

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МОНТАЖНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТ

М. БЕЛОЕВ, д-р-инж. (KZU Holding Ltd., г. София, Болгария)

Представлены современные технологии сварки, применяемые в монтажных работах при сооружении магистральных трубопроводов, насосных и компрессорных станций, технологических трубопроводов в энергетике и химии, крупногабаритных конструкций.

Ключевые слова: дуговая сварка, монтажные работы, РДС, МИГ/МАГ-процессы, STT-процесс, трубопроводы, станции, крупногабаритные конструкции

В годовом объеме сварочного производства значительное место занимают монтажно-сварочные работы. Несмотря на усилия уменьшить их часть на самом строительном-монтажном объекте путем предварительных заготовок больших монтажных блоков и модулей, заготовленных по изометрической схеме трубных узлов и транспорта негабаритного оборудования, их доля в общем объеме все еще остается достаточно большой. Одновременно с этим при выполнении этих работ имеются специфические особенности, делающие их еще более сложными и трудоемкими: большое влияние климатических и атмосферных условий; различные пространственные положения сварных швов, затрудняющее применение механизированных способов и технологий; сложности в обеспечении слежения и управления качеством в процессе сварки; наличие более квалифицированного персонала по сравнению с заводскими условиями.

Строительная арматура железобетонных конструкций. В основном это профильная арматура класса А-III. С помощью сварки изготавливаются арматурные каркасы железобетонных конструкций, подлежащие замоноличиванию бетоном, или производится сварка готовых железобетонных элементов в так называемые сборные железобетонные конструкции. Все арматурные сетки и закладные детали поставляются из специальных цехов. При монтаже используют ручную электродугую сварку (РДС), а также термитную и ванную способы сварки. Учитывая простоту РДС при выполнении монтажной сварки в стесненных участках, особенно для более малых размеров арматуры, она остается основным способом сварки, независимо от использования полуавтоматических способов сварки порошковой проволокой (так называемой ванной сварки).

Магистральные трубопроводы, насосные и компрессорные станции. В настоящий момент

наблюдается настоящий бум строительства этих сооружений. Для автоматической сварки монтажных стыков крупные газостроительные фирмы используют сварочные колонны. В частности, болгарская фирма «Газстроймонтаж» уже много лет использует колонну фирмы CRC (рис. 1). Монтажно-сварочные работы выполняются в любых условиях — в районах вечной мерзлоты, пустынях, на кораблях при укладке в подводную траншею, в скалистых местностях, при проходе земельных земель и рек. Основными способами сварки являются РДС и МИГ/МАГ сплошной и порошковой проволокой. Корневой слой шва сварного соединения заваривается РДС с использованием электродов с целлюлозным покрытием, горячей проходкой и заполнением электродами с основным покрытием. Для трубопроводов диаметром до 500 мм этот способ является предпочтительным. При этом гарантируется качество полного провара корневого шва, а благодаря горячей проходке снижается содержание водорода в наплавленном металле до 10 мл/100 г наплавленного металла. В ближайшие 10 лет этот способ останется основным, особенно для труб малых диаметров.

Способ сварки МИГ/МАГ сплошной и порошковой проволокой также достаточно распространен, особенно полуавтоматическая сварка труб на спуск самозащитной порошковой проволокой. Ре-



Рис. 1. Сварочная колонна фирмы CRC для автоматической сварки монтажных стыков

Таблица 1. Результаты теста по AWS

Электрод	Количество проходов	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{г}$, МПа	δ , %	КСИ, Дж/см ² при температуре (°С)		Твердость по шкале R_b
					-29	-40	
NR-204H E71T-GS	1	539...560	Не требует.	Не требует.	Не требует.	Не требует.	—
NR-207/207H* E71T8-K6	Несколько	525...560	420...497	22...30	68...289	51...170	85...90
NR-208H E91T8-G	Несколько	630...651	567...574	25...27	68...187	42...170	90...95

* Образцы подвергнуты старению в течение 48 ч при $T = 105$ °С.

Таблица 2. Типичные результаты тестов на содержание диффузионного водорода в металле шва по AWS A4.3-86 (Mercury Method)

Диаметр и марка проволоки	$[H_{диф}]$, см ³ /100 г
0.068" (1,7 мм) и 5/64" (2,0 мм) NR-207	6...13
0.068" (1,7 мм) и 5/64" (2,0 мм) NR-207H	5...8
0.068" (1,7 мм) NR-208H	4...5
5/64" (2,0 мм) NR-208H	5...7

Результаты испытаний сварных соединений трубных сталей на механические свойства по стандарту AWS приведены в табл. 1, а содержание диффузионного водорода в металле шва в табл. 2.

Компания «Линкольн электрик» разработала группу порошковых проволок марки «Innershield», рекомендованных для сварки стыков магистральных и промышленных трубопроводов. Проволока «Innershield» предназначена, в частности, для сварки широко применяемых сегодня высокопрочных трубных сталей. Она способна обеспечить постоянство качества выполняемых сварных швов на большинстве низколегированных сталей до класса X-80 (K-65).

Использование проволоки позволяет значительно проще справляться с ситуациями плохой сборки соединения, часто возникающими при работе на трассе и позволяет сократить общее время сварки. Самозащитная порошковая проволока значительно более устойчива к негативному влиянию ветра и экстремальным температурам.

Проволока «Innershield» соответствует стандарту API Std. 1104, а также некоторым международным требованиям. Практически это означает постоянство качества, минимум брака и значительно более высокую производительность.

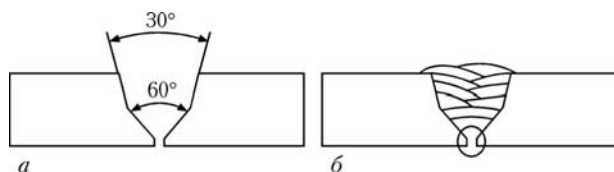


Рис. 2. Схема разделки кромок (а) и раскладки швов при многослойной сварке (б)

Проволока марки «Innershield NR-204H» рекомендована исключительно для сварки корневого слоя шва. Марки «Innershield» NR-207, NR-207H и NR-208H предназначены для сварки горячего, заполняющих и облицовочного слоев.

При работе с проволокой «Innershield» возможно использование комбинированной разделки кромок соединения. Для упрощения процесса сварки и улучшения механических свойств соединения (рис. 2) при выполнении заполняющих и облицовочного слоев рекомендована техника раскладки швов. Для достижения трещиностойкости и оптимизации уровня твердости необходимо применять подогрев и контроль переходной температуры, что особенно важно при многослойной сварке труб с большой толщиной стенки.

Условия работы, специфические требования применяемых стандартов, напряженное состояние соединения, уровень легирования и другие условия также могут привести к необходимости использования подогрева и контроля переходной температуры.

В последние годы стратегически приоритетным направлением при полуавтоматической и автоматической сварке трубопроводов является внедрение STT сварочной технологии, использование которой дает ряд преимуществ, особенно при строительномонтажных работах.

Сущность STT-процесса заключается в переносе наплавленного металла в сварочную ванну за счет сил поверхностного натяжения (рис. 3).

Процесс STT полуавтоматической и автоматической сварки реализован на базе разработанного фирмой «Линкольн» источника тока «IN-VERTEC STT II», который имеет ряд преимуществ: при сварке труб способ STT (процесс переноса металла силами поверхностного натяжения) делает задачу выполнения корневого шва стыка труб по открытому зазору менее трудоемкой и обеспечивает лучшее формирование обратного валика и сплавление кромок, а также снижает разбрызгивание и задымление. Процесс STT обеспечивает заметное снижение содержания диффузионного водорода в корневом проходе многослойных швов

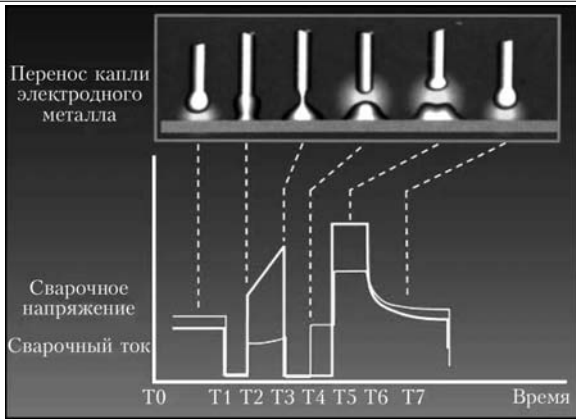


Рис. 3. Схема процесса STT

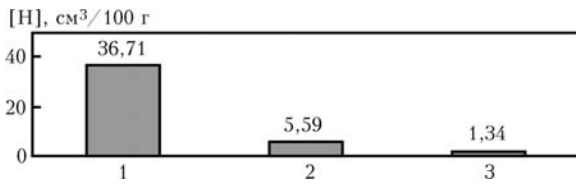


Рис. 4. Зависимость диффузионного водорода в металле шва от способа сварки: 1, 2 — электроды соответственно с целлюлозным и основным покрытием; 3 — процесс STT

(рис. 4). Данный процесс отличается от традиционной сварки короткой дугой в среде защитных газов тем, что сварочный ток здесь контролируется независимо от скорости подачи проволоки. Кроме того, не происходит характерного для традиционных способов сварки выплеска жидкой сварочной ванны при переносе металла. Это уменьшает степень смешивания сварочной ванны с основным металлом, разбрызгивание и задымление, а также обеспечивает более точный контроль сварочной ванны и проплавления со стороны оператора.

Таким образом, в отличие от РДС штучными электродами данный процесс обеспечивает более высокий обратный валик с большим объемом наплавленного металла, что позволяет убрать центратор сразу же после выполнения корневого шва (рис. 5); низкое содержание водорода в металле шва; высокую производительность, скорость и эффективность наплавки, а также величину ПВ.

В лабораторных условиях ведущие фирмы проводят испытания сварки магистральных трубопроводов лазерными технологиями. В этом случае подготовка кромок и непосредственно сам процесс сварки происходит исключительно быстро и гарантирует высокое качество. Также решаются и проблемы с надежностью аппаратуры.

На настоящем этапе применяется гибридный способ лазерной сварки. Фирма «ESAB» предлагает высокотехнологические системы гибридной лазерной сварки (HLAW), обеспечивающие высокую производительность сварки строительных балок, труб, сосудов и панельных изделий. Контроль процессов в реальном времени проводится

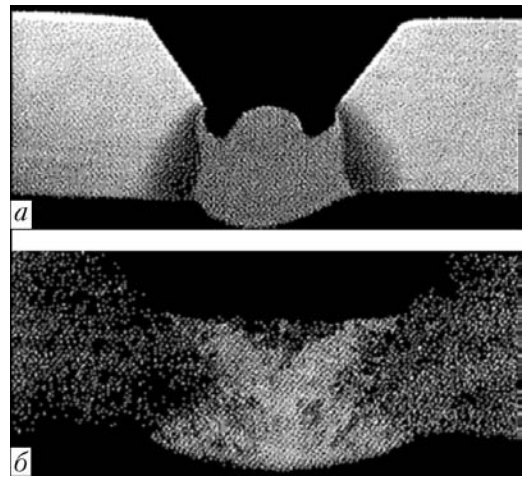


Рис. 5. Макрошлиф сварного соединения, выполненного РДС штучными электродами (а) и автоматической сваркой STT (б)



Рис. 6. Орбитальный аппарат A21PRD ESAB

путем обратной связи. Использование гибридной лазерной сварки позволяет получить исключительно высокое качество сварки материалов больших толщин для различных видов сварных соединений. Повышается качество выполнения сварки, уменьшаются расходы, связанные с уменьшением деформаций.

Гибридная сварка HLAW сочетает преимущества лазерной сварки (глубокое проплавление, снижение погонной энергии, узкая ЗТВ) с преимуществами традиционной сварки МИГ/МАГ (большое разнообразие сварных соединений; заполнение зазоров загрязненных поверхностей; контроль металлургии сварного шва; низкая скорость охлаждения, предотвращающая хрупкость сварного шва).

Технологические трубопроводы. Сварка при монтаже в энергетике и химии. Это в основном сварка низколегированных и теплоустойчивых сталей в теплоэнергетике и нержавеющей сталей в химической и пищевой промышленности.

В настоящее время основным способом их сварки является аргонодуговой ВИГ процесс или выполнение корневого шва аргонодуговым про-

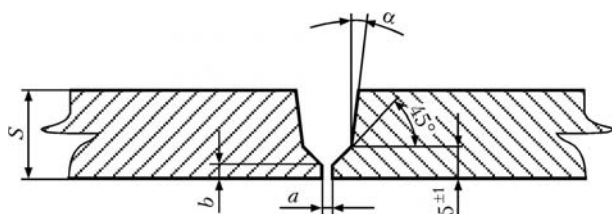


Рис. 7. Схема разделки трубы корня шва способом ТИГ/ВИГ

Таблица 3. Конструктивные размеры сварных стыковых соединений труб

Способ сварки	S, мм	a, мм	b, мм	α, град	Наружный диаметр трубы D _н , мм
РАД	<5	—	—	30 ^{±3}	>100
К(РАД)	>10	≤ 0,5	1,5	10 ^{±2}	>133
К(ААД)	>10	≤ 0,5	1,5	10 ^{±2}	>133

Примечание. РАД — ручная аргодуговая; К(РАД) — комбинированная: корень — ручная аргодуговая; К(ААД) — комбинированная: корень — автоматическая аргодуговая.



Рис. 8. Корпусные стенки резервуаров, подготовленные для автоматической сварки при монтаже

цессом, а заполнение электродами. Ряд фирм разработали и орбитальные сварочные машины, которые могут использоваться в монтажных условиях. Например, «ESAB» предлагает орбитальный аппарат A21 PRD Orbital (рис. 6).

В зависимости от толщины стенки и диаметра свариваемой трубы нашли применение различные способы выполнения соединений (рис. 7, табл. 3).

Крупногабаритные конструкции и сооружения. К ним относятся цилиндрические и сфери-

Таблица 4. Режимы сварки горизонтальных швов стенки резервуара

Полуавтоматическая сварка в защитном газе						
Слой шва	Схема раскладки слоев	Диаметр проволоки, мм	Сила тока, А, полярность	Напряжение, В	Толщина корневого слоя, мм	Вылет электрода, мм
Корневой		1,2	150...190 Постоянный; обратная	18...22	2...4	10...15
Автоматическая сварка под слоем керамического флюса						
Слой шва	Схема раскладки слоев	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, см/мин	Вылет электрода, мм
Заполняющие (сварка одновременно двух сторон)		2,4 (2,5)	350...500	24...28	45...75	25...35
		3,0 (3,2)	430...520	24...32	50...70	30...35
Облицовочные (сварка одновременно с двух сторон)		2,4 (2,5)	300...400	24...28	50...80	25...35
		3,0 (3,2)	350...450	24...30	60...80	30...35

Примечания. 1. Сварка под флюсом может выполняться проволокой диаметром 2,4 или 3,0 мм. 2. Угол наклона электрода вниз от нормали к плоскости в пределах 0...30°. 3. Угол наклона электрода вперед от нормали в пределах 0...10°.

ческие резервуары, колонное оборудование для химической промышленности, доменные печи, силосы и печи в цементной индустрии.

Для сварки небольших резервуаров и сооружений с толщиной стенки до 10 мм используется РДС или МИГ/МАГ сварка сплошной и порошковой проволокой. Однако для крупных сооружений, например, для резервуаров (рис. 8) обязательно применяется автоматическая сварка горизонтальных швов.

Преимуществами новой технологии автоматической сварки горизонтальных швов (табл. 4) являются следующие: упрощенная подгонка поясов

при монтажной сборке; обеспечение полного провара корня шва предварительным подваром; достижение более высокой производительности при гарантированном качестве.

В заключение можем отметить, что, в зависимости от типа сооружения, технологической вооруженности исполнителей монтажно-сварочных работ, предлагаются различные способы сварки: РДС, полуавтоматическая или автоматическая.

В перспективе доля РДС будет уменьшаться за счет более широкого использования МИГ/МАГ процессов, а особенно расширенного внедрения STT-процесса.

The paper describes the modern welding technologies used in site works in construction of main pipelines, pumping and compressor stations, technological pipelines in power engineering and chemistry, large-sized structures.

Поступила в редакцию 11.04.2008

УДК 621.791.011

НОВЫЕ АСПЕКТЫ В ИССЛЕДОВАНИИ СВАРИВАЕМОСТИ — ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА СВАРКИ

Х. ГЕРОЛЬД

(Ун-т Отто фон Гирке, Ин-т материаловедения и технологии соединения, г. Магдебург, Германия)

Рассмотрено новое понятие комплексного показателя соединяемости при использовании всех современных процессов соединения. Понятие соединяемости учитывает все специфические эффекты, воздействующие на соединение, в частности, пригодность соединения к эксплуатации с точки зрения материала, обрабатываемость соединения и его эксплуатационную надежность. Приведено несколько примеров, поясняющих понятие соединяемости. Предложены решения для подготовки производства.

Ключевые слова: свариваемость, соединяемость, проектирование, материалы, технологии, процессы соединения, надежность конструкций

Создание и выведение на рынок новой продукции, основанной на новых идеях в области технологии соединения, которые направлены на оптимизацию производственной цепочки с применением новых материалов, способствующих экономии электроэнергии, снижению массы конструкций и, следовательно, экономии мировых запасов сырья, возможно благодаря наличию огромного потенциала высококвалифицированных специалистов в Германии. Идеи, возникающие в результате научных исследований и воплощаемые в реальные технологии соединения, оказывают непосредственное влияние на разработку, изготовление и качество продукции. В то же время они непосредственно связаны с таким экономически важным сегментом, как восстановление изделий, изготовленных с применением новых материалов (рис. 1).



Рис. 1. Взаимозависимость между конструкцией, материалом и способом изготовления, определяемая технологией соединения [1]

© Х. Герольд, 2008