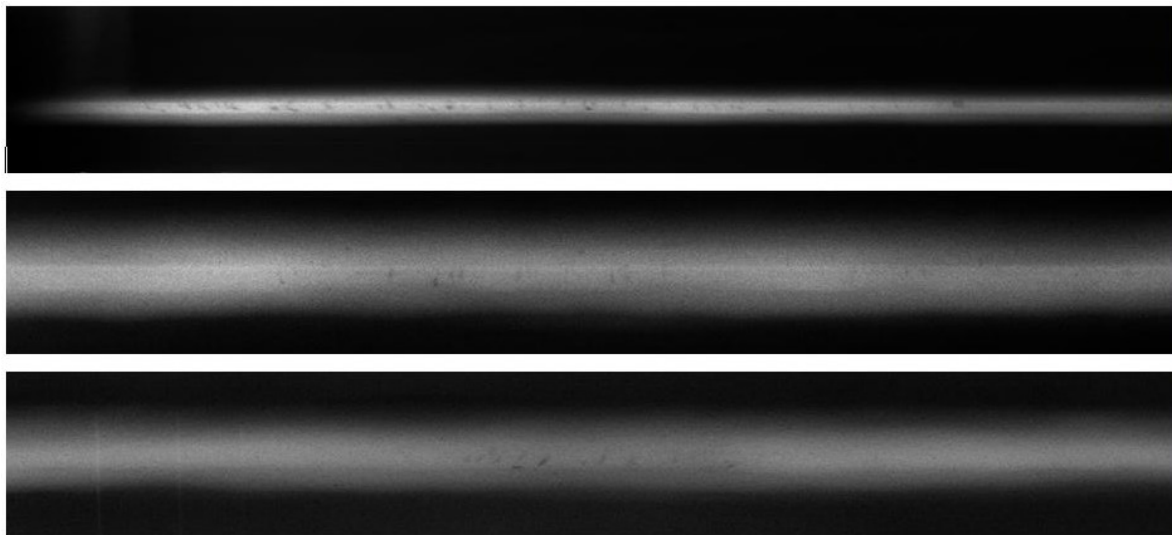


Рис. 1. Результаты контроля рентгенографическим методом горизонтальных сварных швов при ремонте резервуаров

Если считать условия проведения строительных и ремонтных работ в одинаковых климатических и производственных условиях при наличии единых требований и технологии их производства близкими, то причинами повышенной пористости могут быть:

- изменения химического состава и структуры стали под влиянием эксплуатационных факторов, в том числе при контакте с нефтью и нефтепродуктами;
- внешние факторы, возникающие при подготовке к проведению ремонтных работ.

Цель исследования – разработка предложений по применению технологических мер борьбы с пористостью сварного шва в производственных условиях на основе анализа причин повышенной пористости при ремонте резервуаров и трубопроводов для транспортирования нефти и нефтепродуктов с целью повышения качества выполнения строительно-монтажных работ.

Задачи исследования:

- 1) анализ причин увеличения пористости сварных швов при проведении ремонта резервуаров, магистральных и технологических трубопроводов системы транспорта нефти и нефтепродуктов;
- 2) исследование изменения химического и (или) структурного состава основного металла элементов системы трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов;
- 3) формирование предложений по профилактике появления газовых пор.

АНАЛИЗ ПРИЧИН УВЕЛИЧЕНИЯ ПОРИСТОСТИ СВАРНЫХ ШВОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

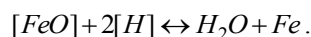
Выделим факторы, влияющие на повышенное порообразование при ремонте элементов системы трубопроводного транспорта, описанные ранее в научной литературе с учетом особенностей сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа.

Известно, что выделяются из кристаллизующегося металла лишь молекулярные газы, которые и способны

вызывать пористость [17–19]. Такими газами являются водород, оксид углерода, кислород, азот.

Вследствие высокой растворимости водорода в жидком металле и большой подвижности его атомов концентрация водорода в металле сварочной ванны может несколько увеличиваться за счет его диффузии из околошовной зоны основного металла.

Поры также могут вызываться реакцией между растворенными в металле кислородом и водородом (реакцией образования водяного пара):



Предполагается, что при высоком содержании в металле углерода и низком содержании водорода поры в швах вызываются окисью углерода, а при низком содержании углерода и высоком содержании водорода – парами воды.

Известно, что азот и водород оказывают активное взаимное влияние, которое описывается реакцией:



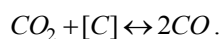
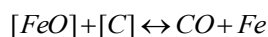
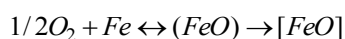
Согласно закону действующих масс, скорость образования NH_3 по этой реакции пропорциональна произведению $[\% N] \times [\% H]^3$. Поскольку здесь водород в третьей степени, то его влияние на пористость будет значительно сильнее.

Таким образом, при повышенном наличии водорода в зоне сварки реакции ассоциации водорода и азота в молекулы могут приводить к повышенному газообразованию, зарождению и развитию пор, а при скачкообразном изменении растворимости водорода и азота при снижении температуры пузырьки газа не успевают полностью выделиться в атмосферу и остаются в шве в виде продолговатых пор.

В литературе в качестве рекомендаций описаны повышенные требования к технологии сварочных работ и сварочным материалам при проведении ремонтов [20]. В частности, это требование касается содержания

остаточного водорода в наплавленном металле: при строительстве требуется обеспечить $3,5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металла, при ремонте – $2,5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$. Это требование может оказывать существенное влияние на пористость сварных швов. Однако применение этой рекомендации на практике затруднено из-за сложности и затратности проведения анализа содержания водорода в свариваемом металле в полевых условиях.

Повышенная пористость может быть вызвана также повышенной концентрацией углерода, а мнение о том, что реакция выгорания углерода служит основной причиной образования газовых включений в плохо раскисленных сталях, является общепризнанным среди металлургов и сварщиков. Углерод может растворяться в жидкой стали как в атомарном состоянии, так и в виде карбида железа. Выгорание углерода от воздействия углекислого газа можно описать как сумму последовательных реакций:



Некоторые исследователи считают, что поры могут вызываться не только интенсивным, но и слишком медленным выделением газов в период кристаллизации металла шва [21]. При слишком медленном выделении пузырьки газа, не успевая вырасти до размеров, обеспечивающих их отрыв от кристаллов и всплытие на поверхность сварочной ванны, остаются в застывающем металле.

При сварке малоуглеродистых и углеродистых сталей в защитных газах и, в частности, при сварке в углекислом газе иногда образуются поры, расположенные у границы сплавления металла шва с основным металлом.

Учитывая, что максимальная пористость при ремонте отмечается в горизонтальных швах стенки резервуаров, можно предположить, что поры зарождаются до начала процесса кристаллизации металла и не успевают выйти из жидкого металла.

Установлено, что условия сварки плавящимся электродом в защитных газах способствуют особенно интенсивному растворению газов в переплавляемом дугой жидком металле [22]. Интенсивность выделения газа из металла, а следовательно, и вероятность образования пор в сварных швах возрастают с увеличением скорости охлаждения металла.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И (ИЛИ) СТРУКТУРНОГО СОСТАВА ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Исследованиями не отмечены количественные изменения содержания кислорода в стали трубопроводов и хранилищ при воздействии нефти и нефтепродуктов [23], в то время как процессы наводороживания и деформационного старения, изменяющие структуру и со-

став металла (в частности, в отношении водорода, азота и углерода), являются предметом постоянного исследования [24].

Атомы водорода также проникают из окружающей среды (нефть, щелочи, кислоты, почвенные электролиты) и от катодных реакций защиты на поверхности труб, накапливаясь в коллекторах (микропустотах, порах, границах зерен и т. п.). При деформации на поверхности металла трубы или поверхности микропустот образуются активные центры, в которых происходят диссоциация молекул водорода и проникновение атомарного водорода вглубь металла.

В литературе довольно подробно описаны изменения механических свойств трубной стали при ее эксплуатации, но крайне редко встречаются исследования изменений химического состава стали при ее контакте с нефтью и нефтепродуктами [23; 24]. В частности, не исследовано количественное изменение содержания газов (водород, азот, кислород) и углерода, оказывающих основное влияние на образование газовых пор при ремонте металлоконструкций.

Исследования химического состава сталей, подвергшихся эксплуатации в режиме работы трубопроводов в течение 30 лет, показали соответствие химического состава металлов нормативным документам независимо от срока эксплуатации.

С учетом вышесказанного наибольший интерес вызывает изменение содержания водорода, азота, кислорода и углерода в стали в период эксплуатации и проведения подготовительных работ при ремонте металлоконструкций.

Рассмотрим описанные ранее в литературе процессы, происходящие с углеродом и азотом при длительной эксплуатации стали в среде углеводородов. При рассмотрении влияния состава среды необходимо учитывать, что нефти представляют собой смесь различных углеводородов с неуглеводородными компонентами (спирты, фенолы, соединения серы, кислорода и др.). Если предельные и непредельные углеводороды совершенно инертны к металлам, то неуглеводородные компоненты вступают с ними в химическую реакцию. Сера может присутствовать в металле в виде шлаковых соединений и также влиять на образование пор. В нефтепроводах в условиях эксплуатации возможно образование конденсата с высоким содержанием сероводорода и других соединений (элементарная сера, меркаптаны), наличие которых приводит к насыщению стали водородом.

В исследованиях, посвященных изменениям механических свойств материалов под воздействием эксплуатационных факторов, отмечаются явления деформационного старения ферритно-перлитных сталей и водородного охрупчивания [23]. Водородное охрупчивание вызвано воздействием водорода и водородосодержащих газовых и жидкостных сред. Эти явления могут оказывать влияние на пористость при ремонте резервуаров и линейной части магистральных нефтепроводов за счет наводороживания и перераспределения атомов углерода и азота.

Металлографические данные показывают, что практически все трубные стали действующих нефтепроводов, независимо от срока эксплуатации, имеют ферритно-перлитную структуру, балльность зерна колеблется в пределах 7–9. Однако при сохранении ферритно-

перлитной структуры в процессе деформационного старения активно происходит распад цементита [24], который впервые был обнаружен и изучен методами рентгеноструктурного анализа с применением специальной методики.

Атомы углерода, которые «освободились» в результате распада цементита, скапливаются в полосах скольжения, уходят в твердый раствор, скапливаются на границах зерен и в микротрещинах, где образуются зародыши новых карбидных частиц.

Уменьшение количества цементита в трубных сталях в процессе эксплуатации составляет по данным рентгеноструктурного анализа порядка 30 % и по электронно-микроскопическим данным – порядка 25 %.

В ряде работ других авторов сделаны аналогичные выводы об изменении свойств трубных сталей после длительной эксплуатации [25].

ПРОВЕДЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ВОДОРОДА И УГЛЕРОДА В МЕТАЛЛЕ

Для количественного анализа и исследования распределения водорода в металлоконструкциях элементов системы трубопроводного транспорта были проведены исследования в образце, вырезанном из стенки резервуара, подлежащего капитальному ремонту. До проведения ремонта резервуар использовался в течение 33 лет для хранения нефти на нефтеперекачивающей станции.

Анализ водорода производился при помощи газоанализатора *G8 GALILEO (Bruker)* методом плавления в соответствии с ГОСТ 17745-90. Метод плавления позволяет оценить полное содержание водорода в материале, включая сильносвязанный металлургический водород. При определении концентрации водорода методом плавления предварительно взвешенный твердый образец плавят в графитовом тигле в потоке инертного газа-носителя (N_2). Выделившаяся смесь газов через систему фильтров подается с газом-носителем к системе детектирования, представляющей собой термокондуктометрическую ячейку, в которой происходит измерение теплопроводностей чистого газа-носителя и смеси газа-носителя с выделившимся водородом. По разнице теплопроводностей определяется объем выделившегося водорода и затем рассчитывается весовая концентрация водорода. Калибровка прибора осуществляется с использованием эталонного материала (стандартных образцов).

Образцы вырезали при помощи отрезного станка *Discotom-6 (Struers)*. Для анализа изменения концентрации по толщине пластины ее разрезали вдоль и затем из полученных двух частей вырезали по 4 образца размером $10 \times 5 \times 5$ мм.

Результаты количественного исследования водорода с внутренней (находившейся в контакте с нефтью) и внешней (контактирующей с антикоррозионным покрытием) стороны показали, что массовая концентрация водорода с внутренней стороны образца составляет 3,1 % (стандартное отклонение $\pm 0,2$), с внешней – 1,4 % ($\pm 0,4$). Значения для каждого типа образцов являются средними по 4 образцам.

При определении химического состава металла того же резервуара было установлено, что содержание угле-

рода с внутренней стороны (0,18 %) превышает содержание углерода с внешней стороны (0,15 %) на 20 %.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРЫ БОРЬБЫ С ПОРИСТОСТЬЮ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПАО «ТРАНСНЕФТЬ»

1. Механизированная сварка осуществляется постоянным током обратной полярности, что снижает возможную пористость по сравнению с другими методами сварки. В основном в сварочной литературе описывается, что повышение плотности тока в сварочной дуге приводит к снижению скорости остывания сварочной ванны и, следовательно, к уменьшению количества газовых пор.

Очевидно, что для уменьшения порообразования необходимо увеличение погонной энергии сварки за счет имеющихся диапазонов режимов сварки, предусмотренных руководящими документами.

Поэтому для решения задачи возможно рассмотреть выполнение сварочных работ при максимально возможной плотности тока в рамках диапазонов (изменение параметров силы тока, напряжения или скорости сварки), установленных руководящими документами.

2. Загрязнения и ржавчина могут попадать в зону сварки со сварочными материалами из основного свариваемого металла. Уменьшение количества загрязнений можно достичь за счет дополнительной обработки сварочных материалов и свариваемого металла.

3. Сварочный шов формируется за несколько проходов, при этом количество газовых пор в валиках различных проходов различно. Для формирования предложений по уменьшению их количества необходимо установить эмпирическим путем наименее плотные валики и рассмотреть меры дополнительной защиты сварочного шва от пористости, такие как дополнительное введение в сварочную ванну раскислителей (например, изменение химического состава проволоки, использование флюсов, легирующих элементов) или выбор другой технологии проведения сварочных работ из допустимых согласно руководящим документам (например, использование порошковой проволоки).

4. Известно, что уменьшения свободного углерода можно достичь путем термообработки с последующим медленным охлаждением. На основании известных теоретических исследований возможно установление оптимальной в производственных условиях технологии для восстановления цементита в стали. Например, термообработка трубных сталей с содержанием углерода $C < 0,2$ %, при 660°C с последующим медленным охлаждением в течение 20 мин, позволяет восстановить цементит до уровня около 50 % от его первоначального количества.

5. Для исключения дефектов сварных швов при ремонте резервуаров и трубопроводов может производиться термообработка сварочных кромок перед сваркой. Рекомендуемый для термообработки интервал температур определен как $300\text{--}400^\circ\text{C}$.

ВЫВОДЫ

Причины повышенной пористости сварных швов при ремонте элементов трубопроводной системы под влиянием эксплуатационных факторов:

1) увеличение количества диффузионного водорода, вызванное воздействием водородосодержащих газовых и жидкостных сред;

2) увеличение количества связанного углерода в виде неметаллических включений;

3) повышенное содержание неметаллических включений в металле, возникающее в процессе деформационного старения при распаде цементита и миграции атомов углерода (углерод и азот могут являться зародышами неметаллических включений).

Безусловно, проведенный анализ не является исчерпывающим, и поставленные ранее задачи требуют дальнейшего исследования в обозначенных направлениях. Однако уже в данный момент можно предложить ряд технологических мер, влияющих на порообразование при проведении капитального ремонта металлоконструкций резервуаров и нефтепроводов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшие исследования могут проводиться в области разработки эффективных мероприятий по снижению содержания водорода и углерода в сварочной ванне при проведении ремонтных работ резервуаров, магистральных и технологических трубопроводов системы транспорта нефти и нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. На повестке дня: программа повышения качества строительства и ремонта резервуаров вертикальных стальных на объектах организаций системы «Транснефть» // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 2. С. 10–11.
2. Ланчаков Г.А., Зорин Е.Е., Пашков Ю.И., Степаненко А.И. Работоспособность трубопроводов. Сопротивляемость разрушению. В 2 ч. Ч. 2. М.: Недра, 2001. 350 с.
3. Ефименко Л.А. Методологические основы оценки свариваемости конструкционных материалов на примере сталей нефтегазового сортамента // Сварочное производство. 2013. № 9. С. 24–27.
4. Притула В.В. Коррозионная ситуация на газовых и нефтепроводах России и их промышленная безопасность // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2015. № 2. С. 6–10.
5. Макаров Г.И. Стратегия технической политики модернизации систем трубопроводного транспорта нефти и газа // Сварочное производство. 2013. № 9. С. 44–48.
6. Зорин Н.Е., Шашалов Д.Н. Сопротивляемость разрушению трубных сталей и их сварных соединений после длительной эксплуатации // Сварочное производство. 2009. № 11. С. 35–36.
7. Пимнев А.Л., Земенкова М.Ю. Проблемы мониторинга надежности резервуаров при технологических процессах транспорта и хранения углеводородов // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2015. № 5. С. 43–47.
8. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / под ред. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
9. Занковец П.В. Совершенствование технологических процессов и качества сварочно-монтажных работ в строительстве математическим моделированием условий объекта сварки и оптимизацией производственных факторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2000. 20 с.
10. Занковец П.В. Степень влияния подготовки и сборки под сварку на качество сварных соединений технологических трубопроводов // Автоматическая сварка. 2011. № 6. С. 48–53.
11. РД 25.160.10–КТН-015-15. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Сварка при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. В 2 ч. Ч. 1. Технологии сварочно-монтажных работ: с изменением 1. М.: Транснефть, 2016. 223 с.
12. РД 25.160.10–КТН-015-15. Технология ремонта магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов с давлением до 6,3 МПа. Сварка при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. В 2 ч. Ч. 2. Методы контроля качества сварных соединений: с изменением 1. М.: Транснефть, 2016. 88 с.
13. РД 23.040.00–КТН-386-09. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. М.: Транснефть, 2009. 221 с.
14. Бузорина Д.С. Расчет параметров режима многопроходной механизированной сварки в защитных газах для получения качественных сварных соединений // Сварка и диагностика. 2014. № 3. С. 13–17.
15. Карасев М.В., Дорошенко Ф.Е., Казаков А.А., Любченко Д.А. Технологические особенности выполнения различных слоев шва при автоматической сварке трубопроводов // Сварка и диагностика. 2014. № 6. С. 45–49.
16. Завалин Д.А., Стеклов О.И., Дзюба О.В., Лозовой В.Г., Щеголев В.А. Анализ применения современных электродов отечественного и импортного производства при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов // Сварочное производство. 2007. № 4. С. 32–39.
17. Технология и оборудование контактной сварки / под общ. ред. Б.Д. Орлова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 536 с.
18. Теория сварочных процессов / под ред. В.М. Неровного. 2-е изд. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 704 с.
19. Гапченко М.Н., Футер И.Е. Пористость сварных швов и меры борьбы с ней. Киев: Гостехиздат УССР, 1953. 76 с.
20. Оськин И.Э., Гончаров Н.Г., Колесников О.И. Требования к сварочным материалам для строительства и ремонта нефтепроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011. № 4. С. 33–35.
21. Кононенко В.Я. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом. Киев: Ника-Принт, 2007. 266 с.
22. Походня И.К. Металлургия дуговой сварки конструкционных сталей и сварочные материалы // Сварочное производство. 2009. № 4. С. 3–15.
23. Гумеров А.Г., Ямалеев К.М., Журавлев Г.В., Вадиков Ф.И. Трещиностойкость металла труб нефтепроводов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. 231 с.
24. Мурзахметова У.А., Абдикаликова Б.К. Изучение структуры и свойств низколегированной стали

09G2C с применение программного обеспечения STATISTICA 10 И DIGIMIZER // Вестник Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева. 2014. № 4. С. 326–332.

25. Иванова В.С., Горицкий В.М., Терентьев В.Ф. Дислокационная структура и деформационное старение в процессе усталости ОЦК-металлов // Взаимодействие между дислокациями и атомами примесей и свойств металлов: сборник научных трудов. Тула: Тул. политехн. ин-т, 1974. С. 181–186.

REFERENCES

1. On the agenda: the program for improving the quality of construction and repair of vertical steel tanks at the sites of organizations of “Transneft” system. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov*, 2016, no. 2, pp. 10–11.
2. Lanchakov G.A., Zorin E.E., Pashkov Yu.I., Stepanenko A.I. *Rabotosposobnost truboprovodov. Soprotivlyaemost razrusheniyu* [Serviceability of pipelines. Resistance to destruction]. Moscow, Nedra Publ., 2001. Ch. 2, 350 p.
3. Efimenko L.A. Methodological backgrounds for the evaluation of weldability of the construction materials using the example of oil and gas assortment steels. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2013, no. 9, pp. 24–27.
4. Pritula V.V. Situation with corrosion on the Russian gas and oil pipelines and with their industrial safety. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika*, 2015, no. 2, pp. 6–10.
5. Makarov G.I. The strategy of engineering policy of modernization of systems of oil and gas pipeline transportation. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2013, no. 9, pp. 44–48.
6. Zorin N.E., Shapshalov D.N. Resistance power of pipeline steels and their welding joints after continuous service. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2009, no. 11, pp. 35–36.
7. Pimnev A.L., Zemenkova M.Yu. Problems of monitoring of reliability of tanks in processes of transport and storage of hydrocarbons. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika*, 2015, no. 5, pp. 43–47.
8. Paton B.E., ed. *Svarnye konstruksii. Mekhanika razrusheniya i kriterii rabotosposobnosti* [Welded Structures. Fracture Mechanics and Criteria of Working Capacity]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1996. 576 p.
9. Zankovets P.V. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov i kachestva svarочно-montazhnykh работ v stroitelstve matematicheskim modelirovaniem usloviy obekta svarki i optimizatsiei proizvodstvennykh faktorov*. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [The improvement of engineering processes and quality of mechanical works in construction using the mathematical modeling of the conditions of welding object and the production factors optimization]. Minsk, 2000. 20 p.
10. Zankovets P.V. Level of effect of preparation and assembly for welding on quality of welded joints for industrial pipelines. *Avtomaticheskaya svarka*, 2011, no. 6, pp. 48–53.
11. RD 25.160.10–КТN-015-15. *Magistralnyy truboprovodnyy transport nefiti i nefteproduktov. Svarka pri stroitelstve i remonte stalnykh vertikalnykh rezervuarov. Tekhnologii svarочно-montazhnykh работ: s izmeneniem I* [Main pipeline transportation of oil and oil products. Welding during the construction and repair of steel vertical tanks. Mechanical works technologies: as amended 1]. Moscow, Transneft’ Publ., 2016. Ch. 1, 223 p.
12. RD 25.160.10–КТN-015-15. *Tekhnologiya remonta magistralnykh nefteprovodov i nefteproduktoprovodov s davleniem do 6,3 MPa. Svarka pri stroitelstve i remonte stalnykh vertikalnykh rezervuarov. Metody kontrolya kachestva svarnykh soedineniy: s izmeneniem I* [The technology of repair works of the main oil and oil products pipelines with the pressure up to 6.3 MPa. Welding during construction and repair works of steel vertical tanks. The methods of control of welding joints quality: as amended 1]. Moscow, Transneft’ Publ., 2016. Ch. 2, 88 p.
13. RD 23.040.00–КТN-386-09. *Magistralnyy truboprovodnyy transport nefiti i nefteproduktov* [Main pipeline transportation of oil and oil products]. Moscow, Transneft’ Publ., 2009. 221 p.
14. Buzorina D.S. Calculation of mode parameters of mechanized multi-pass welding in protective gases for quality of welded joints. *Svarka i diagnostika*, 2014, no. 3, pp. 13–17.
15. Karasev M.V., Doroshenko F.E., Kazakov A.A., Lyubochko D.A. Technological characteristics of performing various weld layers during automatic welding of pipelines. *Svarka i diagnostika*, 2014, no. 6, pp. 45–49.
16. Zavalinich D.A., Steklov O.I., Dzyuba O.V., Lozovoy V.G., Shchegolev V.A. The analysis of application of modern Russian and foreign electrodes during major repair of main pipelines. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2007, no. 4, pp. 32–39.
17. Orlov B.D., ed. *Tekhnologiya i oborudovanie kontaktной svarki* [Technology and equipment of contact welding]. 2nd ed., pererab. i dop. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 536 p.
18. Nerovnyy V.M., ed. *Teoriya svarочnykh protsessov* [Theory of Welding Processes]. 2nd ed. Moscow, MGТУ im. N.E. Bauman Publ., 2016. 704 p.
19. Gapchenko M.N., Futer I.E. *Poristost svarnykh shvov i mery borby s ney* [Weld joint porosity and the measures of its control]. Kiev, Gostekhizdat USSR Publ., 1953. 76 p.
20. Oskin I.E., Goncharov N.G., Kolesnikov O.I. Requirements for welding materials used for building and repair of pipelines. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefiti i nefteproduktov*, 2011, no. 4, pp. 33–35.
21. Kononenko V.Ya. *Svarka v srede zashchitnykh gazov plavyashchimsya i neplavyashchimsya elektrodom* [Gas-shielded welding with consumable and nonconsumable electrode]. Kiev, Nika-Print Publ., 2007. 266 p.
22. Pokhodnya I.K. Metallurgy of arc welding of construction steels and welding materials. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2009, no. 4, pp. 3–15.
23. Gumerov A.G., Yamaleev K.M., Zhuravlev G.V., Vadikov F.I. *Treshchinostoykost metalla trub nefteprovodov* [Crack resistance of metal of pipes of oil pipelines]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2001. 231 p.
24. Murzakhmetova U.A., Abdikalikova B.K. The study of the structure and properties of low-alloy steel 09G2S using the STATISTICA 10 and DIGIMIZER software.

Vestnik Kazakhskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta im. K.I. Satpaeva, 2014, no. 4, pp. 326–332.
25. Ivanova V.S., Goritskiy V.M., Terentev V.F. Dislocation structure and strain aging in the process of fatigue of

BCC-metals. *Vzaimodeystvie mezhdu dislokatsiyami i atomami primesey i svoystv metallov: sbornik nauchnykh trudov*. Tula, Tul. politekhn. in-t Publ., 1974, pp. 181–186.

POROSITY DURING THE REPAIR WORK OF TANKS AND PIPELINES FOR TRANSPORTATION OF OIL AND OIL PRODUCTS AND THE MEASURES FOR ITS PREVENTION

© 2018

A.I. Kovtunov, Doctor of Sciences (Engineering), professor of Chair “Welding, metal forming and related processes”

N.G. Pudovkina, graduate student of Chair “Welding, metal forming and related processes”

A.A. Pudovkin, graduate student of Chair “Welding, metal forming and related processes”

A.M. Maslyayev, graduate student of Chair “Welding, metal forming and related processes”

Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: weld porosity; tanks repair; main and process pipelines repair; chemical composition of metal of tanks and pipelines.

Abstract: While repairing the metallic structures of tanks, main and process pipelines of oil and oil products transportation system, high porosity of welds can be observed. As a reason of high porosity, the change of chemical composition and metal structure resulting from the environmental effect including the contact with oil and oil products can be considered.

The dominant factors affecting the high pore-formation while repairing the elements of pipeline transportation system which were described earlier in the research literature with respect to the special characteristics of continuous wire welding in the carbon dioxide environment are the high hydrogen and carbon content in the molten weld pool, high cooling rate of metal, strain aging of the ferritic-pearlitic steels, and the hydrogen embrittlement.

The conclusion about the reasons for high porosity is made.

The authors carried out some studies which verified the increased hydrogen and carbon content in the metal under the influence of operational factors and what is more, in metal at the side of contact with oil products, the hydrogen content by weight on the inside of sample is twice as big as the hydrogen content by weight on the outside of it. The carbon content on the side of contact with oil is 20 % more than that on the inside.

Based on the research, the authors offered a number of techniques for decreasing the weld metal porosity under factory conditions of PAO “Transneft”: the increase of heat input rate of welding within the established range of welding modes; the preliminary thermal treatment of used steel with the following slow cooling for the decrease of free carbon.