



УДК 621.791:662.276.05

АНАЛИЗ И ВЫБОР СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

М. БЕЛОЕВ¹, В. И. ХОМЕНКО², С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО³

¹ KZU Holding Group. Болгария, 1700, г. София. E-mail: marin.beloev@kzu-group.com

² ЗАО «Псковэлектросвар». РФ. 18022, г. Псков, ул. Новаторов, 3. E-mail: info@pskovelectrosvar.ru

³ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. Украина. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены достоинства и недостатки различных технологий соединения труб, применяемых при строительстве магистральных трубопроводов. Отмечено, что способ контактной сварки оплавлением имеет преимущества по сравнению с дуговым, лучевым и гибридным способами сварки. Табл. 1, рис. 8.

Ключевые слова: сварные трубопроводы, электродуговые процессы, лучевые методы сварки, контактная стыковая сварка, экономическая эффективность

Развитые страны, испытывающие потребности в большом количестве природного газа, активно планируют и строят магистральные трубопроводы от газодобывающих центров к местам потребления. Особенно это касается таких стран, как Бразилия, Алжир, Австралия, Россия, страны Каспийского региона и Ближнего Востока.

Сварка является наиболее ответственной технологической операцией при строительстве трубопроводов, и темп строительства зависит от производительности выполнения сварочных работ, поэтому развитие сварочных технологий является решающим фактором, определяющим качество и эффективность выполнения строительно-монтажных работ.

Сварочные процессы и технологии можно разделить на следующие группы: электродуговые, лучевые и пресовые, включая контактную сварку оплавлением и сварку трением. Применение этих технологий должно обеспечивать высококачественные сварные соединения нового поколения трубопроводов из стали повышенной категории прочности, таких как X65, X70, X80 при диаметрах до 56 дюймов.

Электродуговые процессы. С 1960-х годов самой распространенной технологией была ручная электродуговая сварка (РДС) электродами целлюлозного вида корня шва и заполняющих слоев электродами с основным видом покрытия. Эта технология и в настоящее время используется для сталей обычного класса прочности. Она требует высокой квалификации сварщиков-операторов при соблюдении температурного режима сварки с целью удаления водорода из сварного соединения. Технология РДС будет и далее использоваться на

небольших участках трубопроводов при стесненных условиях и ремонтно-сварочных работах.

Процесс сварки MIG/MAG с выполнением корня шва с управляемым переносом электродного металла по методу STT и последующим заполнением разделки при обычном процессе представлен на рис. 1. В настоящий момент этот метод широко используется, причем заполнение после выполнения корневого слоя, помимо использования процесса MIG/MAG, можно выполнять и электродами с основным видом покрытия. Особенностью этого процесса является достижение очень высокого качества многослойного шва, если сварка полностью выполнена с внешней стороны трубы.

Для выполнения сварного шва полностью процессом MIG/MAG (рис. 2) ряд фирм провели исследовательские работы и создали аппаратуру для автоматической орбитальной сварки (установки «Протеус»).



Рис. 1. Схема процесса MIG/MAG (метод STT)

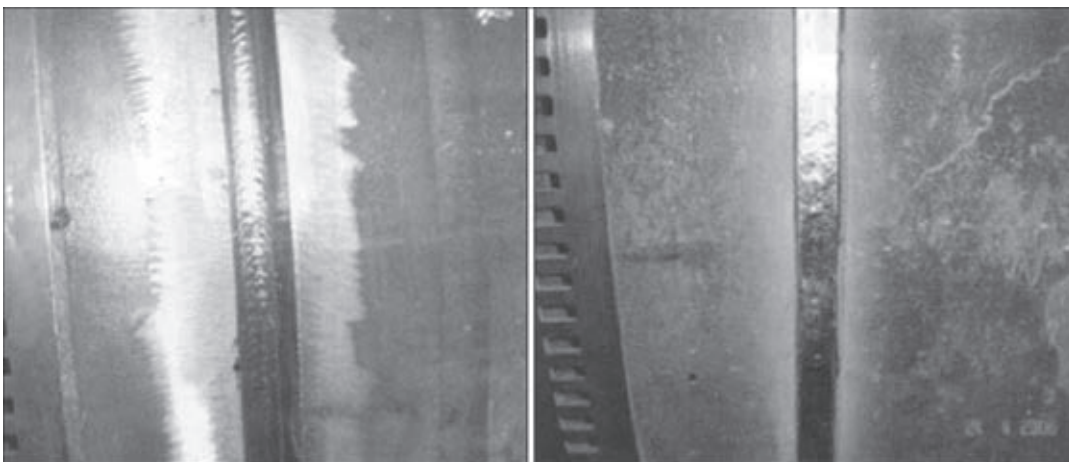


Рис. 2. Внешний вид сварного соединения, выполненного процессом MIG/MAG

Существуют модификации, когда орбитальный аппарат работает с двумя горелками (рис. 3), что сокращает время заполнения шва. Особенно интересна модификация тандемного процесса MIG/MAG, предоставляющего новые возможности роста производительности. В этом случае одна сварочная горелка с двумя контактными дюзами обеспечивает подачу двух проволок в одну сварочную ванну. В настоящее время его использование в строительном-монтажных условиях ограничено, во-первых, из-за нестабильности процесса и, во-вторых, потребности в сварщиках-операторах высокой квалификации.

Для процесса MIG/MAG наиболее усовершенствованной является технология с использованием сварочной колонны (рис. 4) фирмы CRC Evans (США, Хьюстон). Согласно этой технологии сварное соединение выполняется сварочными головками, расположенными изнутри и снаружи сварного соединения соответствующих труб.

К сварным соединениям кольцевых сварных швов при выполнении процессом MIG/MAG предъявляются требования по очень точной геометрии стыкующихся торцов труб и точного контроля параметров сварки. Поскольку наплавленный слой на одном сварочном посту имеет толщину 3 мм, то для толстостенных труб, например 24 мм, необходимо организовать восемь сварочных постов, чтобы сохранить расчетный цикл во время выполнения одного сварного стыка. В на-

стоящий момент эта технология широко используется. Однако она требует персонала численностью свыше 60 человек, обслуживающего сварочную колонну для сварки трубопровода диаметром 1420 мм при толщине стенки до 24 мм.

Лучевые способы сварки. Среди лучевых сварочных технологий наиболее развитой является технология гибридной лазерной сварки. Разработанные в SLV Halle (Германия) установки в лабораторных условиях показывают обнадеживающие результаты (рис. 5). Однако для внедрения этой технологии необходимо приложить еще много усилий по модификации оборудования (рис. 6) и разработке монтажно-сварочных приспособлений.

Прессовые способы. На региональном конгрессе Международного института сварки, состоявшемся в Софии 20–24 октября 2010 г., обсуждались все используемые сварочные технологии при сооружении магистральных трубопроводов.



Рис. 3. Аппаратура «Протеус» с двумя головками



Рис. 4. CRC колонна на трассе

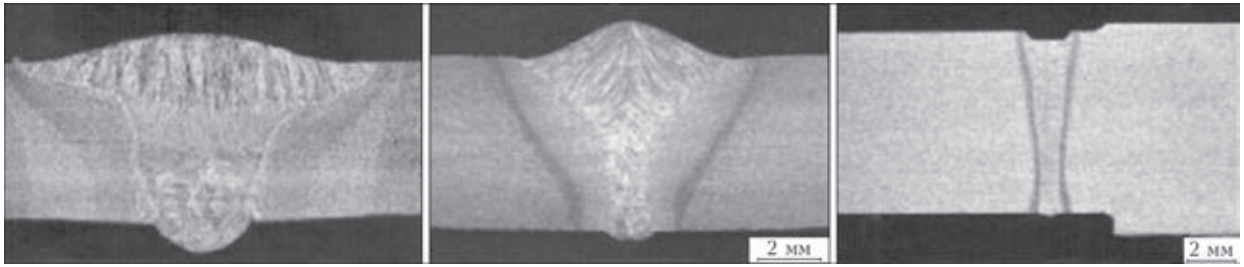


Рис. 5. Макрошлиф соединений трубных сталей, выполненных с использованием различных источников энергии: а – MIG/MAG; б – MIG/MAG + лазер; в – лазер

Наиболее удачной с точки зрения производительности, небольшого количества обслуживающего персонала, наименьшего влияния субъективного человеческого фактора была признана технология стыковой контактной сварки оплавлением (КССО). Резолюция конгресса рекомендовала ее приоритетное внедрение.

На практике технология КССО представляет собой процесс, при котором обеспечивается подача напряжения между двумя торцами труб, которые сближаются по определенной программе, в результате чего получается искрение (flashing). Энергия проходящего тока большого значения (сотни тысяч ампер) нагревает торцы труб, после быстрого сжатия которых обеспечивается неразъемное соединение.

Эта технология создана в ИЭС им. Е. О. Патона под руководством Б. Е. Патона, С. И. Кучук-Яценко, В. К. Лебедева совместно с организациями Миннефтегазстроя СССР в 1970-е годы. В дальнейшем на ее базе была разработана сварочная установка «Север 1», с помощью которой было сварено свыше 1 млн сварных соединений труб диаметром 1420 мм и после 30 лет их эксплуатации нет ни одного случая возникновения аварийной ситуации.

После 2009 г. завод ЗАО «Псковэлектросвар» совместно с ИЭС им. Е. О. Патона провел модификацию этого оборудования для использования данной технологии при сварке трубопрово-

дов большого диаметра. Был разработан комплекс КСС-04 (рис. 7), который в настоящее время планируется широко использовать на многих участках инвестиционной трубопроводной системы как в РФ, так и в других странах.

В соответствии с упомянутой выше резолюцией МИС было получено несколько экспериментальных сварных соединений труб большого диаметра, которые затем были испытаны в лабораториях ЗАО «Псковэлектросвар», а также в лабораториях Института материаловедения Болгарской академии наук. С помощью компьютерной системы управления были точно заданы параметры режима сварки и режимы последующей термообработки, а также параметры снятия наружного и внутреннего граты для последующего автоматического ультразвукового контроля.

В экспериментах использовали сталь категории прочности X65 фирмы «Europipe» (Германия) следующего химического состава, мас. %: 0,071 углерода, 0,237 кремния, 1,51 марганца, 0,005 серы, 0,009 фосфора, 0,04 хрома, 0,15 никеля, 0,07 мо-

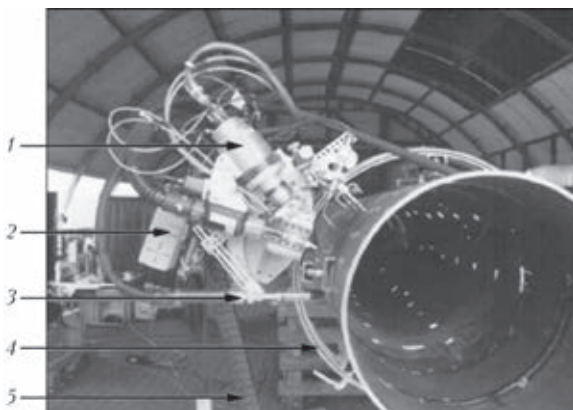


Рис. 6. Сварочный комплекс для гибридной лазерной сварки: 1 — головка для гибридной сварки; 2 — перемещающийся трактор с датчиком управления; 3 — горелка в положении заполнения разделки; 4 — кольцо; 5 — шланг

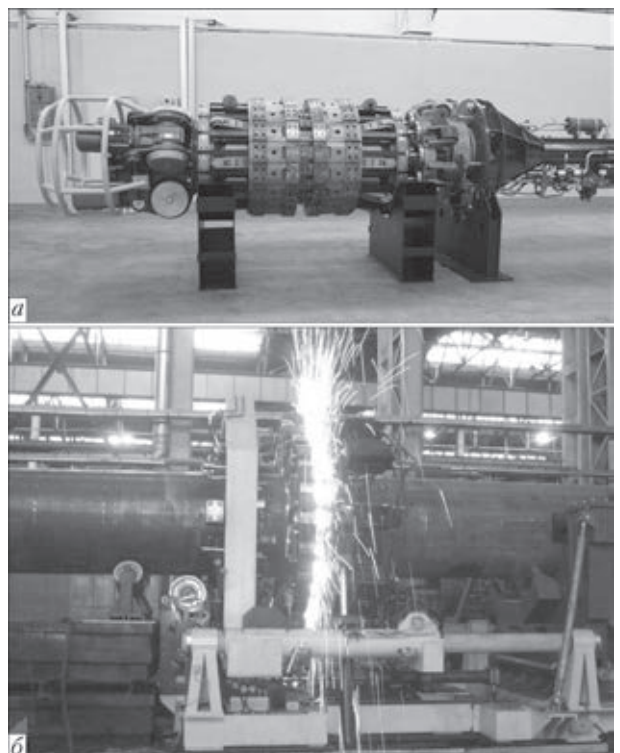


Рис. 7. Комплекс КСС-04: а — внешний вид; б — в процессе работы



Сравнение экономической эффективности внедрения комплекса электроконтактной сварки типа КСС-04 и сварочной колонны CRC Evans

Показатель	CRC Evans	КСС-04
Протяженность трубопровода, км	100	
Диаметр трубопровода, мм	1 420	
Толщина стенки трубопровода, мм	≤ 25	
Стоимость одного комплекса, дол. США	5 750 000	3 930 000
Общее количество стыков на всем трубопроводе с учетом возможного брака, шт.	9 180	9 116
Численность персонала проекта, чел.	68	16
Себестоимость сварки одного стыка, дол. США	874	579

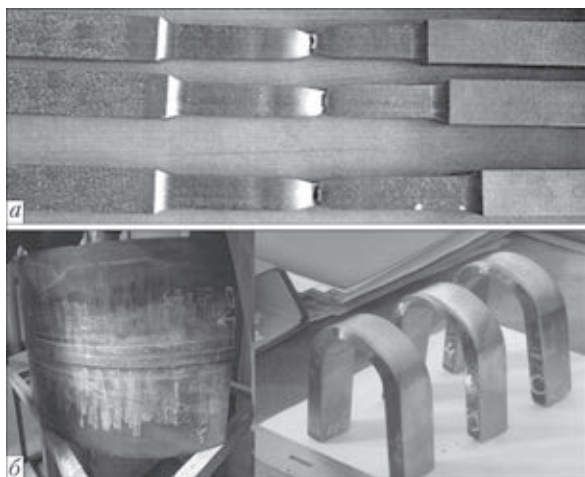


Рис. 8. Внешний вид образцов сварных соединений труб Ду 1220×27 мм после испытаний на растяжение (а) и изгиб (б)

либдена, 0,04 ванадия, 0,037 алюминия, 0,012 титана, 0,02 ниобия, 0,002 бора, 0,03 меди. Ее механические свойства в состоянии поставки следующие: $\sigma_{0,2} = 490$ МПа; $\sigma_b = 553$ МПа; $\delta = 26,5$ %; $KCV_{+20} = 335,8$ Дж/см²; $KCV_{-40} = 334,9$ Дж/см². После испытаний образцов были получены следующие прочностные характеристики, МПа: 538, 545, 541 и 540.

Внешний вид образцов сварных соединений труб Ду 1220×27 мм после испытаний на растяжение и изгиб представлен на рис. 8.

Отметим преимущества КССО:

- процесс выполняется на одном посту;
- обеспечивается высокий темп строительства трубопроводов за счет малого времени сварки одного стыка на одном посту, которое составляет 60...200 с в зависимости от типоразмера свариваемых труб диаметром от 114 до 1420 мм с толщиной стенки до 30 мм. Накоплен большой промышленный опыт применения КССО при строительстве трубопроводов различного назначения в наземных условиях;
- весь процесс от начала до конца выполняется в автоматическом режиме по заданной программе,

что исключает субъективное влияние сварщика на качество соединений;

- в сварных соединениях достигается низкий уровень остаточных напряжений, что существенно повышает коррозионную стойкость такого соединения; механические свойства отвечают требованиям стандартов развитых стран (например, стандарту AP1-1104, США);

- качество сварных соединений эффективно оценивается посредством компьютеризированной обработки фактических значений параметров режима сварки, созданного на базе реально существующей зависимости «режим сварки – качество соединения», которая обусловлена физическими особенностями процесса КССО; достоверность выявления возможных дефектов практически равна 100 %, в том числе при использовании автоматизированного ультразвукового контроля;

- трубы всех классов прочности сваривают при любой температуре окружающей среды без предварительного подогрева;
- погодные факторы не оказывают влияния на качество сварных соединений;
- повышается скорость строительства трубопроводов;
- снижаются материальные затраты на строительство трубопроводов.

Данные, приведенные в таблице, красноречиво свидетельствуют о преимуществах использования комплекса КСС-04 по сравнению со сварочной колонной CRC. Особенно показательны сопоставление таких факторов, как численность обслуживающего персонала, себестоимость одного сварного соединения, которые в пользу комплекса КСС-04.

Исходя из этого фирмы, например болгарские, занимающиеся реализацией проектов по строительству трубопроводов большого диаметра, в дальнейшем будут ориентироваться на применение комплексов КСС-04.

Поступила в редакцию 01.04.2013