



СВАРКА СТЫКОВЫХ ШВОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТРУБОПРОВОДОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСОМ МЕТАЛЛА

М. В. КАРАСЕВ, д-р техн. наук, **Д. Н. РАБОТИНСКИЙ**, инж. (ЗАО НПФ «ИТС», г. С.-Петербург, РФ),

А. Н. АЛИМОВ, инж. (ООО «АРКСЭЛ», г. Донецк),

В. Г. ГРЕБЕНЧУК, канд. техн. наук (ЦНИИС НИЦ «Мосты», г. Москва, РФ),

С. В. ГОЛОВИН, канд. техн. наук (ООО «Институт ВНИИСТ», г. Москва, РФ),

Р. РОЗЕРТ, канд. техн. наук («Drahtzug Stein», Германия)

Приведены результаты разработки технологии сварки стыковых швов трубопроводов в монтажных условиях. Отмечены преимущества новых видов порошковых проволок с рутиловым типом сердечника, реализуемых при использовании выпрямителя ВД-506ДК. Даны рекомендации по выбору защитных смесей и режимам сварки.

Ключевые слова: дуговая сварка, бесшовные порошковые проволоки, мостовые конструкции, трубопроводы, технология сварки, металл шва, механические свойства

С 2005 г. группа предприятий ИТС в тесном взаимодействии с ведущими отраслевыми институтами России (ЦНИИС НИЦ «Мосты» и ООО «Институт ВНИИСТ») и разработчиками и производителями порошковых проволок (фирмой «Drahtzug Stein», Германия и ее украинским партнером ООО «АРКСЭЛ») начала исследования и эксперименты по созданию технологии сварки стыковых швов в монтажных условиях с целью разработки технологии сварки для таких объектов, как нефтегазовый комплекс, строительство мостов, резервуаров и др.

С учетом повышенных требований к надежности всей технологии сварки в различных климатических условиях в качестве базовых были выбраны бесшовные порошковые проволоки и сварочные выпрямители серии ВДУ, которые показали высокую надежность при сварке в судостроении и могли удовлетворять требованиям нормативной документации в указанных выше отраслях.

С применением новых сварочных установок и качественными изменениями в стабильности их работы на различных режимах, которые ранее считались неблагоприятными по технологическим соображениям, появилась необходимость разработки сварочных материалов, способных полностью реализовать новые возможности оборудования при полуавтоматической и автоматической сварке. Эти возможности включают обеспечение более стабильного перехода легирующих элементов в металл шва в широком диапазоне режимов сварки и соответственно получение тре-

буемых структуры и свойств металла швов, управление поведением сварочной ванны при сварке в различных пространственных положениях.

В работах [1, 2] подробно описаны параметры режимов механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения с использованием традиционных сварочных выпрямителей типа ВДУ-506, ВДУ-601, ВС-600 и др. В основном речь идет о работе с проволокой сплошного сечения Св-08Г2С диаметром 1,2...1,6 мм в сочетании с защитным газом CO_2 или смесью газов 82 % Ar + 18 % CO_2 в диапазоне токов дуги 140...450 А и напряжении на дуге 17...34 В.

Недостатком использования названной выше традиционной сварочной техники и проволоки сплошного сечения для механизированной сварки в защитных газах является сложность работы сварщика по управлению течением металла в сварочной ванне и формированию шва, особенно в пространственных положениях, повышенное разбрызгивание в области токов 180...230 А, недостаточная стабильность и управляемость сварочной дуги. При использовании порошковых проволок стабильность процесса сварки повышается, но требуется увеличение сварочного напряжения (как правило, до 27 В и более), что в сочетании с традиционными сварочными выпрямителями затрудняет сварку корневого слоя стыковых швов, вызывает перегрев свариваемого изделия и требует введения дополнительных технологических приемов (например, керамических подкладок) для формирования требуемого проплавления кромок. Для сварки на керамических подкладках приходится увеличивать зазор между свариваемыми кромками, что приводит к перерасходу присадоч-



ного материала и снижает производительность процесса сварки. Кроме того, при сварке трубных стыков сварку предпочтительно выполнять с одной стороны и применение подкладок здесь проблематично.

Для работы с порошковыми проволоками группой предприятий ИТС предложен новый для России класс сварочных выпрямителей, обеспечивающих увеличение стабильности горения дуги в области малых напряжений (14...21 В) и возможность сварки «на весу» с гарантированным проплавлением кромок и формированием обратного валика шва с благоприятной формой и плавными переходами к основному металлу. Отличие этих источников от традиционных сварочных выпрямителей заключается в том, что при коротком замыкании дугового промежутка или при снижении действующего напряжения на дуге в процессе роста капли происходит подача импульса дополнительной энергии в дуговой промежуток от отдельного встроенного источника энергии. При этом осуществляется стабилизация напряжения на дуге на участке сварочной цепи «дроссель выпрямителя — дуга». Серийно выпускаются два вида таких выпрямителей: ВД-506ДК (серия 04), у которых дополнительная энергия формируется при разряде индуктивного накопителя, и ВДУ-511, у которых дополнительная энергия формируется при разряде батарей конденсаторов.

Использование указанных выпрямителей обеспечивает серьезные технические и экономические преимущества перед сварочными установками, описанными выше. По сравнению с традиционными выпрямителями эти преимущества заключаются в том, что новые выпрямители стабильно работают во всем диапазоне токов дуги, которые необходимы сварщику для формирования гарантированного провара в различных технологических условиях, т. е. сварщик может выбирать режим сварки, исходя из условий получения максимальной производительности процесса, которую допускает конструкция сварного соединения. Кроме того, у этих выпрямителей высокая скорость отработки динамических процессов в цепи прохождения сварочного тока, что обеспечивает эффективную сварку порошковыми проволоками на токах до 500 А и возможность регулирования напряжения на дуге в широких пределах. Все это позволяет сварщику производить сварку как корневого, так и заполняющих слоев шва без риска появления дефектов сплавления и с гарантией благоприятного формирования обратного валика при односторонней сварке «на весу».

Сочетание технологических возможностей выпрямителей ВД-506ДК и ВДУ-511 с особенностями переноса металла и формирования шва при использовании порошковых проволок открыло новые возможности для создания технологии

сварки стыковых швов трубопроводов и мостовых конструкций в монтажных условиях со свободным формированием.

Как известно, имеется большое разнообразие типов порошковых проволок по виду сечения и технологии формирования оболочки. Например, бесшовные порошковые проволоки (Drahtzug Stein, FILEUR, Nittetsu), изготавливаемые прокаткой и волочением заранее сваренной и заполненной порошком трубы, имеют большое количество технологических переделов, поэтому являются более дорогостоящими, чем проволоки с негерметичным продольным швом. Вместе с тем бесшовные порошковые проволоки допускают нанесение на поверхность медных или других покрытий, улучшающих электрический контакт поверхности проволоки с токоподводящим мундштуком, и обеспечивают низкое содержание диффузионно-подвижного водорода в металле сварных швов, что важно при сварке ответственных соединений из сталей повышенной прочности.

Технология производства различных типов проволок влияет на специфику их применения. Для сварки стыковых швов трубопроводов и мостовых конструкций в монтажных условиях в качестве базовой нами была выбрана бесшовная порошковая проволока с двумя типами флюсового наполнителя, соответственно проволока с металлородной и рутиловой сердечником.

Металлопорошковая проволока имеет очень малую долю флюсовых добавок (до 0,5 %) и в процессе сварки не оставляет на поверхности шва шлаковой корки. Это позволяет с успехом использовать ее для сварки «на весу» корня стыковых швов с гарантированным проваром и отличным формированием обратного валика шва, сваривать заполняющие слои без зачистки шлака в промежутках между проходами, минимизировать риски появления шлаковых включений в корне и шве в целом.

Металлопорошковые проволоки POWER BRIDGE 50M и POWER BRIDGE 60M разработаны ЗАО НПФ «ИТС» (С.-Петербург), фирмой «Drahtzug Stein» (Германия) и ОАО ЦНИИС НИЦ «Мосты» на базе серийной металлопорошковой проволоки MEGAFIL 710M специально для механизированной сварки в защитных газах в климатических условиях России в сочетании с выпрямителями ВД-506ДК и ВДУ-511. Эти выпрямители обеспечивают три специфических режима переноса электродного металла — «короткой дугой» (процесс ВКЗ с вынужденными короткими замыканиями), «средней дугой» (захоленная струя) и «длинной дугой» (струйный перенос электродного металла) [1–3]. Эти проволоки выпускаются в Германии на фирме «Drahtzug Stein» и отличаются от прототипа MEGAFIL 710M дополнительным микролегированием титаном и ни-

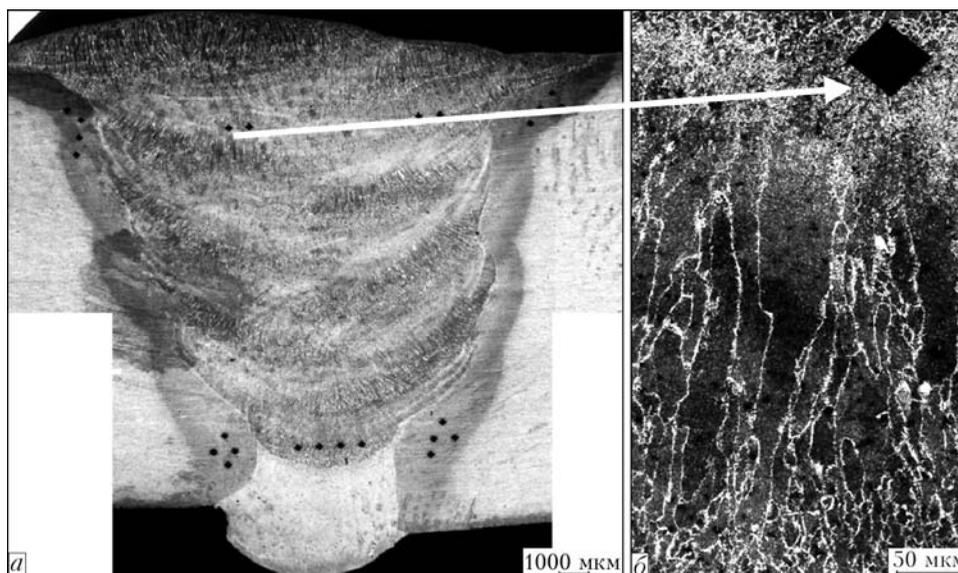


Рис. 1. Макро- (а) и микрошлиф (б) многослойного сварного соединения, выполненного металлопорошковой проволокой POWER BRIDGE 60M (наблюдается подавление роста кристаллитов на начальной стадии их роста)

кем через металлопорошковый сердечник, оптимизацией содержания марганца, кремния и соотношением между ними, ограничением содержания серы и фосфора до 0,010%. При разработке новых проволок были также учтены особенности переноса электродных капель в области короткой сварочной дуги, «захожденной» струи и «длинной дуги» [1].

При использовании выпрямителей ВД-506ДК и металлопорошковой проволоки типа POWER BRIDGE диаметром 1,2 или 1,6 мм возможна сварка в диапазоне токов 250...480 А при напряжении 22...28 В. Производительность процесса достигает 8 кг/ч в результате возможности увеличения сварочного тока без ухудшения качества сварного соединения. Сварка возможна как в смеси газов, так и в чистом CO_2 . Процесс сварки стабилен во всех пространственных положениях, разбрызгивание электродного металла незначительно, сварщик легко управляет течением металла в сварочной ванне и формированием шва.

Микролегирующие добавки являются очень важной особенностью металлопорошковой проволоки. В сочетании с оптимальным содержанием традиционных раскислителей сварочной ванны кремния и марганца микролегирующие добавки позволяют при охлаждении сварочной ванны обеспечивать наличие многих центров кристаллизации, что дезориентирует направленный рост дендритов и уменьшает их размер. Это приводит к образованию благоприятной мелкозернистой структуры шва и повышает его эксплуатационные характеристики, в частности пластичность и ударную вязкость при температурах до -60°C без снижения прочности.

Существует множество элементов (титан, бор, ванадий и др.), применяемых для микролегирувания. При создании проволок POWER BRIDGE

для этой цели использован титан в сочетании с никелем. Наличие дозированного количества титана способствует образованию игольчатого феррита внутри зерен, подавляет выделение первичного феррита по границам зерен. При этом содержание титана в металле шва не должно превышать 0,050 %. Зародышами для формирования игольчатого феррита внутри аустенитного зерна являются в данном случае дисперсные частицы оксида титана.

На рис. 1 показан эффект измельчения структуры при использовании проволоки POWER BRIDGE 60M.

Важным фактором для эффективного действия микролегирующих добавок является обеспечение оптимальных размеров сварочной ванны путем правильного выбора напряжения на дуге и характера переноса капель электродного металла. Выпрямители ВД-506ДК, ВДУ-511 в отличие от других источников питания позволяют выполнять сварку в широком диапазоне режимов с практически неизменным размером капель электродного металла, что и обеспечивает постоянство состава наплавленного металла и его оптимальное микролегирующее. В табл. 1 приведены механические свойства металла швов, сваренных порошковой проволокой POWER BRIDGE 60M с использованием различных составов окислительных защитных газов. Полученные значения свойств соответствуют требованиям технической документации для сварных мостовых конструкций из сталей 15XCHД, 15XCHДА и 10XCHДА.

Проволока POWER BRIDGE 50M используется для сварки со свободным формированием вертикальных швов резервуаров из стали 09Г2С в условиях Крайнего Севера, когда требуется обеспеч-

Таблица 1. Механические свойства металла швов, полученных с использованием порошковой проволоки POWER BRIGE 60M

| Состав защитного газа | σ_b , МПа | σ_T , МПа | KCV, Дж/см ² , при температуре | | |
|--------------------------------|------------------|------------------|---|---------|---------|
| | | | -40 °С | -50 °С | -60 °С |
| 82 % Ar + 18 % CO ₂ | 610...650 | 510...570 | 70...90 | 50...65 | 35...45 |
| 75 % Ar + 25 % CO ₂ | 580...610 | 470...490 | 90...110 | — | 50...70 |
| CO ₂ | 570...600 | 470...490 | 90...100 | — | 50...70 |

печь большую ударную вязкость при температурах до -50 °С.

Применение металлопорошковых проволок также эффективно при орбитальной сварке неповоротных стыков трубопроводов больших толщин, когда требуется увеличение ударной вязкости в корневой части шва.

Разработку порошковых проволок рутилового типа POWER PIPE 60R и POWER PIPE 90R проводили специально для автоматической орбитальной сварки в защитных газах неповоротных стыков трубопроводов из трубных сталей типа K54-K60 и K65 (X80) с использованием комплекса «ПРОТЕУС» [4]. Эти проволоки также выпускаются в Германии на фирме «Drahtzug Stein» из герметичной бесшовной трубки с флюсом внутри. От стандартной продукции они отличаются тем, что обеспечивают микролегирование шва титаном, бором и никелем, измененное соотношением марганца и кремния, ограничение содержания серы и фосфора до 0,010 %. При разработке этих проволок были скорректированы рецептуры шлаковой составляющей флюсового сердечника для исключения риска образования шлаковых включений при сварке короткой дугой и «захоженной» струей [1].

Применение порошковых проволок с рутиловым типом сердечника с негерметичным швом часто характеризуется затрудненным формированием шва при свободном его формировании в вертикальном и потолочном положениях.

При разработке порошковых проволок POWER PIPE 60R и POWER PIPE 90R доля рутилового быстрокристаллизующегося шлака была увеличена до уровня, который обеспечивает гарантированное благоприятное формирование шва без провисаний и

подтекания сварочной ванны на всем протяжении неповоротного стыка трубы.

При использовании выпрямителей ВД-506ДК и порошковых проволок рутилового типа POWER PIPE 60R (90R) диаметром 1,2 мм при сварке неповоротных стыков труб сварочный ток составляет 190...280 А при напряжении 22...27 В. Производительность процесса достигает 7 кг/ч. После сварки корневого слоя шва не более чем через 10 мин выполняется горячий проход в направлении сверху вниз, который выполняется с минимальной погонной энергией (0,5...0,6 кДж/мм²) на высокой линейной скорости 40...45 см/мин и токе дуги 190...220 А. Затем в направлении снизу вверх вы-

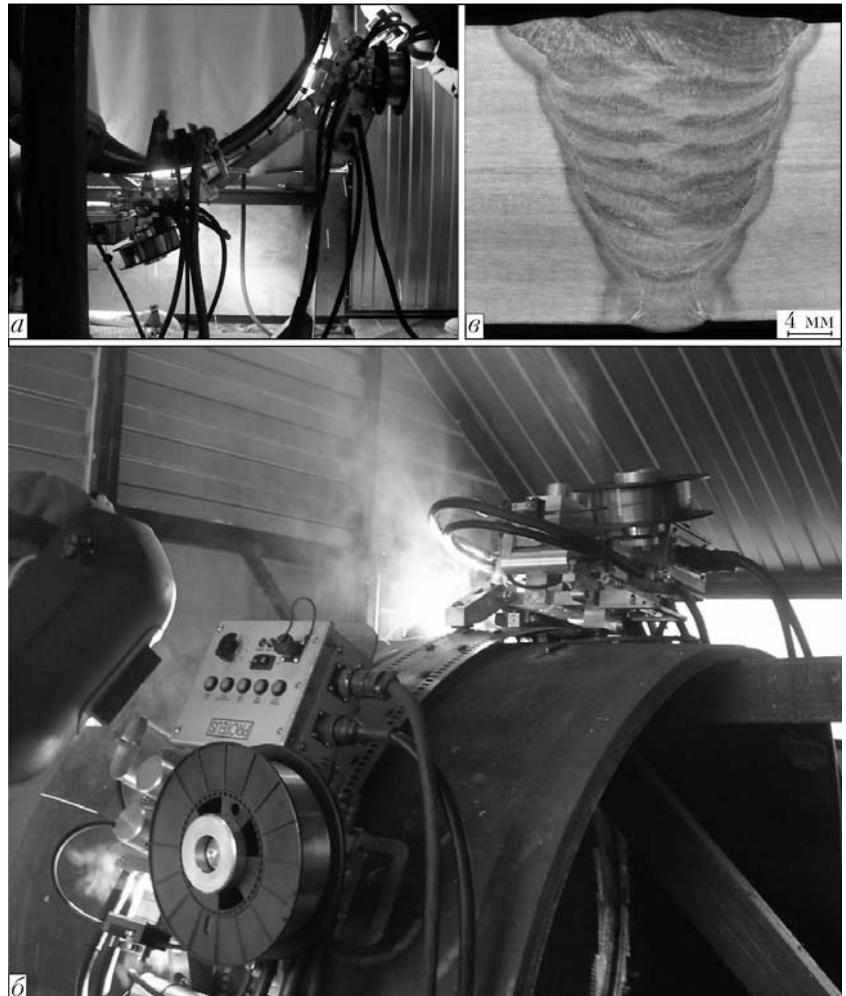


Рис. 2. Начало (а) и конец (б) процесса автоматической сварки неповоротного стыка трубопроводов на комплексе «ПРОТЕУС» и шлиф сварного соединения трубопровода из стали K65 толщиной 27,7 мм (в)



Таблица 2. Механические свойства металла швов при сварке порошковой проволокой POWER PIPE 60R

| Марка стали | Состав защитного газа | σ_B , МПа | σ_T , МПа | δ , % | KCV, Дж/см ² , при температуре | |
|-------------|--------------------------------|------------------|------------------|--------------|---|-----------------------|
| | | | | | -20 °С | -40 °С |
| K60, K56 | 82 % Ar + 18 % CO ₂ | 600...620 | 490...520 | 25...27 | 120...160 | 90...120 |
| K54 | 75 % Ar + 25 % CO ₂ | 560...590 | 480...500 | 25...27 | 100...140 | 80...110 |
| K65 | 82 % Ar + 18 % CO ₂ | 650...700 | 570...600 | 21...22 | — | 90...110, корень ≥ 60 |

полняются заполняющие и облицовочные проходы. В зависимости от толщины стенки трубы и требований к ударной вязкости сварного соединения выбирается режим сварки и схема раскладки валиков. При выборе режимов сварки особое внимание обращается на то, чтобы погонная энергия не превышала 1,5 кДж/мм² (рис. 2, а).

При сварке трубных сталей типов K54 и K65 важную роль играет выбор смеси защитных газов при использовании одной сварочной проволоки POWER PIPE 60R для сварки и корня, и заполняющих слоев. Незначительное изменение окислительной способности защитного газа может повлиять на эксплуатационные характеристики металла шва. В качестве примера в табл. 2 приведены результаты механических испытаний металла стыковых швов труб, сваренных в неповоротном положении с использованием комплекса «ПРОТЕУС» и порошковой проволоки POWER PIPE 60R.

В заключение следует отметить, что разработка и серийный выпуск выпрямителей нового поколения типа ВД-506ДК, ВДУ-511, обеспечивающих стабильную работу при различных напряжениях на дуге и реализующих все известные виды каплепереноса электродного металла, позволил перейти к разработке новых технологий механизированной сварки в защитных газах многослойных стыковых швов при строительстве

мостов и прокладке трубопроводов в монтажных условиях.

Разработаны новые бесшовные металлопорошковые проволоки POWER BRIDGE 60M и POWER BRIDGE 50M для механизированной сварки конструкционных сталей типа 10XCHД, 15XCHД, 09Г2С и порошковые проволоки рутилового типа POWER PIPE 60R и POWER PIPE 90R для автоматической сварки трубных сталей в защитных газах во всех пространственных положениях.

Реализация технологических возможностей новых порошковых проволок с помощью выпрямителей ВД-506ДК, ВДУ-511 обеспечивает требуемые эксплуатационные характеристики сварных соединений, а также позволяет существенно увеличить производительность процесса сварки стыковых швов в монтажных условиях.

1. *Исследование* влияния режимов полуавтоматической сварки в смесях газов и вида переноса электродного металла на химический состав и механические свойства сварного соединения / М. В. Карасев, А. П. Ладыжанский, С. В. Головин и др. // Трубопровод. трансп. Теория и практика. — 2006. — № 1. — С. 48–53.
2. *Новые разработки* НПО «СЭЛМА-ИТС» для дуговой сварки в защитных газах / М. В. Карасев, Д. Н. Работинский, Г. В. Павленко и др. // Автомат. сварка. — 2004. — № 5. — С. 40–45.
3. *Особенности* современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах / М. В. Карасев, Е. М. Вышемирский, В. И. Беспалов и др. // Там же. — 2004. — № 12. — С. 38–42.
4. *Работинский Д. Н., Сальников М. Ю.* Минимизация затрат при проведении сварочных работ на трубопроводах // Территория нефтегаз. — 2008. — № 6. — С. 134–135.

Results of development of the technology for butt welding of pipelines under field conditions are presented. Advantages of the new types of flux-cored wires with a rutile type core, used with the VD-506DK rectifier, are considered. Recommendations are given for selection of shielding gas mixtures and welding conditions.

Поступила в редакцию 11.08.2008