

УДК 621.791:621.643.1/.2

А.В. Шипилов, заместитель начальника Управления по диагностическому обследованию объектов ЕСГ, ООО «Газпром центрремонт»; **Е.М. Вышемирский**, к.т.н., заместитель начальника производственно-технического управления – начальник отдела главного сварщика, ОАО «Газпром»; **С.И. Полосков**, д.т.н., начальник отдела сварки, ФГУ НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э. Баумана

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЯМ И ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ

Рассмотрены особенности автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом трубопроводов малых диаметров из углеродистых и низкоуглеродистых низколегированных сталей, составляющих до 85% от общего количества трубопроводов на компрессорных станциях. Сформулированы технические требования к технологическим процессам сварки и сварочному оборудованию, обеспечивающим стабильно высокое качество сварных соединений.

На компрессорных станциях, играющих важную роль в Единой системе газоснабжения России, помимо трубопроводов большого диаметра (до 1420 мм) для транспортировки газа есть целый ряд трубопроводов малого диаметра от 18 до 219 мм, предназначенных для различных технологических операций. Обычно они имеют толщину стенки 3–4 мм, отдельные трубопроводы изготавливаются из труб до 14 мм включительно. Сварка труб в большинстве случаев выполняется в неповоротном положении. В зависимости от условий реализации технологических операций применяют трубы из углеродистых, низкоуглеродистых низколегированных, высоколегированных аустенитных сталей, изготовленные по ТУ, ГОСТам и рекомендованных к применению нормативными документами ОАО «Газпром».

Следует отметить, что до 85% от общего количества трубопроводов изготавливают из углеродистых и низкоуглеродистых низколегированных сталей. Однако при сварке подобных сталей

из-за значительного остаточного содержания окиси углерода и окислов железа наблюдаются кипение и разбрызгивание металла сварочной ванны, а при ее кристаллизации – наличие дефектов типа пор. Установлено [1], что порообразование при сварке кипящих сталей более интенсивно при аргонодуговой сварке, чем в углекислом газе. Использование обычных автоматов дуговой сварки в углекислом газе плавящимся электродом при ремонте трубопроводов обвязки оборудования компрессорных станций в условиях тесных трубных пучков и их пересечений крайне затруднительно. Поэтому наиболее перспективной технологией для подобных условий является применение аргонодуговой сварки неплавящимся электродом (TIG-сварки), выполняемой компактными автоматами, реализующими технологию орбитальной сварки, с обязательной подачей присадочной проволоки как дополнительного раскислителя при формировании корня шва и заполнении разделки сварного соединения.

В процессе исследований установлено, что при орбитальной сварке труб с толщиной стенки до 3–4 мм разделку кромок можно не применять, при большей толщине стенок целесообразно использовать U-образную разделку, а сварку выполнять в несколько проходов [2]. Большое количество параметров процессов орбитальной сварки обеспечивает ее технологическую гибкость, но затрудняет установление качественных и количественных взаимосвязей между ними и качеством сварных соединений. Поэтому при формировании технических требований к условиям воспроизводимости стабильно высокого качества сварных соединений использовались методы физико-математического моделирования особенностей орбитальной сварки [3]. Физико-математическое моделирование условий формирования сварочной ванны показало [4], что качественное формирование корня шва можно получить только при использовании импульсных технологий сварки с шаговым, а не непрерывным перемещением горелки вдоль стыка (рис. 1).

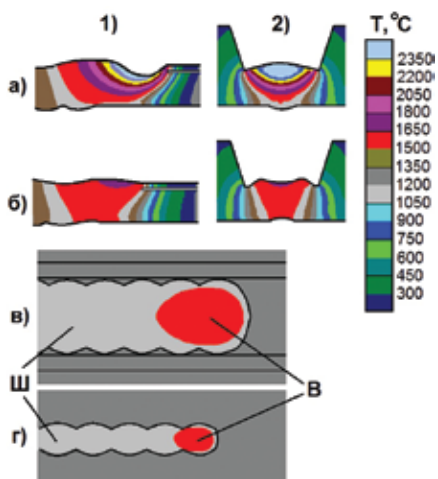


Рис. 1. Результат моделирования формирования корневого прохода при импульсной аргодуговой сварке с подачей присадочной проволоки стальной трубы с U-образной разделкой кромок в потолочном положении: 1) сечение сварочной ванны в плоскости симметрии, 2) максимальные температуры в поперечном сечении шва, окончание (а) – импульса и паузы (б) – тока; (в, г) – виды шва сверху и изнутри трубы; Ш – переплавленный металл, В – сварочная ванна

Заполнение разделки в зависимости от толщины стенки трубопровода может выполняться по двум вариантам – без колебаний и с колебаниями электрода в разделке. Установлено, что процесс сварки без колебаний во многом сходен со сваркой корневого прохода, за исключением шагового перемещения горелки, так как донная часть шва после сварки корневого прохода уже сформирована [4]. Для определения параметров сварки при заполнении разделки выполнили моделирование

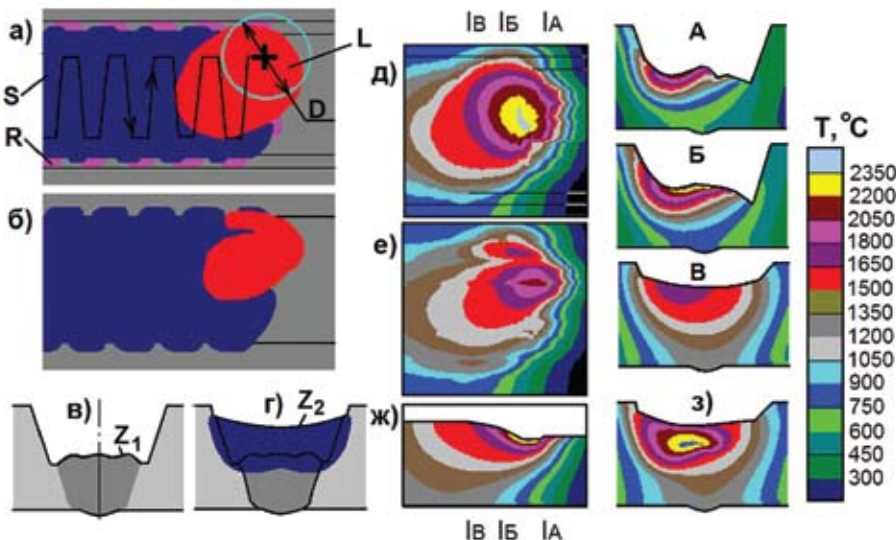


Рис. 2. Результат моделирования наплавочного прохода с поперечными колебаниями сварочной горелки: а) траектория движения электрода на поверхности шва Z_2 , б) зона плавления металла на поверхности Z_1 после корневого прохода, в), г) профиль стыка после корневого и наплавочного проходов, д), е), ж) распределение температуры на поверхности Z_2 и Z_1 , и в плоскости симметрии стыка. А, Б, В – распределения температуры в сечениях стыка: з) – предельное состояние. S – переплавленный металл наплавочного прохода, R – зона стекания металла кромок, L – сварочная ванна

формирования валика наплавочного прохода при различных параметрах сварки и поперечных колебаний электрода (рис. 2). Моделирование особенностей перемещения горелки поперек разделки (рис. 3) показало, что при использовании пилообразной формы невозможно получить равномерное проплавление и хорошее формирование поверхности наплавляемого валика. Синусоидальная форма поперечных колебаний позволяет получить приемлемую форму поверхности валика, но неравномерность глубины проплавления остается

значительной. Наилучшие результаты позволяет получить трапецеидальная форма со значительными (35–40% периода) остановками горелки в крайних положениях, что объясняется существенно большей мощностью теплоотвода в кромки разделки по сравнению с мощностью теплового потока в шов. Моделирование сварки с поперечными колебаниями горелки разной частоты (рис. 4) показало, что уменьшение частоты колебаний приводит к периодическому непровару стенки разделки и формированию наплавленного валика в форме «змейки». Поэтому максимально допустимый период колебаний с увели-

magnitsp.ru



ПРОИЗВОДИТЕЛЬ И ПОСТАВЩИК



Оборудование для компенсации магнитного дутья



Машины для снятия фаски на листах и трубах

ВТУ и Шмель – оборудование для снятия остаточных механических напряжений в металлоконструкциях, и деталях механизмов.



Герметизирующая магнитная консоль для аварийного устранения протечек



Магнитные контакты обратного сварочного кабеля



Установка КУДИН-200А для размагничивания труб

(812) 622-14-31
702-70-67
magnitsp.ru



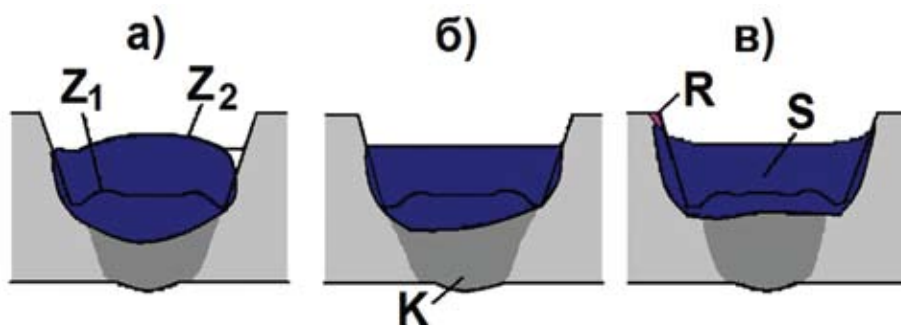


Рис. 3. Результат моделирования наплавочного прохода при поперечных колебаниях сварочной горелки: пилообразной (а), синусоидальной (б), трапецеидальной (в) с остановками в крайних положениях. Прочие параметры – см. рис. 2

чением скорости и уменьшением размеров ванны необходимо увеличивать. Анализ оптимальной длительности остановки в крайнем положении показал, что увеличение длительности задержки горелки на краях способствует повышению качества сварного шва за счет гарантированного формирования плавного перехода от расплава к нерасплавленному металлу.

Большое значение имеет амплитуда поперечных колебаний горелки (рис. 5). При недостаточной амплитуде колебаний (рис. 5а) наплавочный валик формируется с большой выпуклостью и глубоким проплавлением, а при избыточной формируется вогнутая поверхность (рис. 5б), но глубина проплавления существенно уменьшается. Моделирование показало [5], что для рассмотренного примера оптимальна амплитуда поперечных колебаний электрода меньше на 2,0–2,5 мм ширины разделки.

Так как сварной шов при выполнении облицовочных проходов имеет малую глубину при относительно большой ши-

рине, то его целесообразно выполнять на непрерывном режиме с амплитудой колебаний, обеспечивающей ширину шва, большую на 2,0–4,0 мм, чем ширина разделки на наружной поверхности трубы.

Специфика сварочных работ обусловила создание автоматов как функционально делимых структур, когда на стык устанавливается только сварочная головка, а источник и аппаратура управления находятся вне рабочей зоны. С учетом этого, на основании проведенных исследований сформулированы следующие технические требования к процессам сварки и сварочному оборудованию, устойчивым к различным возмущениям.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕАЛИЗУЕМЫМ ПРОЦЕССАМ СВАРКИ:

- для раскисления сварочной ванны при сварке необходимо в обязательном порядке использовать дополнительный присадочный металл – как при сварке корневого прохода, так и в заполнении разделки в виде присадочной проволоки малых диаметров (1,0–1,2 мм);
- для качественного формирования проплава корня шва предпочтение должно отдаваться U-образной разделке кромок;
- перемещение горелки при сварке каждого прохода необходимо начинать на подъем с точки, совпадающей с положением стрелки от 7 до 8 часов на циферблате часов;
- заполнение разделки стыков труб с толщиной стенки 5–8 мм необходимо выполнять с колебаниями неплавящегося электрода в разделке, тогда как при меньших толщинах колебания не требуются;
- сварку каждого слоя шва следует выполнять за один полный оборот («на

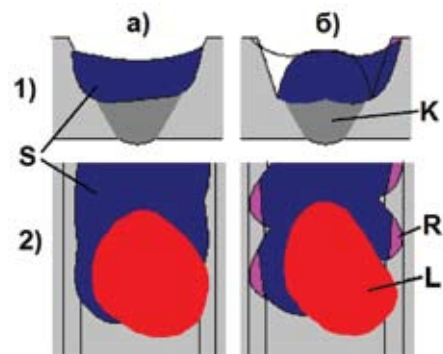


Рис. 4. Результат моделирования наплавочного прохода с поперечными колебаниями разной частоты (1 – поперечное сечение шва, 2 – вид сверху): а) период 0,5 с, длительность остановки в крайнем положении 0,2 с, б) 1,5 с и 0,6 с соответственно. Прочие параметры – см. рис. 2

проход») с перекрытием 2–3 мм и последующей заваркой кратера;

- для обеспечения равномерного проплава корня шва и толщины наплавляемого металла в разделке целесообразно использовать программирование режимов сварки в зависимости от пространственного положения горелки по периметру стыка.

Данные технические требования реализованы в «Инструкции по технологиям сварки и неразрушающему контролю качества сварных соединений при строительстве КС «Портовая».

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СВАРОЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ:

- оборудование должно быть построено по блочно-модульному принципу с отдельной компоновкой сварочной головки, аппаратуры управления, сварочного источника и вспомогательных устройств;
- из условий мобильности вес модулей не должен превышать 40 кг;
- оборудование для автоматической орбитальной сварки должно обеспечивать стабилизацию основных технологических параметров процесса сварки в следующих пределах: тока сварки – до 1%, скорости сварки – до 2%, скорости подачи проволоки – до 2%, колебаний горелки – до 1%;
- скорость отработки возмущений по длине дуги должна быть не менее 18 мм/с;
- габариты орбитальных головок должны обеспечивать радиус вращающихся частей не более 80 мм при сварке труб диаметром до 45 мм, 100 мм – при сварке труб диаметром более 45 мм, 160 мм – при сварке труб диаметром более 70 мм и не более 200 мм – при сварке труб диаметром более 120 мм;

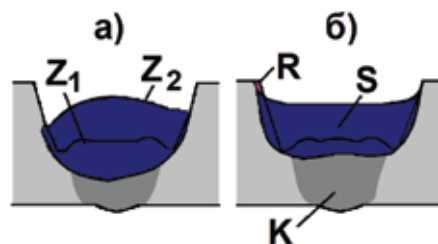


Рис. 5. Результат моделирования формирования наплавочного прохода при разной амплитуде поперечных колебаний сварочной горелки ±1,5 мм (а) и ±3 мм (б). Прочие параметры – см. рис. 2

- должна быть предусмотрена возможность регулировки положения присадочной проволоки относительно неплавящегося электрода и отвод (реверс) подачи присадочной проволоки при завершении процесса сварки;
 - должны использоваться малогабаритные источники постоянного тока с крутопадающей вольтамперной характеристикой и возможностью сварки на максимальном токе при ПВ 100%;
 - оборудование должно обеспечивать реализацию непрерывного, импульсного и шаго-импульсного режимов сварки с разбивкой зоны сварки по секторам и отдельное задание режимов работы в каждом из них;
 - аппаратными средствами должна быть предусмотрена регулировка времени нарастания тока при образовании сварочной ванны и его спада при замыкании шва;
 - должна быть предусмотрена возможность программирования и сохранения в памяти параметров режимов сварки (сварочного тока, напряжения на дуге, скорости сварки, скорости подачи проволоки, скорости колебаний горелки, амплитуды колебаний горелки) для каждого прохода.
- В соответствии с данными техническими требованиями разработаны малогабаритные орбитальные автоматы [6] для сварки неплавящимся электродом на объектах промышленных и магистральных газопроводов.



Рис. 6. Внешний вид шва (а) и вид шва изнутри трубы (б), выполненного автоматической аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом в аргоне

Практическая реализация технических требований к реализуемым процессам сварки и сварочному оборудованию гарантированно обеспечивают стабильно высокое качество сварных соединений. Внешний вид сварного соединения из низкоуглеродистой стали представлен на рисунке 6.

В настоящее время заканчивается разработка СТО Газпром «Технологии

сварки трубопроводов технологической обвязки объектов и оборудования промышленных и магистральных газопроводов» и Р Газпром «Технологии сварки труб малого диаметра объектов при строительстве и ремонте газопроводов», включенных в план разработки нормативных документов по сварке и контролю качества сварных соединений газопроводов ОАО «Газпром» [7].

Литература:

1. Шипилов А.В. Особенности автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом в аргоне трубопроводов малого диаметра из низкоуглеродистых сталей // «Сварка и диагностика», 2010, № 5. С. 42–47.
2. Полосков С.И., Букаров В.А., Ищенко Ю.С. Особенности процесса заполнения разделки (наплавки) при автоматической орбитальной сварке неповоротных стыков труб // «Сварочное производство», 2003, № 8. С. 3–11.
3. Физико-математическая модель орбитальной сварки неплавящимся электродом в инертных газах: концепция и возможности / А.В. Шипилов, В.А. Ерофеев, Е.М. Вышемирский, С.И. Полосков // «Сварка и диагностика», 2011, № 2. С. 3–9.
4. Компьютерный анализ условий качественного формирования швов при орбитальной сварке трубопроводов малых диаметров из конструкционных сталей / А.В. Шипилов, В.А., Ерофеев, В.В. Бровко, С.И. Полосков // «Сварка и диагностика», 2011, № 5. С. 17–23.
5. Шипилов А.В., Ерофеев В.А., Полосков С.И. Компьютерный анализ технологий многопроходной орбитальной сварки неплавящимся электродом трубопроводов малых диаметров // «Сварка и диагностика», 2011, № 6. С. 26–31.
6. Опыт создания отечественного блочно-модульного оборудования для автоматической орбитальной ТIG-сварки с подачей присадочной проволоки / В.А. Галкин, А.В. Шипилов, Е.М. Вышемирский, С.И. Полосков // «Сварка и диагностика», 2011, № 1. С. 36–41.
7. Вышемирский Е.М. Организация разработки нормативных документов по сварке и контролю качества сварных соединений газопроводов ОАО «Газпром» // «Территория НЕФТЕГАЗ», 2011, № 5. С. 54–61.

Ключевые слова: орбитальная сварка, трубопровод, компрессорная станция, сварное соединение.