

Металлургия и материаловедение

УДК 620.197.6:622.692.4

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛИКАТНО-ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В.Н. Артюшкин, В.М. Авдеев

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены проблемы защиты нефтепромысловых трубопроводов от коррозии. На нефтепромыслах особую опасность представляет внутренняя коррозия трубопровода, так как перекачиваемая агрессивная жидкость имеет высокую минерализацию, большое содержание сероводорода, окиси углерода и других примесей. Проблема защиты от коррозии может быть решена применением труб с силикатно-эмалевым покрытием. В работе рассмотрена установка для нанесения силикатно-эмалевого покрытия с целью защиты внутреннего сварного шва. Проведенные исследования силикатно-эмалевых покрытий на трубах показали, что при толщине покрытия 300–400 мкм обеспечивается защита основного металла труб от коррозии на срок до 40 лет.

Ключевые слова: силикатно-эмалевые покрытия, адгезия, снижение гидравлического сопротивления, защита внутреннего сварного шва.

На нефтепромыслах в системах сбора и подготовки нефти и поддержания пластового давления по трубопроводам перекачиваются минерализованные жидкости с высокой коррозионной активностью. Существенным недостатком стальных труб является их подверженность коррозии. Это ведет к огромной потере металла, сокращению срока службы трубопроводов, увеличению шероховатости внутренней поверхности стенок труб, что вызывает дополнительные энергозатраты на перекачку жидкости.

За последние годы условия эксплуатации промысловых трубопроводов усложнились в связи с резким увеличением концентрации коррозионно-активной пластовой воды. В результате предельный срок службы нефтепроводов и водоводов сократился на 3–4 года, а на отдельных участках сквозные коррозионные повреждения возникают через несколько месяцев после их замены.

В последние десятилетия были введены в эксплуатацию нефтяные и газовые месторождения с высоким содержанием сероводорода, углекислого газа и других агрессивных компонентов, что вызывает повышение опасности коррозионного разрушения трубопроводов, сокращение срока их службы и увеличение эксплуатационных расходов.

Мировая практика защиты труб от коррозионного разрушения накопила значительный опыт по применению мастичных, полимерных, лакокрасочных, сили-

катных и других видов антикоррозионных покрытий.

Защитное изоляционное покрытие должно:

- надежно защищать металл от коррозии;
- быть сплошным, беспористым и долговечным;
- обладать химической нейтральностью к перекачиваемой среде и почвенному электролиту;
- иметь высокую адгезию к металлу;
- предотвращать образование и накопление отложений различных продуктов на внутренней поверхности стенок труб;
- снижать трение и гидравлическое сопротивление при движении продуктов транспортировки.

Особый интерес вызывают стекломалеваы или, как сейчас их принято называть, силикатно-эмалевые покрытия, обладающие повышенной коррозионной стойкостью к агрессивным средам, содержащим кислород, сероводород, углекислоты с высокой степенью минерализации и температур. Эти покрытия отличаются влагонепроницаемостью, высокой адгезией к металлу и зеркально гладкой поверхностью. Характерной особенностью силикатно-эмалевых покрытий является то, что их удельная теплопроводность и коэффициент температурного расширения почти такие же, как у металла, и перепады температур трубопроводов не вызывают разрушения покрытий.

Еще в 1961 г. во Всесоюзном научно-исследовательском институте по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ) была создана лаборатория эмалирования труб, на которую были возложены функции головного подразделения в области индукционного эмалирования труб. В 1960-1970 гг. на опытно-промышленной базе (ст. Львовская Московской обл.) были проведены работы по индукционному эмалированию опытных партий нефтепроводных труб с внутренним и наружным покрытием.

По технологии ВНИИСТ созданы производства по эмалированию труб в Краснокамске, Шевченко, Похвистнево, Пензе, Ижевске, которые были ориентированы на нефтяников-промысловиков.

Было установлено, что силикатно-эмалевое покрытие позволяет:

- снизить абразивный износ и уменьшить образование на стенках отложений парафина, продуктов полимеризации и других осадков за счет гладкости покрытия;
- обеспечить высокое качество и чистоту транспортируемого продукта;
- повысить пропускную способность трубопровода за счет гладкости покрытия, что дает возможность использовать трубы меньшего диаметра и снизить энергозатраты на транспортировку;
- исключить потери перекачиваемого продукта из-за частого ремонта трубопроводных систем и уменьшить вероятность загрязнения окружающей среды.

Снижение гидравлических сопротивлений является важной задачей, решение которой позволяет понизить затрачиваемую мощность, уменьшить металлоемкость трубопровода за счет снижения его диаметра или увеличить пропускную способность, содействовать более успешному транспортированию конденсата, уменьшая тем самым образование всякого рода отложений или пробок.

По свидетельству д.т.н. проф. Ю.Н. Михайловского и д.т.н. проф. О.И. Стеклова, лабораторные методы электрохимических испытаний эмалевых покрытий типа МК-Б на стальных трубах в электролитических средах, имитирующих химический состав пластовых вод тюменских нефтепромыслов, показали

высокие антикоррозионные свойства. А в процессе экспериментальных исследований в самарском институте ОАО «ВНИИТнефть» было установлено, что возможная скорость коррозии металла под покрытием не превышает 0,002 % от скорости коррозии незащищенных труб.

Силикатно-эмалевое покрытие может наноситься на бесшовные и электросварные нефтепроводные трубы [4].

Для эмалирования стальные трубы должны иметь следующие номинальные размеры:

- наружный диаметр – 80–530 мм;
- длина – 6,0–11,8 м;
- толщина стенок трубы – 4,0–12,0 мм.

Силикатно-эмалевое покрытие может наноситься на соединительные детали – тройники, отводы, переходники, заглушки и трубопроводную арматуру.

Нефтепроводные эмалированные трубы могут быть использованы для строительства технологических, нефтепромысловых трубопроводов I–IV категорий, нефтепроводов и продуктопроводов в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, а также использоваться для обсадных и насосно-компрессорных труб.

Силикатная эмаль – это затвердевшая стеклообразная неорганическая масса, состоящая из оксидов, основой которой является кремнезем. Стеклоэмалевое покрытие может быть однослойным и двухслойным [4].

В настоящее время применяют преимущественно безгрунтовое эмалирование труб с использованием силикатной эмали (фритты) на основе стекол системы $R_2O-RO-B_2O_3-SiO_2-F$. Технологический процесс эмалирования стальных труб с использованием индукционного или печного нагрева предусматривает нанесение покрытия на внутреннюю поверхность или на обе поверхности труб. Покрытие наносится на трубы мокрым (шликерным) способом.

В 1980 г. в Пензе объединением «Пензаводпром» впервые в мире была создана технология двухстороннего эмалирования труб с использованием метода нагрева труб в электромагнитном поле индуктора (см. рисунок).

Технологический процесс эмалирования включает в себя:

- приготовление из фритты эмалевого суспензии – шликера в шаровых мельницах;
- процесс «старения» шликера;
- подготовку поверхности труб или фасонных изделий, включающую дробеструйную очистку и обеспыливание поверхности;
- нанесение эмалевого шликера при вертикальном положении труб;
- сушку нанесенного шликера при температуре около 60–100 °C;
- обжиг при температуре 750–900 °C;
- естественное охлаждение при температуре воздуха цеха;
- обработку торцевых поверхностей труб от наплывов эмали;
- контроль качества и упаковку.

Толщина силикатно-эмалевого покрытия должна быть не менее 0,35 мм [4]. На рисунке представлена поточная линия двухстороннего эмалирования труб [5].

Первое применение эмалированных труб диаметрами 159, 219 и 325 мм в промысловых условиях было осуществлено сотрудниками ОАО «ВНИИТнефть» в НГДУ «Кинельнефть» объединения «Куйбышевнефть» в системах трубопроводов поддержания пластового давления на Козловском месторождении Самарской области. При этом давление в трубопроводах достигало 13

МПа, рН = 4–11, содержание сероводорода – 200 мг/л, углекислого газа – 700 мг/л, общая минерализация составляла 60000 мг/л. Через 5 лет эксплуатации на опытном трубопроводе не было обнаружено коррозионных повреждений. Ранее на этих участках трубопроводов наблюдались свищи от коррозии в результате большого содержания сероводорода уже через полгода. Затем эмалированные трубы стали использовать в НГДУ «Первомайнефть» и НГДУ «Жигулевск-нефть», а в г. Похвистнево был построен цех по эмалированию нефтепроводных труб.

Защитные стеклоэмалевые покрытия могут быть отнесены к усиленному типу по ГОСТ Р 51164-98 и могут обеспечить противокоррозионную защиту труб не менее 50 лет.

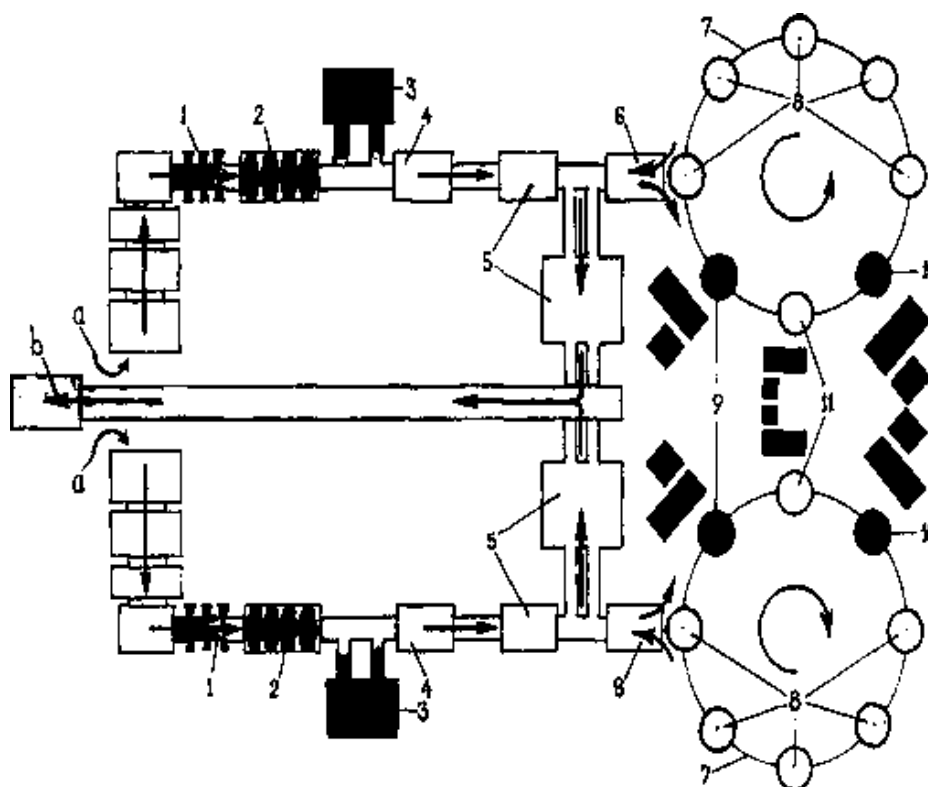
Однако при строительстве трубопроводов из эмалированных труб возникла проблема защиты внутренней поверхности сварного шва.

Для решения этой проблемы, например, на производственной базе НПК «Вектор» был создан участок, где к трубам с внутренним силикатно-эмалевым покрытием приваривали кольца из нержавеющей стали. Сварной шов кольца и трубы дополнительно эмалируется. Затем в полевых условиях при строительстве трубопроводов для соединения труб производилась только сварка нержавеющей колец специальным электродом.

Авторами работ [1, 2] была разработана более простая и дешевая технология защиты внутренней поверхности сварного шва в полевых условиях. Технология заключалась в предварительном нанесении узких кольцевых полосок загущенного эмалевого шликера на подготовленные внутренние торцовые зоны свариваемых труб с добавлением в него до 10 % силикатного клея. После подсушки слоя шликера стык сваривали при соответствующих режимах ручной дуговой сварки. Нанесенный эмалевый слой шликера при этом, расплавляясь, покрывал внутреннюю поверхность сварного шва. Добавка силикатного клея в шликер повышала поверхностное натяжение расплавленной эмали, что не позволяло ей стекать сверху. Это особенно важно при сварке неповоротных стыков. Сварщики предварительно проходили подготовку на трубной базе, отрабатывая технологию сварки на кольцевых образцах, нарезанных на токарном станке. При сварке они имели возможность наблюдать растекание стеклоэмали по внутреннему сварному шву.

Однако этот метод не давал полной гарантии защиты сварного шва, так как многое зависело от умения сварщика. Поэтому было предложено уже на заводе после эмалирования всей поверхности трубы дополнительно создать утолщенный кольцевой слой эмали на внутренней поверхности у торца трубы. Для этого на специальном стенде наносилась из дозатора порошкообразная фритта с нагревом от индуктора. Полученное кольцевое утолщение покрытия у торца трубы, расплавляясь при сварке труб, позволяло покрыть внутренний сварной шов и исключало необходимость нанесения шликера перед сваркой в полевых условиях.

Для стационарных, а в впоследствии и для полевых условий совместно с Поволжским АТНЦ была также разработана технология контактной сварки эмалированных труб. При сварке торцы труб сжимаются создаваемыми осевыми усилиями и свариваются индукционным методом. Действующая лабораторная установка показала эффективность предложенного способа и надежную защиту внутреннего сварного шва. Проверка сварных швов радиографическим методом дала положительные результаты.



Поточная линия эмалирования труб:

a – черная труба; b – на склад. 1 – конвейер подачи черных труб; 2 – индуктор обжига; 3 – дробеструйная камера; 4 – камера обеспыливания (пылесос); 5 – пост контроля качества; 6 – вертикальный подъемник; 7 – карусельная установка для подвески и перемещения труб; 8 – гнездо для охлаждения; 9 – гнездо для нанесения шликера; 10 – гнездо для обжига; 11 – гнездо для сушки

При дальнейшем совершенствовании процессов эмалирования и проектировании нестандартного оборудования при производстве труб с силикатно-эмалевым покрытием планируется использование патентных материалов [2, 3]. По данным лабораторных и промышленных исследований, силикатно-эмалевое покрытие при толщине на трубах 300–500 мкм может обеспечить защиту основного металла труб от коррозии примерно на 40–50 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воробьев А.А., Артюшкин В.Н., Давыдов Ю.М. Эмалированный трубопровод – надежная защита от коррозии // Нефтяное хозяйство. – 1993. – № 6. – С. 32.
2. Патент № 2034930. Способ эмалирования внутренней поверхности стальных труб / Артюшкин В.Н., Воробьев А.А., Давыдов Ю.М. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 10.05.1995.
3. Патент № 2037731. Способ ремонта трубопровода с комбинированным антикоррозионным покрытием / Оловянишников В.Ф., Воробьев А.А., Артюшкин В.Н., Витов В.Ф., Старченко А.Н. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 19.06.1995.
4. Трубы стальные с двухсторонним силикатно-эмалевым покрытием. Технические условия. ТУ 1390-001-01297858-96. Москва, 1996.
5. Трубы стальные с наружным и внутренним силикатно-эмалевым покрытием. Технические условия. ТУ 1308-004-02066613-97. Москва, 1997.

6. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
7. Индукционное эмалирование труб. Проспект В/О «Лицензиторг»-289007. – М.: Внешторгиздат, 1990.

Статья поступила в редакцию 6 октября 2015 г.

THE APPLICATION OF SILICATE-ENAMEL COATINGS FOR OIL-FIELD PIPELINES

V.N. Artushkin, V.M. Avdeyev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The paper discusses the problems of oil-field pipeline corrosion protection. In oil fields, a special danger consists in the pipeline internal corrosion, as the pumped aggressive liquid has a high-rate mineralization, high concentration level of hydrogen sulfide, carbon monoxide and other impurities. The problem of corrosion protection can be solved by application of pipes with a silicate-enamel coating. The paper deals with an installation for applying a silicate-enamel coating for the internal welded-seam protection. The conducted research of pipe silicate-enamel coatings has showed that with the coating thickness of 300 - 400 microns, the ensured corrosion protection of the pipe primary metal is up to 40 years.

Keywords: *silicate and enamel coverings, adhesion, decrease in hydraulic resistance, protection of an internal welded seam.*

*Valery N. Artushkin, Associate Professor.
Viktor M. Avdeyev, Associate Professor.*