УДК 620.197+620.193

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-11-246-31-36

*А. Е. Розен, д-р техн. наук, А. В. Прыщак, канд. техн. наук, О. Н. Логинов, канд. техн. наук,
А. В. Хорин, канд. техн. наук, М. С. Гуськов, канд. техн. наук, А. А. Розен, аспирант,
Е. Г. Исаков, магистрант, А. О. Корольков, магистрант, Е. А. Макарова*, н. с.*

ПРОИЗВОДСТВО СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ БЕСШОВНЫХ ТРУБ ИЗ СЛОИСТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, aerozen@bk.ru
* ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва, eamakarova@cniitmash.com*

В работе приведены схемы получения бесшовных труб из многослойного металлического материала с внутренним протектором с применением технологии сварки взрывом. Разработаны схемы сварки взрывом исходных гильз для последующего их проката в бесшовные трубы. Указаны особенности создания неразъёмных соединений из данных материалов дугowymi методами сварки.

Ключевые слова: сварка взрывом, коррозия, слоистый металлический материал, внутренний протектор, электрохимический потенциал, дуговая сварка

*A. E. Rosen, A. V. Pryshchak, O. N. Loginov, A. V. Horin, M. S. Gus'kov, A. A. Rosen,
E. G. Isakov, A. O. Korol'kov, E. A. Makarova**

PRODUCTION BY EXPLOSION WELDING OF SEAMLESS PIPES MADE OF LAYERED METAL MATERIALS INCREASED CORROSION RESISTANCE

*Penza State University, Penza, aerozen@bk.ru
* JSC RPA CNIITMASH, Moscow, eamakarova@cniitmash.com*

The paper presents schemes for producing seamless pipes made of multilayer metal material with an internal protector using explosion welding technology. The developed scheme of explosion welding to the original liners for later they rolled into a seamless tube. The features of creating permanent joints from these materials using arc welding methods are indicated.

Keywords: explosion welding, corrosion, layered metal material, internal protector, electrochemical potential, arc welding

Интенсивные исследования последних десятилетий в области металлических материалов повышенной коррозионной стойкости привели к созданию слоистых металлических материалов с внутренним протектором (СММ с ВП) [1]. Предварительные исследования, проведённые в ОАО НПО ЦНИИТМАШ, свидетельствуют о возможности повысить его коррозионную стойкость в сравнении с нержавеющей сталью аустенитного класса в 10 раз и более. Данный материал по ценовой категории находится в одном ряду с широко распространёнными коррозионностойкими нержавеющей сталью аустенитного класса, а по коррозионной стойкости сопоставим с палладием, молибденом, никелем и хастеллоем [2].

СММ с ВП представляет собой материал с разными электрохимическими потенциалами (ЭХП) слоёв, образующие короткозамкнутые гальванические элементы, преобразующие ход коррозионных процессов при переходе от одного слоя к другому. Результатом данного технического решения является трансформация коррозионного разрушения от питтинговой коррозии в верхнем слое к контактной коррозии жертвенного слоя. Это многократно замедляет процессы коррозии. Архитектура 4-хслойного материала с одним внутренним протектором представлена на рис. 1.

Подтверждением данной гипотезы являются результаты коррозионных испытаний образцов СММ с ВП в среде хлорида железа (III) (плотность $1,049 \pm 0,002$ г/см³) в течение

216 часов. Со стороны воздействия агрессивной среды в образцах изготавливали искусственные питтинги, на глубину, соответствующую толщине первого и половине второго слоёв.

Электронно-микроскопические исследования, выполненных на двулучевом растровом электронном микроскопе *FEI HELIOS NANOLAB 660*, свидетельствуют о развитии коррозионного поражения преимущественно во втором слое (рис. 2). Наблюдается его анодное растворение.

Производство бесшовных труб предполагает получение на первом этапе так называ-

емой гильзовой заготовки, которая затем поступает в прокатный стан и под действием специальных валиков вытягивается в трубу до нужных размеров и толщин. Определяющим здесь является формирование структуры и архитектуры исходной гильзы.

Цилиндрические заготовки из СММ с ВП для изготовления бесшовных труб предлагается получать сваркой взрывом. Могут быть предложены три технологические схемы в зависимости от вида воздействия коррозионной среды [3]:

– в условиях одностороннего (наружного или внутреннего (рис. 3, а, б)) воздействия

Рис. 1. Архитектура 4-хслойного металлического материала с одним внутренним протектором:

1 – наружный слой; 2 – внутренний протектор; 3 – третий слой; 4 – основной слой, по которому рассчитывается прочность всей металлоконструкции; 5 – линзы в протекторе из продуктов коррозии; 6 – сквозные питтинги первого слоя; 7 – питтинги, у которых прекратился рост ввиду электрохимического воздействия внутреннего протектора

Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение коррозионного повреждения СММ с ВП при наличии искусственного питтинга в первом слое и времени выдержки – 216 часов

для труб с толщиной стенок до 8 мм;

– в условиях двустороннего воздействия для труб с толщиной стенок 10 мм и более (рис. 3, в).

лу могут быть отнесены низкоуглеродистые, низколегированные стали, например, сталь 10, сталь 20, 09Г2С и их аналоги 1023 (США), 13Мн6 (Германия), 12Мн (Китай);

Рис. 3. Схема коррозионной защиты трубопроводов при применении бесшовных труб из СММ с ВП: 1 – слой с высоким электрохимическим потенциалом; 2 – внутренний протектор; 3 – основной слой

Наиболее перспективным для применения можно считать многослойные металлические материалы со следующим чередованием слоёв [4]:

– материалы с высоким ЭХП (от + 0,6 В и выше) (слои 1, рис. 3); к их числу могут быть отнесены высоколегированные нержавеющие стали аустенитного класса, например, 12Х18Н10Т или её аналоги – 321 (США), Х6СrNiTi18-10 (Германия); Z10CNT18-10 (Франция); 0Cr18Ni10Ti (Китай);

– материалы с низким ЭХП (от – 0,4 В и ниже); в коррозионной защите он выполняет роль протектора (слой 2, рис. 3); к их чис-

– материалы основного слоя (слой 3, рис. 3), обеспечивающие прочностные характеристики; к их числу могут быть отнесены низко и среднелегированные стали, например, 09Г2С, 09ГСФ, 13ХФА, 15ХМФА 08ХМФЧА и их аналоги А516-55 (США), SM41В (Япония).

Применение таких материалов обусловлено массовостью их производства, относительно низкой стоимостью, хорошей свариваемостью, способностью к обработке материалов давлением.

Могут быть предложены две основные ампульные схемы получения исходных заго-

Рис. 4. Схемы получения труб из СММ с ВП сваркой взрывом:

а – внутреннего плакирования; б – наружного плакирования; 1 – электродетонатор; 2 – детонирующий шнур; 3 – заряд взрывчатых веществ; 4 – обтекатель; 5 – стержень; 6 – матрица; 7 – балластный материал; 8 – основной слой; 9 – зазор; 10 – слой с высоким электрохимическим потенциалом; 11 – внутренний протектор; 12 – донная заглушка; 13 – проставка; 14 – основание

товок – гильз внутреннего и наружного плакирования сваркой взрывом (рис. 4).

Использование наружного заряда по схеме внутреннего плакирования (рис. 4, а) обеспечивает удержание стенок матрицы от разрушения.

Технологический цикл получение труб из СММ с ВП сводится к выполнению следующих технологических операций:

1) получение цилиндрической заготовки – гильзы из СММ с ВП сваркой взрывом для

но с необходимостью получать неразъёмные сварные соединения. В большинстве случаев их осуществляют дуговыми методами сварки. В случае применения СММ с ВП создание неразъёмных сварных соединений дуговыми методами сварки потребовало существенных изменений в разделке кромок, выборе сварочных материалов, назначении технологических режимов.

Были разработаны промышленные технологии ручной дуговой, аргодуговой, ме-

Рис. 5. 3D-визуализация области проведения численного анализа с сегментированным объемом пор и коррозионных язв в области сварного шва СММ с ВП

последующей прокатки труб;

2) удаление механическим резанием обтекателя и донной заглушки

3) прохождение ультразвукового контроля в объеме 100% на предмет определения сплошности и отсутствия дефектов;

4) получение трубной заготовки соответствующего диаметра и длины;

5) калибровка и термообработка трубы.

Применение данной технологии позволяет получать сваркой взрывом и последующей прокаткой бесшовные трубы из СММ с ВП диаметром от 89 до 530 мм. Дополнительным преимуществом таких труб является отсутствие коррозии под напряжением, что свойственно для монометаллических материалов.

Применение бесшовных труб при прокладке протяжённых трубопроводов связа-

ханизированной и автоматической сварки под слоем флюса. Выбор сварочных материалов осуществлялся из оценки условий коррозионного поражения основного металла и сварного шва. Был выбран принцип, при котором электрохимический потенциал сварного шва превышал аналогичное значение основного материала.

В качестве сварочных материалов при дуговых методах сварки слоев с высоким ЭХП применяли сварочную проволоку ОК Autrod NiCrMo-3 по EN ISO 13479 [5] (зарубежный аналог отечественного материала ХН65МВ) и защитный газ аргон. Сварка переходного слоя осуществляли сварочной проволокой ОК Autrod 309L по EN ISO 13479. Сварку основного слоя выполняли проволокой для низколегированной стали.

Рис. 6. Электронно-микроскопическое изображение области сварного шва (1) и околошовной зоны (2) с искусственными питтингами в растворе хлорида железа (III) (плотность $1,049 \pm 0,002$ г/см³) в течение 216 часов

Такой подход к выбору сварочных материалов и способов сварки обеспечил высокую коррозионную стойкость сварного шва (рис. 5).

Даже при создании искусственного питтинга (рис. 6, зона 1) и выдержки в растворе хлорида железа (III) (плотность $1,049 \pm 0,002$ г/см³) в течение 216 часов каких-либо признаков коррозии не наблюдалось. В тоже время, в околошовной зоне создание искусственного питтинга привело к образованию внутренней линзы во втором слое (рис. 6, зона 2).

Коррозионное поражение околошовной зоны развивается по стандартному для СММ с ВП механизму.

Результаты металлографических исследований свидетельствуют, что в металле околошовной зоны сварного соединения наблюдается повышенная плотность питтингов (рис. 5, рис. 7, а). Их образование связано с действием гальванической пары «металл шва» (катод), – «металл верхнего слоя СММ с ВП», (анод). Прямые измерения ЭХП, свидетельствуют, что его величина в сварном шве (зона 1, рис. 7) составляет 0,0461 В,

Рис. 7. Поверхность сварных швов из СММ с ВП после коррозионных испытаний в растворе хлорида железа (III) (плотность $1,049 \pm 0,002$ г/см³) в течение 216 часов: а – без наплавки; б – с наплавкой в верхнем слое сварочной проволокой ОК Autrod 309L по EN ISO 13749

а на поверхности СММ с ВП (зона 2 рис. 7) - 0,016 В.

Для устранения данного явления сварной шов выполняли с условием, чтобы последний проход (облицовочный шов) был выполнен из сварочного материала с ЭХП близким к верхней пластины основного металла (12Х18Н10Т), а именно, сварочную проволоку аналогичного состава (ГОСТ 18143-72) или её зарубежный аналог *OK Autrod 309L* по *EN ISO 13749* [4].

После проведения повторных коррозионных испытаний сварного соединения из СММ с ВП было установлено, что применение данной сварочной проволоки позволило исключить явление активного питтингообразования в околошовной зоне (рис. 7, б). Данный технологический приём позволит обеспечить высокие коррозионные свойства всего сварного соединения.

Заключение

Предложена технология получения бесшовных труб из СММ с ВП, ресурс которых в высоко агрессивных средах может быть многократно повышен. Разработаны технологические схемы сварки взрывом для получения гильзовой заготовки для последующего проката.

Установлена возможность получения высоко коррозионно-стойких сварных соединений СММ с ВП путём применения при дуговых способах сварки в качестве сварочного материала проволоки с ЭХП, превышаю-

щим аналогичное значение высоколегированных нержавеющей сталей аустенитного класса.

Показано условие устранения питтинговой коррозии в околошовной зоне при дуговой сварке СММ с ВП. Применение соответствующих сварочных материалов при выполнении облицовочного шва позволило исключить явление активного питтингообразования в зонах, прилегающих к зонам сплавления и обеспечить высокий ресурс работы всего материала в целом.

Библиографический список

1. Евразийский патент № 016878 ЕАПВ С23F 13/06 В 32В 7/02. Многослойный материал повышенной коррозионной стойкости (варианты) и способы его получения / А. Е. Розен, И. С. Лось, Ю. П. Перелыгин, Л. Б. Первухин, Ю. А. Гордополов, Г. В. Кирий, П. И. Абрамов, С. Г. Усатый, Д. Б. Крюков, О. Л. Первухина, И. В. Денисов, А. А. Розен. – 2012.
2. Accelerated Corrosion Tests of a New Class of Multilayer Metallic Materials with an Internal Protector / V. A. Grachev, A. E. Rozen, Yu. P. Perelygin, S. Yu. Kireev, I. S. Los', A. A. Rozen // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2019. – Vol. 2019. – Iss. 3. – Pp. 247-256.
3. Особенности коррозионного разрушения насосно-компрессорных труб при эксплуатации в средах с повышенным содержанием углекислого газа / С. А. Князькин, А. В. Иоффе, М. А. Выбойщик, А. О. Зырянов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2012. – № 10 (688). – С. 10-14.
4. Mechanism of Pitting Corrosion Protection of Metals and Alloys / V. A. Grachev, A. E. Rozen, G. V. Kozlov, A. A. Rozen // *Oriental journal of chemistry*. – 2016. – Vol. 32 (2). – Pp. 845-850.
5. Сварочные материалы на основе никелевых сплавов [Электронный ресурс]: [сайт]. URL.: <https://www.esab.ru/ru/ru/products/filler-metals/covered-stick-electrodes-smaw/nickel-alloy-electrodes/ok-nicrmo-3.cfm> (дата обращения 01.09.2020).

Работа выполнена в рамках проекта № 0748-2020-0013 «Научные принципы формирования гетерогенных структур методами физико-химического диспергирования» (государственное задание вузу в сфере научной деятельности. Заказчик Министерство науки и высшего образования РФ).