

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.791.754.4

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОДНОСТОРОННЕЙ
ДУГОВОЙ СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ
В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

© 2014 г. Ю.В. Доронин, П.С. Кузнецов, В.Н. Бродягин, Ф.Е. Дорошенко

Аттестационный центр городского хозяйства (АЦГХ), г. Москва

Рассмотрены проблемы формирования обратной стороны шва при сварке плавящимся электродом трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей. Показаны различные условия формирования обратной стороны шва при сварке на подкладных керамических и стекловолоконных лентах, а также с применением источников питания с различными АЧХ в чередовании холодной и горячей фаз.

Ключевые слова: сварной шов, стальной трубопровод, условия сборки, амплитуда, скважность.

Поступила в редакцию 22.05.2014 г.

При сварке стыковых соединений из углеродистых и легированных сталей в судостроении при производстве листовых конструкций широко используется односторонняя сварка на медных, флюсо-медных, остающихся металлических подкладках и флюсовых подушках [1].

Однако, при сварке криволинейных стыковых соединений, например, неповоротных стыков трубопроводов, использовать стационарные стенды и поточные линии с порталами для установки и крепления формирующих обратную сторону шва устройств, не представляется возможным [2].

При односторонней механизированной сварке неповоротных стыков трубопроводов формирование обратной стороны шва достигается разными способами:

- на весу, используя поперечные колебания в зазоре стыкового соединения;
- при помощи различного рода подкладных устройств;
- используя специальные программы, установленные в источнике питания сварочной дуги, и позволяющие, с помощью динамического управления режимом сварки сваривать швы рутило- и металло- порошковыми проволоками [4].

Применением сварки с управляемым каплепереносом (Kemppi WiseRoot) пока не удалось ощутимо улучшить результаты при автоматической сварке сплошной и металлопорошковой проволокой, однако, применение импульсной технологии Esab MIG/MAG Pulse позволило получить качественно отличный процесс. Был достигнут мелкодисперсный перенос металла (Spray Arc) порошковой проволокой (MCW) 1,2мм на токах 100А, что значительно ниже порога его возникновения при сварке сплошной проволокой – 250А. Такой перенос металла обеспечивает высокую стабильность горения дуги, а также малый объем сварочной ванны, что благоприятно сказывается при выполнении корневых проходов. Также, во время сварки практически не засоряется продувочный канал, а хорошее смачивание металлом кромок свариваемых деталей уменьшает вероятность подрезов при выполнении последующих слоев. Сварка корня шва существенно упрощается.

При помощи регистратора сварочных процессов AWR-224M, были

запротоколированы значения тока и напряжения при сварке металлопорошковой проволокой с применением Esab Pulse. (рис. 1). Импульсы тока превышают 300А, однако суммарное значение не превысило 110А. Четкое распределение частот подтверждает стабильность процесса.



Рис. 1. Осциллограмма и АЧХ режима сварки Esab Pulse

В городском хозяйстве при сварке трубопроводов диаметром менее 630 мм в СТО-3135730-08-001-2011 прописаны несколько технологических рекомендаций. Одна из них включает сварку корня шва на весу металлопорошковой проволокой в смеси $Ar+CO_2$ и сварку заполняющих и облицовочных швов рутиловой порошковой проволокой.

Рутиловую порошковую проволоку применяют для выполнения заполняющих и облицовочных слоев в нижнем положении при токах свыше 200А, при сварке неповоротных стыков при токах менее 200А обеспечить стабильный процесс и хорошее формирование корня шва сложно.

Однако, применение неуправляемых импульсных режимов на источниках питания сварочной дуги ФЭБ «Магма-350» позволяет получить стабильный процесс и хорошее формирование корня шва во всех пространственных положениях на средних токах – 60-90А. Достигается это предустановленными вынужденными импульсами тока определенной частоты, амплитуды и скважности.

При наблюдении за процессом переноса с использованием порошковой проволоки прослеживается наличие дуги только по поверхности трубки, вероятно это связано с наличием скин-эффекта и отличным от оболочки электросопротивлением порошка. Предположительно, порошок при сосредоточении дуги на оболочке попадает в металл в нерасплавленном виде, уменьшая температуру ванны, ее радиус и

увеличивая, тем самым, силы поверхностного натяжения. Произведем расчет толщины скин-слоя стали по приближенной формуле:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_m f}}$$

где $\varepsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
 $\omega = 2\pi \cdot f$

После упрощения:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_m f}}$$

где $\rho = 9,8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м – удельное сопротивление стали,
 $\mu_m = 8000$ – относительная магнитная проницаемость,
 $f = 100$ Гц – частота.

Толщина скин-слоя $\Delta = 0,18$ мм, что соизмеримо с толщиной оболочки проволоки.

Особое внимание необходимо сосредоточить на установке частоты импульсов. Рассматривая перенос металла при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов как колебательный процесс относительно тока с собственной частотой 50-350 Гц (в зависимости от значения тока), частота вынужденных импульсов тока должна быть близка по значению к собственной для установления резонанса и, как следствие, повышения стабильности процесса.

Подбор частоты (~100 Гц), скважности (10-20%) и амплитуды импульсов (320 А) позволил добиться качественного формирования обратного валика корня шва рутиловой порошковой проволокой в среде двуокиси углерода при среднем токе 110 А на трубном стыке диаметром 820 мм, толщиной 14 мм, с зазором 4-5 мм (рис. 2). Визуальный осмотр показал отсутствие наружных дефектов.

Неуправляемые импульсные технологии сварки порошковыми проволоками обладают рядом технологических преимуществ перед сваркой проволоками сплошного сечения в обычном режиме:

- высокая стабильность процесса (высокочастотные импульсы значительной амплитуды повышают пространственную устойчивость дуги);
- отсутствие разбрызгивания металла (короткие замыкания отсутствуют даже при малых значениях среднего тока);
- более равномерное распределение давления дуги на сварочную ванну (дуга горит на оболочке проволоки, обеспечивая хорошее проплавление кромок и предотвращая излишнее провисание обратного валика);
- сварка во всех пространственных положениях (поглощение энергии при расплавлении порошка и уменьшение объема сварочной ванны);



Рис. 2. Обратный валик выполненный металлопорошковой (слева) и рутиловой (справа) порошковыми проволоками

Тем не менее, применение импульсных технологий сварки порошковыми проволоками ограничивается необходимостью обновления парка сварочного оборудования и более высокой стоимостью порошковых проволок в сравнении со сплошными.

В качестве альтернативы, для защиты и хорошего формирования обратного валика корня шва, широко применяются подкладки.

При возможности доступа к обратной стороне стыкового соединения, формирующую обратную сторону шва, подкладку крепят при помощи клея постоянной липкости, нанесенного на алюминиевую фольгу, толщиной 0,07..0,09мм. Края фольги для предотвращения слипания в процессе транспортировки и монтажа покрыты антиадгезионной пленкой.

По такому принципу крепления созданы и эксплуатируются подкладки компаний Aquasol, 3M и Lincoln (США), Esab (Швеция), FAW (Япония), ИТС (Россия) и др. При данном способе сварки нет необходимости использовать специализированные сварочные материалы (электроды, монолитные и порошковые проволоки, флюсы, газы и присадки).

Так, для односторонней сварки труб из углеродистых и низколегированных сталей с применением подкладок следует использовать сварочные материалы, предназначенные для вышеуказанных способов сварки.

Одностороннюю сварку на подкладках следует выполнять на постоянном токе обратной полярности. Наиболее распространенным видом переносной подкладки для односторонней сварки листовых конструкций и трубных стыков, предлагаемым отечественными и зарубежными производителями являются формирующие керамические подкладки, представляющие собой полосу из наклеенных на алюминиевую фольгу секций различной конфигурации.

Наборные секции изготовлены из оксидов кремния и алюминия и позволяют формировать обратный валик при строго регламентированных условиях сборки стыкового соединения: зазоре в стыке, перекосе кромок, угле разделки и притуплении. Односторонняя сварка плоскостных металлоконструкций и трубопроводов позволяет получать обратный валик благоприятной формы во всех пространственных положениях различными сварочными материалами, в том числе и рутиловыми порошковыми проволоками марки Filarc диаметром 1,2 мм на токах до 250А. За один проход можно сварить стыковое соединение трубы толщиной до 12 мм. На рисунке 3 показан внешний вид обратного валика шва полученного при сварке стыкового соединения трубы диаметром 1020 мм.



Рис. 3. Обратная сторона шва стыкового соединения, выполненного рутиловой порошковой проволокой Filarc

Подкладки всепозиционные производства компании «Газстройсервис» артикул PZ 1500/70 поставляются в наборе длиной 600мм.

Качественная форма шва наблюдается и при односторонней сварке прямолинейных листовых конструкций с использованием керамических подкладок. На рисунке 3 показана обратная сторона шва стыкового соединения толщиной 20мм, выполненного рутитовой порошковой проволокой Filarc диаметром 1,2мм в вертикальном положении. Сварка выполнялась механизированным способом методом «снизу-вверх».

Однако конструкция такой подкладки не позволяет формировать обратный валик на трубопроводе диаметром менее 600 мм из-за зазоров между секциями, возникающих при искривлении подкладки в процессе крепления и последующей сварки. Металл обратного валика вытекает в зазоры и становится нестабильным по ширине.

Кроме того, установлено, что при использовании керамических подкладок на обратном валике иногда возникает шевронная пористость.[3]

Вышеуказанные недостатки устраняются при использовании гибких, в продольном и поперечном направлениях подкладных лент.

Формирование обратной стороны шва в этом случае обеспечивается многослойными двухкомпонентными подкладками марки ЛФС-3 (ТУ 5952-024-20524426-2012), Сертификат соответствия НАКС № РОСС RU.И860.17М3.00001, ленты флюсовые, сварочные (табл. 1)

Таблица 1. – Результаты способов сварки с применением различных подкладок

Способ сварки	ЛФС-2	ЛФС-3	ЛФС-4	Диаметр электрода, мм
	Ток сварки, А	Напряжение, В	Положения при сварке	
РД	70...90	14...16	Н1,Н2,В1,В2,П1,П2	3...4
МП	100...140	18...22	Н1,Н2,В1,В2,П1,П2	0,8...1,2
АФ	До 350	До 24...30	Н1,Н2	2...3
МПГ, МПС	До 250	До 26	Н1,Н2,В1,В2,П1,П2	1,0...2,5

Крепление подкладки к обратной стороне стыкового соединения осуществляется с помощью алюминиевого фольгоплен, покрытого клеем постоянной липкости и защищенного от слипания антиадгезионной бумагой (рис. 4).

Перед установкой подкладки следует очистить обратную сторону стыка от ржавчины, пыли и масла на ширину 150 мм.

Для установки подкладки необходимо отрезать мерный кусок ленты, и прикрепить вдоль оси освобожденного от антиадгезионной бумаги мерного куска фольги.

Ширина подкладки, в зависимости от марки варьируется от 35 до 45мм толщина подкладки составляет 2,5...4,0мм ширина фольгоплен 90...100 мм.

Липкими поверхностями фольга с установленной посередине лентой прижимается к обратной стороне стыкового соединения и разглаживается по поверхности металла круглым деревянным или пластмассовым предметом.

Если подкладка устанавливается из нескольких кусков, то края ленты крепятся с нахлестом на длину 20мм.

В качестве зарубежного аналога при односторонней сварке трубопроводов были проверены гибкие подкладные ленты Aquazol (США), используемые при ручной и

механизированной дуговой сварке стыковых соединений в судостроении и энергетическом машиностроении (рис. 4).



Рис. 4. Подкладная лента ЛФС (сверху) и Aquazol (снизу)

Ленты Aquazol одноразового использования, обеспечивают высокое качество формирования обратной стороны шва, низкое содержание водорода в металле шва, отсутствие внутренних и наружных дефектов.

Односторонняя сварка на подкладках выполняется на режимах, рекомендуемых для сварки первого прохода при сварке как поворотных, так и неповоротных стыков трубопроводов.

В зависимости от требований к обратной стороне шва, подкладка может использоваться неоднократно.

ТЕХНИКА СВАРКИ

Формирование обратного валика во всех пространственных положениях происходит в изложнице из расплавленного шлака, образующегося в результате расплавления верхнего (с ориентационной нитью) слоя подкладной ленты в определенных температурных, гидродинамических и физико-химических условиях. При ручной дуговой сварке (РД), сварке порошковой проволокой (МПГ и МПС), механизированной и автоматической сварке под флюсом (МФ и АФ), в результате взаимодействия шлака подкладной ленты и шлака сварочного материала условия формирования меняются. В этом случае для оптимизации количества шлака на обратной стороне шва, подкладная лента изготавливается с различной плотностью формирующего слоя.

Избыток шлаковой фазы не мешает процессу формирования обратной стороны шва, но требует учета некоторых особенностей при манипулировании электродом при сварке способом В1 и В2

Размеры обратного валика в зависимости от зазора в стыке, изменяются по ширине от 5 до 8 мм, по высоте от 0.5 до 2 мм при ручной дуговой и механизированной сварке в смесях плавящимся электродом (рис. 5).



Рис. 5. Обратный валик и внешний вид ленты после сварки трубного (сверху) и прямолинейного стыка (снизу) образца резервуарной секции

Крепление лент к обратной стороне сварного стыка можно осуществлять также с помощью постоянных магнитов. При установке лент необходимо контролировать, чтобы их осевая красная линия была направлена в сторону сварного стыка по его оси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тераи, К. и др.* Современное состояние односторонней автоматической сварки [Текст] / К. Тераи, М. Арикава. – Л.: Судостроение, 1974. – 219 с.
2. *Веселков, В.Д.* Односторонняя сварка стыковых соединений судовых корпусных конструкций [Текст] / В.Д. Веселков. – Л.: Судостроение, 1984. – 238 с.
3. *Cantrell, R.E.* Ceramic weld backing evaluation // *Welding Journal*. – 1982. – №10. – P. 27–34.
4. Патент США № 5,451,741 МКИ В23К 9/32 Опубликовано 19.09.1995 г.
5. *Алешин, Н.П. и др.* Актуальные вопросы сварки неповоротных стыков трубопроводов в монтажных условиях [Текст] / Алешин Н.П., Гладков Э.А., Доронин Ю.В., Бродягин В.Н. // *Сварка и диагностика*. – 2013. – №3.

Comparative Characteristics of the Weld Form, Obtained in Welding Butt Joints of Pipes Use of Tapes and Methods «Hot and Cold» Phases

Doronin Y.V., Kuznetsov P.S., Brodjagin V.N., Doroshenko F.E.

*Joint Stock Company «Expertcentre», Moscow
e-mail: bekkenbauer@yandex.ru*

Abstract – The article considers the problems of the formation of the reverse side of the bead in welding with consumable electrode pipelines made of carbon and low-alloyed steels. It shows the various conditions of the formation of the weld in welding use of ceramic and fiberglass tape, but also with use of power of sources weld of arc, working in a model «hot and cold» phases.

Keywords: weld seam, steel pipe, conditions of assembly, amplitude, duty cycle.

REFERENCES

- [1] Terai K., Arikava M. Sovremennoye sostoyaniye odnostoronney avtomaticheskoy svarki [Current state of unilateral automatic welding]. Leningrad. Pub. Sudostroyeniye [Shipbuilding], 1974. 219 p. (in Russian)
- [2] Veselkov V.D. Odnostoronnyaya svarka stykovykh soyedineniy sudovykh korpusnykh konstruktsiy [Unilateral welding of ship case butt connections]. Leningrad. Pub. Sudostroyeniye [Shipbuilding], 1984. 238 p. (in Russian)
- [3] Cantrell R.E. Ceramic weld backing evaluation. *Welding Journal*. 1982, №10, pp. 27–34. (in English)
- [4] Patent SShA № 5,451,741 МКИ В23К 9/32 [The patent of the USA № 5,451,741 МКИ В23К 9/32.]. Opublikovano 19.09.1995 g. [Published 19.09.1995.] (in Russian)
- [5] Aleshin N.P., Gladkov E.A., Doronin Yu.V., Brodyagin V.N. Aktualnye voprosy svarki nepovorotnykh stykov truboprovodov v montazhnykh usloviyakh [Topical issues of not pipeline rotary joint welding in assembly conditions]. *Svarka i diagnostika* [Welding and diagnostics]. 2013, №3, ISSN 2071-5234 (in Russian)