

УДК 621.9.019

СРАВНЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ТРУБЫ И ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНОГО ШВА В ГАЗОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ

Андреева В.Д., студентка гр. ДНХТБ-21, II курс
Научный руководитель: Ревина А.В., к.т.н., доцент
Астраханский государственный технический университет
г. Астрахань

Нефтегазовый комплекс - основа мировой энергетики и важный экономический сектор. Поэтому необходимо обеспечивать его надежную и бесперебойную работу. Одним из наиболее значимых факторов, который угрожает целостности, долговечности и безопасной эксплуатации нефтегазового оборудования, выступает коррозия металлов. Коррозия - самопроизвольное разрушение металлов и сплавов в результате химического, электрохимического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. В процессе добычи, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов нефтепромысловое оборудование находится под воздействием агрессивных сред с экстремальными условиями, приводящих к интенсивным коррозионным процессам. Последствия коррозионных повреждений масштабны и многогранны. Колоссальные затраты на ремонт или замену оборудования, косвенные убытки от простоев и потери продукта – всё это наносит огромный ущерб экономике отрасли. Разрушение оборудования вследствие коррозии является причиной аварий, приводящих к разливам нефти, утечкам газа, пожарам и взрывам. Это создает прямую угрозу персоналу предприятий, населению и экологии региона и страны в целом.

В связи с вышеперечисленным, целью работы является проведение сравнительного исследования сканирующим электронным микроскопом коррозионной стойкости основного материала и около шовной зоны сварных соединений труб газопровода, анализ влияния внешних факторов на коррозионные процессы и выявление эффективных средств защиты.

Коррозия нефтепромыслового оборудования, в зависимости от условий эксплуатации и агрессивности среды, подразделяется на основные виды: химическая коррозия и электрохимическая коррозия. Также по характеру разрушения выделяют ряд местных (локальных) форм коррозии. Коррозионный процесс будет являться химическим, если после разрыва металлической связи атомы металла непосредственно соединяются химической связью с теми атомами или группами атомов, которые входят в состав окислителей, отнимающих валентные электроны металла. Процесс химической коррозии можно рассматривать как окисление, поскольку образующиеся продукты коррозии – химические соединения, содержащие металл в окисленной форме. В этом случае

разрушение металла происходит вследствие его непосредственной реакции со средой – неэлектролитом. Например, сероводород (H_2S) – вызывает сульфидное растрескивание, особенно опасное для высокопрочных сталей. Углекислый газ (CO_2) – приводит к образованию коррозионно-активной угольной кислоты, вызывающей общую и локальную коррозию. Среди многих случаев химической коррозии наибольшее значение с точки зрения наносимого экономике ущерба имеет газовая коррозия, т. е. окисление металлов в атмосфере сухих газов при высокой температуре.

Разрушения металлических конструкций вследствие электрохимической коррозии включают хотя бы одну стадию, связанную с переносом электронов через границу раздела «электрод - раствор». Этот вид коррозии возникает в растворах электролитов, причем ему сопутствуют протекающие на поверхности металла электрохимические процессы: окислительный (анодный) - растворение металла и восстановительный (катодный) - электрохимическое восстановление компонентов среды. Основными факторами возникновения электрохимической коррозии являются разность потенциалов между разнородными металлами или участками поверхности, наличие кислорода, который усиливает катодные процессы, и блуждающие токи, например, от систем катодной защиты соседних объектов.[1]. Как известно, [2] процесс коррозии начинается с поверхности и при развитии распространяется вглубь. Поэтому различают такие типы коррозии: сплошная, местная, язвенная, точечная (питтинг). Сплошная (равномерная) коррозия - равномерная постоянная потеря материала с корродирующей поверхности (развивается одновременно на всей поверхности). Характерна для всех металлов. Местная – охватывает только отдельные участки поверхности. Язвенная коррозия — это локализованная атака на материал, имеющий пассивную защитную пленку. Пассивная пленка может быть нарушена механически или под действием агрессивных ионов в электролите. Проявляется в виде язв диаметром 2-50 мм. Точечная (питтинг) - коррозия, которая возникает при локальном воздействии среды. Характерна для всех металлов и может привести к сквозным отверстиям в металле. Газовая коррозия, как правило, обусловлена взаимодействием металла с кислородом воздуха при высоких температурах, отсутствием влаги на поверхности металла и сопровождается образованием окислов, окалин и обезуглероживанием стали (например, коррозия лопаток, камер сгорания и тепловых трактов газовых турбин, деталей газопереработчиков и двигателей внутреннего сгорания).

Методы и результаты исследования

Для оценки коррозионной стойкости газопроводных сталей были выбраны 2 образца из эксплуатируемой газовой трубы, изготовленной из низколегированной стали марки «СтЗсп», толщиной 2,8 мм: образец №1 – металла около шовной зоны (ОШЗ) сварного соединения; образец №2 – металл сплошной зоны (основной материал).

Перед началом детального изучения образцов был выполнен анализ химического состава интересующего участка трубы методом энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС). Анализ выполнялся на площади не

менее 2*2 мм, что позволило получить усредненные данные, отражающие химический состав исследуемых зон. (рис.1)

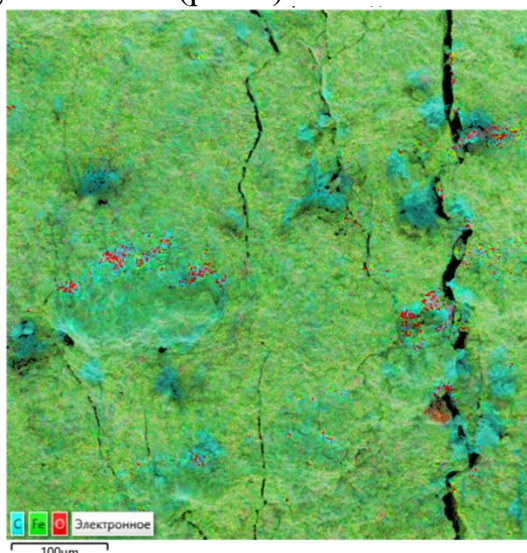


Рис.1. Многослойное изображение ЭДС исследуемого участка

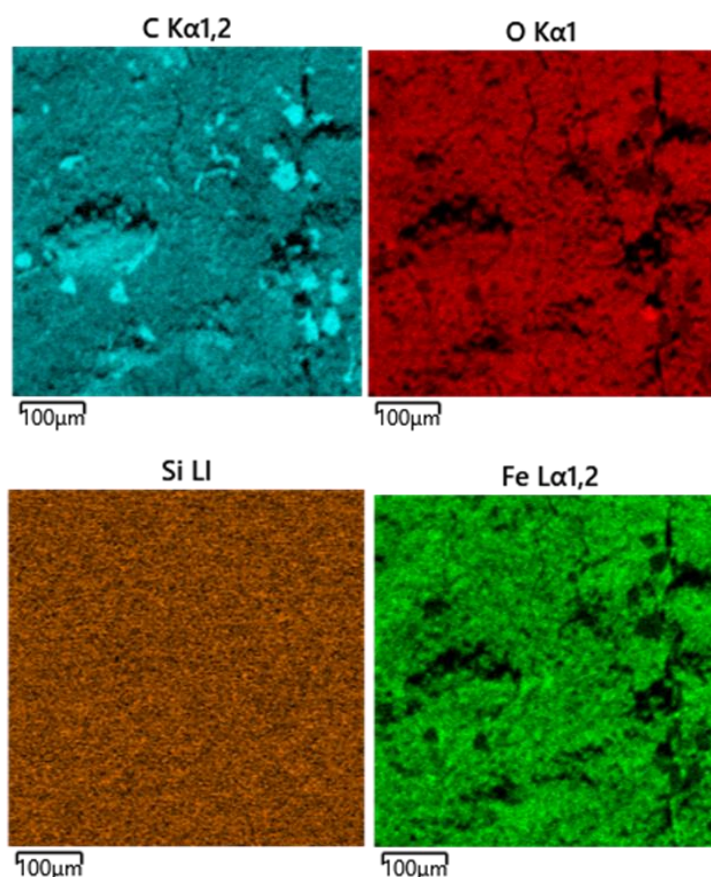


Рис.2. Химический состав анализируемого участка

Результаты ЭДС-анализа (рис. 2) показали, что химический состав поверхностей находится в пределах нормы для низколегированной стали марки Ст3сп. Примесей, способных выступать в качестве самостоятельных центров коррозии не обнаружено.

Для последующего проведения инструментального исследования был выполнен визуальный осмотр образцов. На образце №1 четко прослеживалась граница перехода от основного металла к зоне термического влияния, на поверхности были явно выражены локальные потемнения и пятна коррозии, а также видны микротрещины, расходящиеся от сварочного шва. На образце №2 поверхность была более однородна, без резких переходов, отсутствовали видимые трещины и выраженные дефекты, коррозионные повреждения были распределены равномерно.

Исследование поверхности методом силовой электронной микроскопии

Для детального анализа структуры и характера коррозионных повреждений было проведено исследование с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).[3]

В первую очередь, была изучена морфология поверхностей образцов. Образец №1 был проанализирован при следующих технологических параметрах съемки (рис. 3). Детектор – вторичные электроны, данный режим оптимален для изучения морфологии поверхности и топографии. Ускоряющее напряжение: 5 кэВ, что является относительно низким напряжением, подходящим для анализа особенностей поверхности, без проникновения луча вглубь образца. Шкала 500 мкм = 0,5 мм показывает, что мы видим довольно большую область. Режим сканирования RESOLUTION ориентирован на высокое разрешение, позволяющее увидеть мелкие детали структуры продуктов коррозии. На образце №1 при малом увеличении, а именно 250х, четко просматривается рыхлая, неоднородная структура, с ярко выраженными локальными углублениями (язвами). Поверхность язв и окружающая область покрыты кустистым материалом. Это продукты коррозии. Глубокие язвы имеют характерную форму с поднутрием, что свидетельствует о развитии коррозии вглубь.

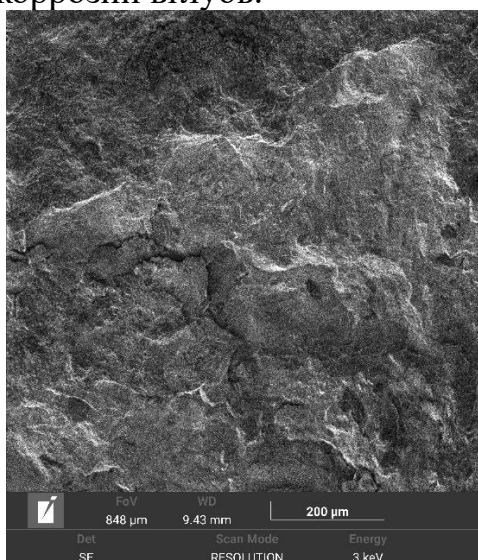


Рис 3. Морфология поверхности образца №1 (увеличение 250х)

Для образца №2 были использованы следующие технологические параметры съемки (рис. 4). Детектор – вторичные электроны. Значение ускоряющего напряжения в данном случае было выставлено меньше, чем у

образца №1: 3 кэВ, для получения максимальной информации о поверхности. Шкала и режим сканирования не изменялись. При увеличении 525х можно увидеть, что образец №2 имеет неравномерное разрушение, однако поверхность более однородна, чем у образца №1. Также мы можем заметить ярко выраженные слоистые структуры, с почти вертикальными стенками. Однако, в отличие от предыдущего образца, здесь видно не так много рыхлых продуктов коррозии, покрывающих поверхность.

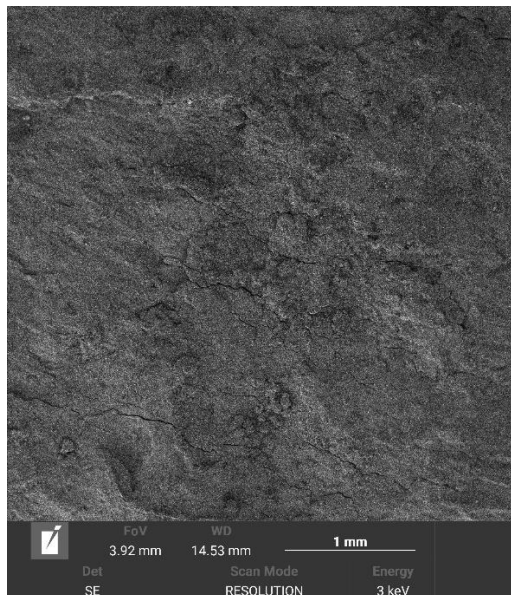


Рис 4. Морфология поверхности образца №2 (увеличение 525х)

Для выявления типа локальной коррозии образцы были исследованы при более высокой степени увеличения. На образце №1 из около шовной зоны обнаружены глубокие язвы, обрамленные гроздевидными участками рыхлой структуры с зернами размером от 3,39 до 10,0 мкм и радиально расходящиеся от них трещины размерами до 1,30 мкм (рис 5).

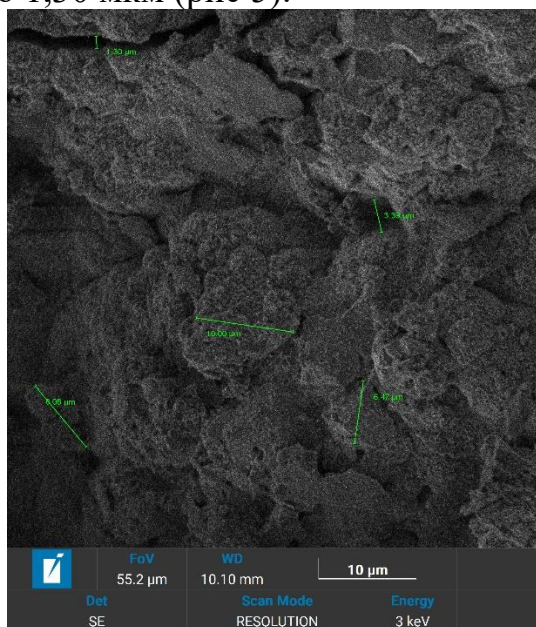


Рис 5. Образец №1 (увеличение 1,16кх)

При детальном рассмотрении образца №2 из основного материала, в отличие от образца №1, обнаружены линейные трещины шириной от 1,13 до 2,65 мкм (рис 6). Отсутствуют язвы и рыхлые гнездовидные структуры продуктов коррозии. Обращает на себя внимание гомогенная морфология поверхности с преобладанием слоистых структур.

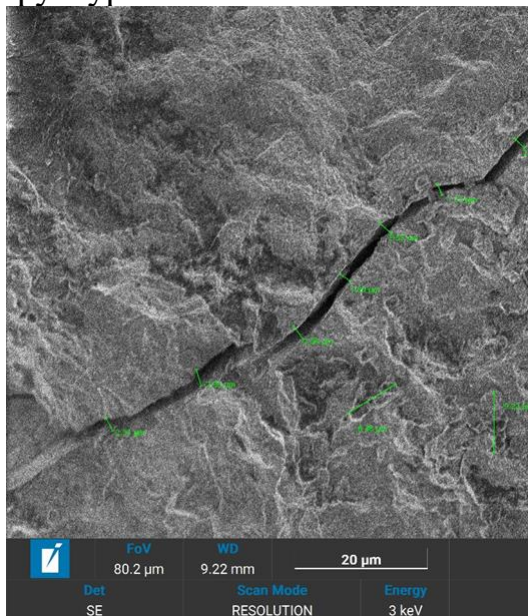


Рис 6. Образец №2 (увеличение 6,69кх)

После проведенных исследований была выявлена большая разница в коррозии между основным материалом и металлом из около шовной зоны. Интегральный ЭДС-анализ показал, что исследуемые образцы имеют один и тот же химический состав. Следовательно, выявленные различия в коррозионном поведении не могут быть объясняться различием в химическом составе или наличием аномальных примесей. Согласно исследованию Буклешева Д.О. [4], это связано с тем, что в процессе сварки, в результате местного нагрева металла и его последующего охлаждения, в сварном соединении образуется неравномерное температурное поле. Учитывая химический состав трубной стали и условий охлаждения при сварочных работах, микроструктура около шовных зон сварных стыков изменяется от мартенситной до ферритно-перлитной структуры. При сварке трубопровода выделяется высокая погонная энергия, которая в процессе сварки приводит к перегреву металла ОШЗ и ухудшает его структуру, снижает его механические свойства. Таким образом, в теле металла возникают сжимающие и (или) растягивающие термические внутренние напряжения и металл теряет свои изначальные характеристики. К этим характеристикам относят как прочностные свойства, так и стойкость к коррозии. Наличие напряжений в металле увеличивает возможность протекания местной коррозии, в частности межкристаллитной и язвенной. Основной материал трубы подвергается меньшему термическому воздействию, так как находится далеко от шва, имеет гомогенную структуру, сохраняет свои свойства и не накапливает остаточные напряжения.

Методы защиты труб от коррозии

Поскольку около шовная зона является самой уязвимой, то ее защите требуется уделять первостепенное внимание. В первую очередь необходимо

использовать защиту изоляционными материалами: термоусаживаемая манжета (муфта). Она создает механически прочное и абсолютно герметичное влагонепроницаемое покрытие, исключающее контакт металла с внешними факторами. Для более активной защиты применяются гальванические аноды (протекторная защита). Так как анодный металл «активнее» железа, он сам корродирует, тем самым перетягивает на себя всю коррозию с трубы, которая становится катодом и не разрушается. При монтаже трубопроводов сварные стыки специально нагреваются индукционными токами до определенной температуры, выдерживаются и медленно охлаждаются под теплоизоляционным кожухом. Это способствует снятию остаточных напряжений и нормализации структуры металла. Для предотвращения более активной внутренней коррозии исходное сырье необходимо подвергать дополнительной очистке от примесей. [5]. Однако необходимо помнить, что наиболее эффективную защиту обеспечивает комплекс из методов.

Список литературы

1. Лучкин, Р.С. Коррозия и защита металлических материалов (структурные и химические факторы): электронное учебное пособие / Р.С. Лучкин. - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. – 7-20 с.
2. Розенфельд, И.Л. Коррозия и защита металлов / И.Л. Розенфельд. - М.: Металлургия, 1969. - 448 с.
3. Örnek, C., & Engelberg, D. L. Hydrogen-Induced Micro-Strain Evolution in Super Duplex Stainless Steel—Correlative High-Energy X-Ray Diffraction, Electron Backscattered Diffraction, and Digital Image Correlation //Corrosion Science, 2015.
4. Буклешев Д.О. Практическое исследование зависимости скорости коррозии сварных соединений газопроводов от внешних факторов / Д.О. Буклешев. – Технические науки на – от теории к практике, изд-во: Сибирская академическая книга, 2016. – 22-32 с.
5. Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Коррозия газопроводов и варианты защиты от нее / А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин. – Вестник Магистратуры, изд-во: Коллоквиум, 2014. – 38-41 с.