

компрессорных станций // Сварка и Диагностика. 2010. № 5. С. 42 – 47.

5. Куркин А. С., Макаров Э. Л. Программный комплекс «Сварка» – инструмент для решения практических задач сварочного производства // Сварка и Диагностика. 2010. № 1. С. 16 – 24.

6. Полосков С. И., Букаров В. А., Ищенко Ю. С. Особенности управления формированием корня шва при орбитальной сварке неповоротных стыков труб // Сварочное производство. 2003. № 4. С. 3 – 10.

7. Винокуров В. А., Куркин С. А., Николаев Г. А. Сварные конструкции: механика разрушения и критерии работоспособности / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1996. 577 с.

8. Пономарева И. Н. Остаточные сварочные напряжения при многопроходной сварке стыков трубопроводов // Сварочное производство. 2009. № 1. С. 7 – 11.

9. Oliveira G. L. G., Miranda H. C., Pereira F. J. Residual stress evaluation in small diameter pipes welded using the orbital TIG process // Welding international. 2010. Vol. 24. № 10. P. 749– 757.



О. Б. Гецкин



Е. М. Вышемирский

УДК 621.791.75.03-52

О. Б. Гецкин, канд. техн. наук (НПП «ТехноТрон»),

Е. М. Вышемирский, канд. техн. наук,

А. В. Шипилов, инж. (ОАО «Газпром»),

С. И. Полосков, д-р техн. наук

(ФГУ НУЦ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана)

sales@tehnotron.ru

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ СВАРКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Рассмотрены технологические аспекты обеспечения воспроизводимости качества сварных соединений при автоматической орбитальной сварке. Приведены результаты внедрения комбинированной технологии и оборудования для автоматической орбитальной сварки. Показано, что разработка оригинальных отечественных сварочных головок, быстродействующих источников и аппаратуры управления с применением микропроцессорной техники позволяет на практике реализовать технологию комбинированной автоматической орбитальной сварки при строительстве магистральных газопроводов.

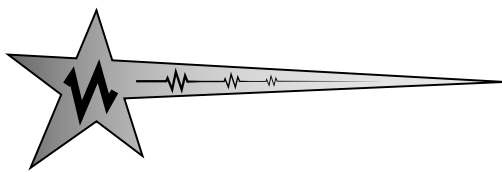
Ключевые слова: магистральный трубопровод, качество сварных соединений, орбитальная сварка, плавящийся электрод, управляемый каплеперенос.

Введение. В настоящее время сварка является единственным способом соединения отдельных труб или трубных секций в непрерывную нитку непосредственно на трассе. Так как от сварочных работ зависит общий темп строительства трубопроводов, то они могут стать существенным резервом в обеспечении воспроизводимости качества сварных соединений, а следовательно, эксплуатационной надежности трубопроводов, сокращения сроков выполнения строительно-монтажных работ [1, 2].

В этой связи выработаны четкие критерии эффективности применяемых сварочных технологий: гарантированная воспроизводимость качества сварных соединений; возможность реализации процессов сварки в полевых условиях; производительность; приемлемая стоимость оборудования и материалов; возможность подготовки и аттестации необходимого персонала; экономическая целесообразность применения [3].

На отечественном рынке представлено в основном импортное оборудование, которое позволяет выполнять как двухстороннюю сварку (фирма CRC Evans, США), так и одностороннюю (Serimax, Франция; Pipe Welding Technology, Италия). Следует отметить, что оборудование фирмы Serimax обеспечивает выполнение сварки одновременно двумя дугами из общей горелки. В последние годы появился целый ряд способов управления переносом капли через дуговой промежуток: хорошо известный процесс STT фирмы Lincoln Electric (США), процесс FastROOT – сварка модифицированной короткой дугой фирмы KEMPII (Финляндия), процесс «холодного» каплепереноса (Cold Metal Transfer) фирмы Fronius International GmbH (Австрия), процесс Force Arc фирмы EWM (Германия) и др.

К сожалению, традиции отечественных сварочных школ в области разработки конкурентоспособных высокотехнологичных процессов сварки в значительной степени утрачены,



основные отечественные потребители используют западные сварочные технологии. При этом зачастую данные технологии практически реализуют отечественные наработки 70 – 80 гг. прошлого века, которые в свое время не были реализованы в промышленности из-за отсутствия необходимого аппаратного обеспечения. В отечественном оборудовании полностью или частично присутствуют компоненты западных фирм: источники, сварочные головки, системы управления. В этой связи необходимость разработки нового поколения отечественного оборудования для сварки магистральных трубопроводов обусловлена не только желанием повысить производительность сварки и обеспечить стабильно высокое качество сварных соединений, но и восстановить престиж отечественной сварочной науки.

Цель данной работы – рассмотрение отечественного опыта совершенствования технологий и создания оборудования для автоматической орбитальной сварки при строительстве магистральных трубопроводов.

Проведенный анализ показал, что для разработки технологий и создания конкурентного, полностью отечественного, оборудования для автоматической орбитальной сварки плавящимся электродом необходимо исследовать особенности перехода капли электродного металла в ванну при сварке в различных пространственных положениях; разработать технологию орбитальной сварки, устойчивую к возмущениям внешней среды и сформулировать технические требования к сварочному оборудованию; разработать необходимое оборудование с использованием последних достижений в области системной техники и новых возможностей современной элементной базы; провести квалификационные испытания предлагаемых технологий сварки; осуществить промышленное внедрение оборудования и технологий сварки при строительстве трубопроводов.

Исследование особенностей перехода капли электродного металла в ванну при орбитальной сварке. Известно [4, 5], что наиболее доступно управление энергетическими характеристиками дуги с гарантированным переносом капли по данным о ее касании поверхности ванны в процессе сварки с коротким замыканием (КЗ) капель дугового промежутка. При этом цикл управляемого каплепереноса (УКП) каждой капли электродного металла в сварочную ванну состоит из микроциклов: снижения тока в момент касания капель поверхности ванны; подачи импульса тока через определенное время после касания и увеличения тока после разрыва перемычки [6].

Физико-математическое моделирование особенностей сварки с УКП [7, 8] позволило не только определить требования к технологическим процессам орбитальной сварки, устойчивым к возмущениям, и сварочному оборудованию, но и обосновать требования к сборке стыков под сварку [9]. Технологические возможности УКП позволяют рекомендовать его для высокотехнологичных процессов автоматической орбитальной сварки

трубопроводов больших диаметров, используемых для транспортировки газа или нефти.

Технологии автоматической орбитальной сварки, устойчивые к возмущениям внешней среды. Технологический процесс сварки неповоротных стыков труб включает следующие основные операции: сборку стыка, предварительный подогрев и сварку стыка. Непосредственно сварочные операции можно подразделить на сварку корня шва, выполнение первого заполняющего «горячего» прохода, заполнение разделки и выполнение облицовочного прохода. Так как выполнение «горячего» прохода снижает внутренние напряжения в корневом слое шва, то его необходимо выполнять по еще не успевшему остыть ниже регламентированной температуры подогрева металлу разделки.

Сравнительная оценка производительности различных вариантов сварки показала, что сварка с УКП, хотя и обеспечивает стабильно высокое качество при выполнении корневых проходов, при определенном снижении требований к качеству сборки несколько уступает по производительности традиционным видам сварки плавящимся электродом. В процессе исследований определена целесообразность применения комбинированной технологии автоматической орбитальной сварки трубопроводов, по которой сварку корневого прохода выполняют сплошной проволокой за два полуоборота плавящимся электродом с УКП в CO_2 , а сварку «горячего», заполняющих и облицовочного проходов – порошковой проволокой в среде в защитных газах или самозащитной порошковой проволокой.

Ориентировочные параметры режима сварки корневого слоя шва сплошной проволокой L-56 диаметром 1,14 мм методом УКП в CO_2 на магистральных трубопроводах с управляемым каплепереносом электродного металла приведены в табл. 1.

Исследовательским путем установлено существенное повышение производительности процесса сварки при заполнении разделки с использованием газозащитных порошковых проволок (сварку данными проволоками выполняют в защитных газах). В промышленно развитых странах наблюдается устойчивая тенденция увеличения объема применения газовых смесей на основе аргона, гелия и других технических газов, существенно уменьшающих разбрызгивание при сварке. Так, в Германии объем сварки в смесях газов превышает объем сварки в CO_2 еще в 1976 г., в то время как на отечественных предприятиях доля сварки в CO_2 до сих пор превышает 80 % [10]. Поэтому при заполнении разделки газозащитными порошковыми проволоками использовали газовую смесь состоящую из 75 % Ar и 25 % CO_2 .

Рекомендуемые ориентировочные параметры режимов автоматической сварки порошковой проволокой в защитных газах горячего прохода, заполняющих и облицовочного слоев шва неповоротных стыков труб приведены в табл. 2.

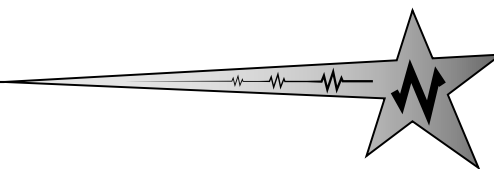


Таблица 1

Параметр	Значение параметра
Направление сварки	На спуск
Тип; полярность тока	Постоянный; обратная
Диаметр электродной проволоки, мм	1,0; 1,2
Базовый ток, А	40 – 50
Максимальный ток в микроцикле, А	230 – 250
Спад тока, условные единицы	≤ 3
Горячий старт, условные единицы	35 – 40
Скорость сварки, мм/с	≤ 5
Скорость подачи проволоки, мм/с, в положении: 12 ч – 1 ч 1 ч – 6 ч	40 – 45 50 – 55
Скорость колебаний электрода, мм/с	12 – 15
Время задержки электрода на кромках, с	0,4
Амплитуда колебаний электрода, мм	0 – 4,0
Вылет электрода, мм	5 – 10
Угол наклона электрода, град.	± 15
Защитный газ	100 %-ный CO ₂
Расход защитного газа, л/мин	15 – 20

Примечание. Перемещение горелки на спуск от нижнего до потолочного положения совпадает с движением стрелки по циферблату часов начиная от 12 ч до 6 ч.

Одновременно были проведены работы по уточнению режимов сварки корневых проходов методом УКП в газовых смесях на основе аргона. Установлено, что практически одинаковое формирование корня шва с минимальным разбрызгиванием электродного металла достигается при использовании в качестве защитного газа как CO₂, так и газовых смесей, поэтому с точки зрения снижения затрат в данном случае рекомендуется применять CO₂, однако это не исключает применение и газовых смесей.

Однако наибольший интерес для специалистов-сварщиков, занятых на строительстве магистральных трубопроводов, представляет именно возможность обеспечения высоких эксплуатационных свойств сварных соединений при заполнении разделки самозащитной порошковой проволокой, без дополнительной защиты сварочной ванны CO₂ или газовой смесью, так как в мировой практике такой вариант автоматической орбитальной сварки по целому ряду причин практически не применяют или применяют с определенными ограничениями. В процессе исследований установлено, что для компенсации несколько большей неравномерности заполнения разделки по периметру стыка, чем при сварке газозащитными порошковыми проволоками, при заполнении разделки самозащитной порошковой проволокой целесообразно введение дополнительного корректирующего прохода перед выполнением облицовочного прохода.

Рекомендуемые параметры режимов сварки самозащитной порошковой проволокой при заполнении разделки приведены в табл. 3.

Рекомендуемое число заполняющих и облицовочных слоев (проходов) шва в зависимости от толщины стенки трубы при сварке самозащитной порошковой проволокой диаметром 2,0 мм приведено в табл. 4.

Проведенные квалификационные испытания разработанных технологий автоматической сварки магистральных трубопроводов подтвердили стабильно высокое качество сварных соединений.

Разработка оборудования для автоматической орбитальной сварки. Ориентация на потребителя требует поставки качественной продукции при минимальных затратах и в сжатые сроки. Один из важных резервов решения данной проблемы – применение типовых конструкторских решений, основанных на принципах унификации и стандартизации, устранении необоснованного многообразия типов и конструкций изделий и деталей, их форм, размеров, марок материалов.

Специфика сварочных работ при строительстве магистральных трубопроводов обусловила необходимость создания сварочных автоматов, как функционально делимых структур. При этом для орбитальных сварочных автоматов характерна такая компоновка, при которой на свариваемый стык устанавливают только сварочную головку, а источник и аппаратура управления находятся вне рабочей зоны [11]. Такая компоновка орбитальных сварочных автоматов обуславливает необходимость создания оборудования по блочно-модульному принципу конструирования.

При этом в состав комплекса блочно-модульных компонентов должны входить следующие элементы механической части сварочных автоматов: направляющие пояса на весь диапазон

Таблица 2

Параметр	Слой (проход) при заполнении разделки		
	Первый заполняющий (горячий)	Последующие заполняющие	Облицовочный
Направление сварки	На подъем		
Скорость подачи проволоки, мм/с	100	120	100
Тип; полярность тока	Постоянный; обратная		
Ток сварки, А	180 – 190	210 – 220	180 – 190
Напряжение дуги, В	22	23	22
Вылет проволоки, мм	8 – 12		
Скорость сварки, мм/мин	3,0	2,6 – 2,8	2,0 – 2,2
Скорость колебаний электрода, мм/с	20	24	28
Амплитуда колебаний электрода, мм	Устанавливается по ширине разделки		
Время задержки электрода на кромке, с	0		
Угол наклона электрода (вперед), град.	0 – 5		
Защитный газ	75 % Ar + 25% CO ₂		
Расход газа, л/мин	30 – 40		

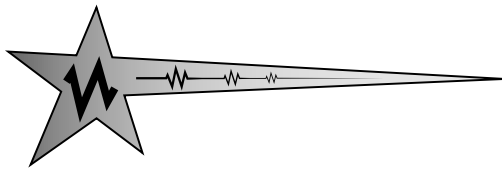


Таблица 3

Параметр	Слой (проход) при заполнении разделки			
	«Горячий»	Заполняющие	Корректирующий	Облицовочный
Направление сварки	На спуск			
Диаметр проволоки, мм	2,0			
Скорость сварки, мм/с, в положении:				
12 ч – 2 ч	3,0	2,8	–	3,0
2 ч – 4 ч	3,6	3,2	3,4	3,4
4 ч – 5 ч	3,0	2,8	–	3,0
5 ч – 6 ч	1,8	1,6	–	1,6
Тип; полярность тока	Постоянный; обратная			
Напряжение дуги, В	18 – 19			
Скорость подачи проволоки, мм/с, в положении:				
12 ч – 5 ч	30	36	36	30
5 ч – 6 ч	24	28	–	24
Ток сварки, А	200 – 210	230 – 240	230 – 240	200 – 210
Вылет электрода, мм	12 – 19			
Амплитуда колебаний электрода, мм	По ширине разделки		6	12
Скорость колебаний, мм/с	≤ 26			
Задержка электрода на кромках, с, в положении:	0,2			
12 ч – 5 ч	0,2			
5 ч – 6 ч	0,6	–	–	0,6
Угол наклона электрода, град., в положении:	10 (назад)			
12 ч – 3 ч	10 (назад)			
3 ч – 5 ч	0			
5 ч – 6 ч	10 (вперед)	–	–	10 (вперед)

Таблица 4

Толщина стенки, мм	Наименование слоя (прохода)		
	Заполняющие	Корректирующий	Облицовочный
14	3 – 4	1	1 – 2
16	3 (5)		2 – 3
18	4 (7)		2 – 3
20	5 (9)		3

Примечание. Число заполняющих слоев (проходов) зависит от величины зазора при сборке и угла разделки (число слоев не всегда совпадает с числом проходов, так как в зависимости от ширины разделки слой наплавляемого металла может заполняться за несколько проходов).

свариваемых труб; механизм перемещения головки (каретки) по направляющему поясу со скоростью сварки; функциональные механизмы перемещений сварочной горелки при настройке на стык, подачи электродной или присадочной проволоки, колебания горелки в разделке; комплект горелок для сварки сплошной и порошковой проволокой; элементы системы подачи проволоки (кассетный узел, направляющие тракты, правильный механизм и т.д.).

Для работы функциональных механизмов сварочных головок в состав комплекса блочно-модульных компонентов должны

входить следующие элементы электрической части автоматов: системы управления электроприводами функциональных механизмов и программируемыми блоками реализуемых циклов сварки; многофункциональные сварочные источники, обеспечивающие реализацию основных видов сварки плавящимся электродом. Поэтому система управления процессом сварки выполнена в виде двух функциональных модулей, один из которых предназначен для управления каплепереносом в процессе сварки, а второй – функциональными механизмами сварочной головки. Система управления каплепереносом расположена в корпусе источника, система управления функциональными механизмами выполнена в виде отдельного блока. Такая компоновка позволяет реализовывать практически любой цикл сварки трубопроводов.

В настоящее время в сварочных источниках наиболее перспективно применение IGBT-модулей на базе биполярных транзисторов с изолированным затвором. В этой связи основой схемы многофункционального источника является двухтактный инвертор, выполненный на IGBT-модулях [12]. Интеллектуальная система управления каплепереносом на базе контроллера обеспечивает не только динамическое изменение энергетических характеристик источника, но и значительно упрощает панель управления его функциями, что особенно важно при контроле и корректировке разнотемповых процессов. Независимое управление сварочным током и скоростью подачи электродной проволоки при помощи быстродействующего микропроцессора и обратных связей позволяет идентифицировать касание капель поверхности ванны, контролировать и изменять параметры сварочной дуги более 1000 раз в одну секунду.

Сварочные источники отличающиеся меньшим быстродействием, не обеспечивают необходимые управляющие воздействия, поэтому их применение для сварки с управляемыми КЗ связано либо с недостаточным знанием процессов каплепереноса, либо заведомым предоставлением недостоверных сведений потребителям.

Сварочные источники отличающиеся меньшим быстродействием, не обеспечивают необходимые управляющие воздействия, поэтому их применение для сварки с управляемыми КЗ связано либо с недостаточным знанием процессов каплепереноса, либо заведомым предоставлением недостоверных сведений потребителям.

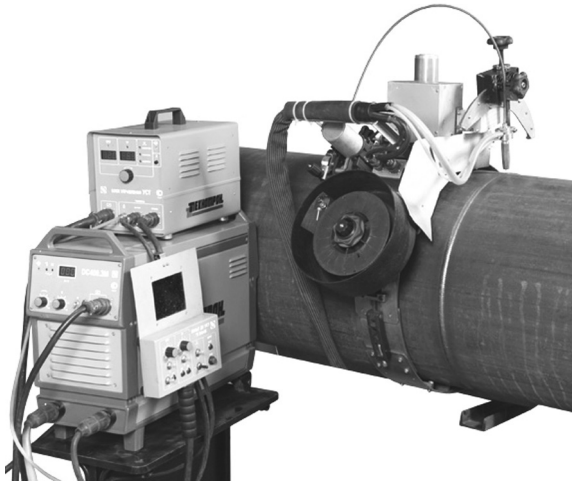
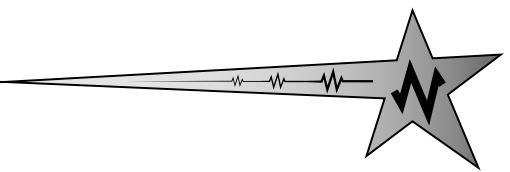


Рис. 1. Сварочная установка УАСТ-1 для орбитальной сварки

Реализация технических решений в автомате для орбитальной сварки магистральных трубопроводов. Для реализации описанных принципов блочно-модульного построения оборудования разработана сварочная головка АСТ-1, предназначенная для автоматической орбитальной сварки магистральных трубопроводов в полевых условиях. На ее основе создана установка УАСТ-1, приведенная на рис. 1.

В состав орбитальной сварочной установки (автомата) УАСТ-1 входят сварочная головка АСТ-1, аппаратура управления УАСТ-УКП, инверторный источник ДС 400.33-УКП, комплект направляющих поясов и пульт дистанционного управления ДУ-УАСТ. Установка предназначена для применения как в заводских (цеховых), так и трассовых условиях при температуре от – 40 до 40 °С.

Техническая характеристика установки УАСТ-1

Диапазон диаметров свариваемых труб, мм	219 – 1420
Толщина стенок свариваемых труб, мм	≤ 48
Скорость вращения сварочной головки, мм/с	0,5 – 12,0
Диаметр электродной проволоки, мм	0,8 – 2,0
Тип электродной проволоки.....	Сплошная/Порошковая
Скорость подачи электродной проволоки, мм/с	16 – 200
Скорость перемещения горелки при колебаниях, мм/с	14 – 100
Амплитуда колебаний горелки, мм	0 – 20
Время задержки на кромках, с	0 – 1,2
Регулировка смещения центра колебаний, мм	≤ 5
Регулировка наклона горелки, град.	± 30
Корректировка электрода поперек стыка, мм	± 15
Регулировка вылета электродной проволоки, мм	0 – 45
Масса, кг:	
- головки	≤ 25
- блока управления	≤ 8
- источника сварочного тока	≤ 40

Установлено, что при эксплуатации сварочного оборудования в полевых условиях значительная доля отказов в его работе связана с трудно прогнозируемыми скачками напряжения вход-

ной сети и климатическими факторами. Это особенно характерно при строительстве трубопроводов в Сибири, где основной объем работ приходится выполнять в зимний период из-за зыбкости грунтов в другое время. Для повышения надежности выпускаемого сварочного оборудования организована поддержка его качества на всех стадиях жизненного цикла – при проектировании, изготовлении, а также сопровождении и техническом обслуживании процесса эксплуатации.

Опыт практического применения сварочного оборудования. Одной из актуальных задач, стоящих перед ОАО «Газпром», является строительство Северо-Европейского газопровода (Nord Stream), который через Балтийское море соединит Россию и Евросоюз. По причинам недостаточной пропускной способности существующих газопроводов и для обеспечения надежного бесперебойного и безопасного газоснабжения центральных регионов РФ, возможности маневрирования потоками газа, а также обеспечения поставок газа в Северо-Европейский газопровод ОАО «Газпром» принято решение о реализации проекта по строительству нового магистрального газопровода «Починки–Грязовец» диаметром 1400 мм (DN 1400). Трасса газопровода проходит по территории Нижегородской, Владимирской, Ивановской, Ярославской и Вологодской областей РФ.

Учитывая актуальность проблемы, сварочные работы на газопровode «Починки – Грязовец» выполняют с применением современных технологий и оборудования для автоматической орбитальной сварки, в частности, установок УАСТ-1. Наряду со сварочным, применяют и другое оборудование: станки для выполнения специальной разделки на торцах труб; индукционные установки и пропановые подогреватели для предварительного, сопутствующего и межслойного подогрева стыков; внутренние пневматические центраторы; агрегаты энергообеспечения на базе колесных тягачей «Урал», на шасси которых расположены дизельная станция, рампы для баллонов с газом и грузоподъемное оборудование для перемещения и установки на свариваемый стык защитной палатки; дополнительное оборудование. Для бесперебойной работы организованы пункт подачи защитных газов и передвижная мастерская для наладки и ремонта оборудования и хранения запасных частей.

Современной технологией строительства линейной части магистральных трубопроводов диаметром до 1420 мм предусмотрена сборка и сварка труб в непрерывную нитку на бровке траншеи и последующая ее укладка в траншею с помощью трубоукладчиков. При строительстве применяли трубы, заранее изолированные на заводах-изготовителях, поэтому непосредственно в полевых условиях изоляционное покрытие наносили только на сваренные стыки, перед укладкой участка трубопровода в траншею. Так как принятая схема строительства предусматривала сварку одиночных труб с заводским изоляционным покрытием непосредственно на трассе, то последовательно выполняли следующие основные технологические

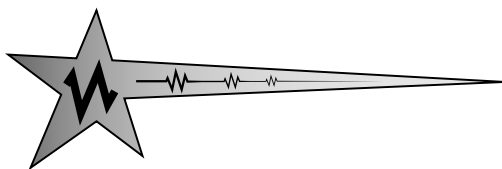


Рис. 2. Раскладка труб на трассе

операции: раскладку труб на бровке траншеи; выполнение на торцах труб специальной разделки кромок; предварительный подогрев концов труб; сборку стыка и его предварительный подогрев; установку на торцах труб направляющих поясов для сварочных автоматов и автоматическую сварку стыков; контроль; изоляцию сваренных стыков и укладку участка трубопровода в траншею. Для сокращения времени на последующую настройку сварочной головки на стык направляющие пояса устанавливали с помощью специальных шаблонов.

На рис. 2 показана раскладка труб на трассе под последующую сварку с применением установки УАСТ-1.

В состав каждого мобильного поста входило по две сварочные установки УАСТ-1, поэтому в кунгах колесных тягачей «Урал» наряду с агрегатами автономного энергообеспечения располагались по два источника сварочного тока ДС 400.33-УКП с аппаратурой управления УАСТ-УКП (рис. 3).

В кунге были также предусмотрены места для хранения сварочных головок АСТ-1 и расходных материалов. Для защиты сварочной ванны от осадков и сдувания ветровыми потоками газовой защиты сварочные работы (рис. 4) выполняли только с использованием



Рис. 3. Расположение сварочных источников ДС 400.33-УКП с аппаратурой управления УАСТ-УКП в кунге колесного тягача «Урал»

мобильных укрытий (палаток).

Сварку корневого слоя шва выполняли с двух сторон двумя сварочными головками с практически одновременным замыканием шва в потолочном положении. Защитный газ – CO_2 или газовая смесь, состоящая из 75 % аргона и 25 % CO_2 . При сварке использовали сварочную проволоку Super Arc L-56 (Lincoln Electric) диаметром 1,14 мм.

Заполнение разделки и выполнение облицовочного прохода также выполняли двумя сварочными головками (рис. 5). При сварке использовали самозащитную порош-



Рис. 4. Выполнение сварочных работ в зимних условиях

ковую проволоку Pipeliner NR-208-XP (Lincoln Electric) диаметром 2,0 мм.

Для обеспечения высокой производительности процесса сварку выполняли известным поточно-расчлененным методом с применением одновременно четырех мобильных сварочных постов, рис. 6.

Проведенный анализ качества сварных соединений, сваренных с применением установок УАСТ-1, показал, что воспроизводимость качества составляет 0,95-0,97, т.е. на каждую тысячу сваренных стыков приходилось не более 30 – 50 стыков с дефектами, требующими устранения.

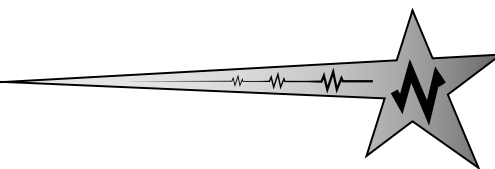


Рис. 5. Заполнение разделки и выполнение облицовочного прохода на магистральном газопроводе «Починки-Грязовец»

Применение после длительного перерыва в трассовых условиях отечественных сварочных технологий и высокотехнологичного сварочного оборудования свидетельствует о восстановлении престижа российской сварочной науки и техники. Достигнутые результаты позволяют рекомендовать разработанные технологии и оборудование для применения в других отраслях промышленности РФ, например, для заполнения разделки стыков при мон-



Рис. 6. Сварка поточно-расчлененным методом с применением четырех сварочных постов



таже и ремонте толстостенных трубопроводов больших диаметров на объектах атомной энергетики и промышленности. Дальнейшее совершенствование процессов орбитальной сварки будет происходить с применением как технологических методов, так и аппаратных средств. При этом технологические методы будут основываться на эффективном регулировании тепловложения в сварочную ванну за счет уменьшения количества наплавляемого металла при сварке в узкощелевую разделку, возможности реализации процесса при минимально возможной погонной энергии и разработки новых сварочных материалов.

В настоящее время развитие систем управления технологических процессов идет по пути совершенствования гибкости их реализации с одновременным обеспечением высокой степени автономности от оператора. Поэтому одновременно с совершенствованием технологий орбитальной сварки будут проводиться работы по полному исключению субъективного влияния сварщика-оператора на процесс сварки путем корректировки параметров при возмущениях в режиме on-line аппаратными средствами [13], что, несомненно, скажется на стабильности воспроизводства качества сварных соединений. В этой связи можно констатировать, что основные технические проблемы, ранее препятствующие внедрению отечественных высокотехнологических разработок для автоматической орбитальной сварки плавящимся электродом, практически решены, а субъективное влияние сварщика-оператора на процесс орбитальной сварки будет минимизировано в самое ближайшее время.

Выводы

1. Интеллектуальная система управления каплепереносом современного высокотехнологичного оборудования для сварки плавящимся электродом должна обеспечивать не только независимое управление сварочным током и скоростью подачи электродной проволоки при помощи быстродействующего микропроцессора, но и по сигналам датчиков обратных связей идентифицировать касание капель поверхности ванны и изменение перемычки в зоне капля-проволока, контроль и изменение энергетических параметров дуги более 1000 раз в одну секунду.
2. Разработка многофункционального сварочного источника с применением оригинальных схемотехнических решений и датчиков обратных связей, современной силовой электроники и микропроцессорной техники в системе управления позволяет на практике обеспечить управляемый каплеперенос электродного металла при автоматической орбитальной сварке магистральных трубопроводов.
3. Применение в трассовых условиях отечественных сварочных технологий и высокотехнологичного оборудования, реализующего управляемый каплеперенос при сварке корневых слоев и процессы сварки с естественным каплепереносом электродного металла при орбитальной сварке, свидетельствует о восстановлении престижа российской сварочной

науки и техники. Достигнутые результаты позволяют рекомендовать разработанные технологии и оборудование для применения в других отраслях промышленности РФ.

Список литературы

1. Мазур И. И., Иванцов О. М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ «Елима», 2004. 1104 с.
2. Вышемирский Е. М. Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО «Газпром» // Сварка и Диагностика. 2009. № 1. С. 16 – 19.
3. Новые технологии сварки при строительстве и ремонте газопроводов / Е. М. Вышемирский, А. В. Шпилов, В. И. Беспалов, Д. Г. Бударевич // Наука и техника в газовой промышленности. 2006. № 2. С. 27 – 34.
4. Потаповский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974. 239 с.
5. Ланкин Ю. Н. Автоматическое управление процессом сварки плавящимся электродом в CO₂ с периодическими замыканиями дугового промежутка (обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 1. С. 3 – 10.
6. Особенности управляемого тепломассопереноса при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка / С. И. Полосков, Ю. С. Ищенко, В. А. Лебедев, О. Б. Гецкин // Сварочное производство. 2002. № 7. С. 6 – 13.
7. Физико-математическая модель системы источник питания – дуга для сварки плавящимся электродом в защитных газах / О. Б. Гецкин, С. И. Полосков, В. А. Ерофеев, О. П. Витько // Тяжелое машиностроение. 2008. № 6. С. 18 – 20.
8. Гецкин О. Б., Ерофеев В. А., Полосков С. И. Моделирование процесса переноса электродного металла при сварке с короткими замыканиями // Автоматическая сварка. 2009. № 2. С. 16 – 21.
9. Гецкин О. Б., Гецкин Б. Л., Полосков С. И. Воспроизводимость качества сварных соединений при автоматической орбитальной сварке с управляемым каплепереносом электродного металла // Сварка и Диагностика. 2009. № 2. С. 47 – 53.
10. Анализ областей эффективного применения диоксида углерода и газовых смесей на его основе / И. В. Васильев, И. В. Левин, А. Н. Ефимов, В. Н. Уткин // Технические газы. 2007. № 4. С. 51 – 58.
11. Гецкин О. Б. Создание автомата блочно-модульной конструкции для орбитальной сварки магистральных трубопроводов // Сварка и Диагностика. 2008. № 6. С. 19 – 23.
12. Гецкин О. Б., Гецкин Б. Л., Полосков С. И. Создание многофункционального сварочного источника для сварки с управляемым каплепереносом электродного металла // Тяжелое машиностроение. 2009. № 2. С. 18 – 20.
13. Алешин Н. П., Гладков Э. А. Новые цифровые технологии сварки ответственных изделий // Сварка и Диагностика. 2008. № 4. С. 8 – 10.