

Ковтунов Александр Иванович

д-р техн. наук, профессор

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»

г. Тольятти, Самарская область

Пудовкин Андрей Андреевич

ведущий инженер

ЦЛНК АО «Транснефть – Дружба»

г. Брянск, Брянская область

Масляев Александр Михайлович

главный сварщик

АО «Транснефть – Приволга»

г. Самара, Самарская область

Пудовкина Надежда Геннадьевна

магистрант

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»

г. Тольятти, Самарская область

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРЫ БОРЬБЫ С ПОРИСТОСТЬЮ СВАРНОГО
ШВА ПРИ РЕМОНТЕ РЕЗЕРВУАРОВ И ТРУБОПРОВОДОВ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Аннотация: доминирующими факторами, влияющими на повышенное поробразование 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. 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.

Ключевые слова: *пористость сварного шва, ремонт резервуаров, магистральные трубопроводы, технологические трубопроводы, химический состав металла.*

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 технического состояния транспортной магистрали происходит под воздействием эксплуатационных факторов [5].

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.

При ремонте и 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) [1; 2; 4; 6; 7].

Согласно руководящим документам ПАО «ТРАНСНЕФТЬ» РД-25.160.10-КТН-015–15, РД 23.040.00-КТН-386–09, 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, CO_2).

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.

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.

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

Таким образом, можно предложить ряд технологических мер, влияющих на порообразование при проведении капитального ремонта металлоконструкций резервуаров и нефтепроводов:

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.

Поэтому для уменьшения порообразования необходимо предусмотреть увеличение погонной энергии сварки за счет имеющихся диапазонов режимов сварки (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 [3]. 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 °С с последующим медленным охлаждением в течение 20 мин, позволяет восстановить цементит до уровня около 50% от его первоначального количества.

Список литературы

1. Анализ применения современных электродов отечественного и импортного производства при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов / Д.А. Завалинич, О.И. Стеклов, О.В. Дзюба [и др.] // Сварочное Производство. – 2007. – №4 (869). – С. 32–39.
2. 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.
3. Гриднев В.Н. Распад цементита при пластической деформации стали / В.Н. Гриднев, В.Г. Гаврилюк // Металлофизика. – 1982. – Т. 4. – №3. – С. 74–87.
4. Расчет параметров режима сварки при производстве труб большого диаметра / М.В. Шахматов, Д.С. Яковлев, А.Н. Маковецкий, С.В. Шандер // Сварочное Производство. – 2016. – №2. – С. 7–11.
5. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / Под ред. Б.Е. Патона – М.: Машиностроение. 1996. – 576 с.
6. Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории / Ф.А. Хромченко // Сварочное Производство. – 2008. – №4. – С. 31–42.
7. Технологические особенности выполнения различных слоев шва при автоматической сварке трубопроводов / М.В. Карасев, Ф.Е. Дорошенко, А.А. Казаков, Д.А. Любочко // Сварка и Диагностика. – 2014. – №6. – С. 45–49.