

УДК 621.762:539.2

К.В. Казак<sup>1</sup>, А.К. Казак<sup>1</sup>, В.В. Диденко<sup>1</sup><sup>1</sup> ООО «Эмаль-Ставан» (Екатеринбург, Россия).

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ЗОНЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ С ВНУТРЕННИМ СИЛИКАТНО-ЭМАЛЕВЫМ ПОКРЫТИЕМ

Проведенные исследования и опыт эксплуатации трубопроводов с силикатно-эмалевым защитным покрытием показали эффективность, экономическую целесообразность и надежность предложенного решения проблемы защиты зоны сварного соединения эмалированных труб с использованием специальной защитной втулки.

**Ключевые слова:** защита от коррозии, силикатно-эмалевое покрытие, сварной шов, зона сварного соединения, соединительные втулки.

Трубопроводный транспорт является основным видом передачи крупных объемов энергоносителей и на сегодняшний день не имеет альтернативы, поскольку не существует другого более надежного и дешевого способа. В мире эксплуатируется более 1 млн км магистральных нефтегазопроводов. Еще больше труб используется на предприятиях химической, металлургической и других отраслей промышленности, а также в коммунальном хозяйстве. Протяженные и металлоемкие магистрали и сети трубопроводов предполагают повышенную вероятность аварий. Трубопроводы России представляют собой стальные сооружения, находящиеся под непрерывным коррозионным разрушительным влиянием как окружающей, так и транспортируемой среды. Анализ аварий показывает, что основными источниками повреждений при эксплуатации стальных трубопроводов являются локальные зоны напряжений – локальная коррозия, трещины коррозионного растрескивания под напряжением, а также деформации при монтажной сборке стыков, образующиеся под

действием рабочих нагрузок [1]. Надежная эксплуатация трубопроводов может быть обеспечена при отсутствии дефектов различной природы: химической и структурной неоднородности тела трубопровода, концентрации напряжений в зоне сварного соединения, наличия дефектов в стенке трубопровода [2].

Различие в коррозионном поведении различных марок сталей проявляется главным образом в сварных соединениях. Это определяется разностью электродных потенциалов трех элементов сварного соединения: основного металла, сварного шва и зоны термического влияния.

В мировой и отечественной практике защита трубопроводов от коррозии осуществляется с использованием четырех основных технологий: повышение коррозионной стойкости используемой стали введением в химический состав легирующих элементов; нанесение защитных покрытий, препятствующих прямому контакту стальной поверхности с коррозионно-агрессивной средой; использование средств электрохимической защи-

ты (создание отрицательного, т. е. катодного электрического поля); введение в транспортируемую коррозионную среду химических ингибиторов [3]. Ни одна из перечисленных технологий полностью не решает проблемы коррозионной защиты, позволяя лишь снизить скорость коррозионного разрушения.

Требованиями государственных стандартов (ГОСТ ISO 9.602-2005 и ГОСТ Р 51164) установлено обязательное совместное применение противокоррозионной изоляции и средств электрохимической защиты от коррозии систем трубопроводов как особо опасных объектов. В то же время единые федеральные требования к техническим параметрам защиты от наружной и внутренней коррозии систем трубопроводов отсутствуют, и вопрос выбора способа защиты решается по-разному, в основном на отраслевом уровне. В результате увеличиваются показатели вероятности коррозионных отказов.

Проблема повышения надежности трубопроводов, предназначенных для транспортировки агрессивных сред, в том числе нефтегазо-

вых смесей обводненной нефти, сточных промышленных вод и пр., а также трубопроводных систем горячего и хозяйственно-питьевого водоснабжения успешно решается путем применения труб с внутренним защитным покрытием. С этой целью сегодня применяются трубы с пластмассовыми, эпоксидными, лакокрасочными, металлическими, песчано-керамическими и силикатно-эмалевыми покрытиями. Данные решения позволили на порядок сократить количество отказов на трубопроводах, уменьшить эксплуатационные расходы, улучшить экологическую ситуацию в целом по стране. Однако применение различных защитных покрытий не позволяет полностью исключить коррозионные процессы на трубопроводном транспорте, так как надежность трубопроводов определяется в первую очередь коррозионной стойкостью внутренней поверхности зоны сварного соединения, защита которой осложняется из-за ее труднодоступности при монтаже трубопроводов, особенно в полевых условиях. Для сохранения внутреннего эмалевого покрытия при сварке разработан ряд способов соединения эмалированных труб: фланцевые, резьбовые, паяные, с использованием нержавеющей колец, шликерный и др. Представленные способы соединений конструктивно и по исполнению сложны, металлоемки и требуют дополнительного оборудования при монтаже.

Результаты исследований и анализ эксплуатации труб с различными видами покрытий показали, что к числу наиболее эффективных и перспективных относятся трубы с силикатно-эмалевым покрытием, которое позволяет обеспечить повышенную коррозионную, износо- и вибростойкость по сравнению с трубами из углеродистых сталей с некоторыми другими видами защитных покрытий, а также трубами из нержавеющей сталей [4]. Накопленный промышленный опыт монтажа и эксплуатации та-



Рис. 1. Общий вид элементов соединения с использованием защитной эмалированной втулки

ких трубопроводов показал, что соединение эмалированных труб обычными методами сварки и сварки с применением шликерной технологии невозможно без возникновения серьезных дефектов эмалевого покрытия. При сварке эмаль подвергается высокотемпературному воздействию сварочной дуги (5000÷7000 °С), от которой она выгорает и частично испаряется. Кроме того, в ходе сварки структура металла в зоне термического влияния становится неоднородной, изменяются условия взаимодействия между металлом и покрытием, в результате чего меняются и условия образования прочного сцепления эмали с металлом. После дальнейшего остывания и затвердевания в покрытии возникают поры, пузыри, микротрещины, а также другие дефекты. При этом необходимо учитывать, что трубопроводы работают при высоких давлениях, в жестких абразивных коррозионно-агрессивных средах,



Рис. 2. Схема соединения труб

содержащих активные ионы, кислые газы и механические примеси. При эксплуатации трубопроводов в результате электрохимической реакции в местах дефекта эмалевого покрытия образуется постоянно расширяющаяся зона коррозии, вследствие чего эмалевое покрытие отслаивается от поверхности трубы. Для решения проблемы защиты зоны сварного соединения трубопроводов с силикатно-эмалевым покрытием была поставлена задача: обеспечить сохранность внутреннего покрытия при сварке, а также антикоррозионную защиту зон сварных кольцевых стыков при монтаже.

Анализ причин отказов (порывов) нефтепроводов и водоводов с силикатно-эмалевым покрытием общей протяженностью 105 км выявил, что большинство из них произошли по следующим причинам:

- внутренняя коррозия по телу трубы из-за несплошности покрытия – 8,7 %;
- наружная коррозия при отсутствии или нарушении наружной изоляции, а также при прохождении трассы трубопроводов в районе линий электропередач – 5,8 %;
- внутренняя коррозия в зоне термического влияния сварного соединения при отсутствии защиты или использовании шликерного способа защиты – 83,2 %.

Именно поэтому разработка и усовершенствование технологии

и способов соединения эмалированных труб сваркой с повышенной коррозионной стойкостью внутренней поверхности соединения является особо актуальной проблемой.

Специалистами ООО «Эмаль-Стан» и ООО НПП «ПромТехЭмаль» разработан и внедрен в полевых условиях (работа выполнялась в творческом сотрудничестве со специалистами ЗФ ОАО «Норильский Никель», АО «ВНИИСТ» и ЗАО «НЕГАС») новый, простой в исполнении, надежный и экономичный способ защиты внутреннего сварного шва трубопроводов с силикатно-эмалевым, керамическим, оксидным или остеклованным покрытием с использованием защитных втулок [5]. Способ согласован с Госгортехнадзором России, с эксплуатирующими организациями, включен в Инструкцию по строительству, эксплуатации и ремонту трубопроводов с силикатно-эмалевым покрытием и рекомендован к использованию при сборке трубопроводов, предназначенных для транспортировки коррозионно-активных сред в нефтяной, газовой, металлургической и химической промышленности, а также в системе ЖКХ.

Технологически процесс соединения труб осуществляется с помощью специальной защитной втулки, имеющей продольный разрез для компенсации разнотолщинности труб, внутреннее и внешнее эмалевое покрытие, радиальный выступ для фиксации и удобства монтажа, а сам процесс монтажа не требует специальных приспособле-

ний при сборке и сварке. Главную роль в предлагаемом соединении эмалированных труб играют конструктивные особенности втулки и технические параметры прилагаемого монтажного шликера. Защита металла сварного шва и зоны термического влияния в процессе сварки при помощи силикатно-эмалевого покрытия соединительной втулки и монтажного шликера способствуют получению достаточно чистого (без включений) металла шва заданного химического состава. Структура металла сварного шва, выполненного под слоем покрытия с использованием защитной втулки, имеет высокую чистоту, большую однородность химического состава как металла шва, так и металла зоны термического влияния, что обеспечивает его высокие механические свойства.

Сборка труб осуществляется следующим образом. На наружную поверхность втулки наносят специальную легкоплавкую эмаль (монтажный шликер), размещают втулку внутри концов труб, при этом поверхности соприкосновения (наружная) втулки и (внутренняя) трубы прижимаются друг к другу за счет аккумулированной энергии сжатия втулки [6]. Сварку труб производят обычным способом. За счет выделяемого тепла при сварке формируется внутреннее антикоррозионное покрытие в виде эмалевого покрытия по всей поверхности контакта соединяемых труб с втулкой. При необходимости монтажа соединения в полевых условиях при отрицательных

температурах (до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) возможно применение специального монтажного шликера силикатной эмали с низкой температурой кристаллизации. Предложенный способ соединения эмалированных труб с защитой сварного шва в сравнении с другими предлагаемыми соединениями является более эффективным, поскольку сварное соединение обеспечивает необходимую прочность и гарантированную защиту зоны сварного шва от коррозии при минимальных затратах без существенного снижения пропускной способности трубопровода (толщина стенки соединительных втулок не превышает 2,0 мм) и не требует дополнительного оборудования.

Специалистами ООО «Эмаль-Стан» освоено промышленное производство защитных втулок для различных диаметров трубопроводов с силикатно-эмалевым покрытием. Втулки поставляются по ТУ 14-2Р-387-2011 в комплекте с монтажным шликером. В последние годы сотни километров трубопроводов различного назначения с внутренним силикатно-эмалевым и остеклованным покрытием смонтированы с использованием защитной соединительной втулки и успешно эксплуатируются в различных регионах нашей страны, в том числе в составе крупнейших нефтегазопроводов «Бованенково – Ухта», «Ванкор – Пурпе» и «Северный поток», а также на различных предприятиях в городах ХМАО, Республики Коми, Нижегородской, Ленинградской и других областей.

#### Литература:

1. Касьянов А.Н. Оценка работоспособности околошовных зон кольцевых сварных соединений трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012.
2. Дубов А.А. Опыт применения бесконтактной магнитометрической диагностики трубопроводов и перспективы ее развития // Контроль. Диагностика. 2014. № 4. С. 64–67.
3. Питула В.В. Коррозионная ситуация на газонефтепроводах России и их промышленная безопасность // Трубопроводный транспорт. Теория и практика. 2015. № 2 (48). С. 6–10.
4. Казак А.К. Защита систем трубопроводов – надежный способ предотвращения техногенных аварий // Мат-лы Всероссийской конференции «Экологические проблемы промышленных регионов». Екатеринбург, 2004.
5. Казак А.К. Развитие технологии соединения систем трубопроводов с внутренним эмалевым покрытием и защитой сварного шва: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2012.
6. Казак А.К. Решение проблемы защиты зоны сварного соединения трубопроводов // Науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития производства нового поколения силикатно-эмалевых покрытий для защиты металлоизделий от коррозии Металл-Экспо – 2006». М., 2007.