

Исследование влияния режимов полуавтоматической сварки на выпрямителях типа ВД-506ДК металлопорошковой проволокой POWER BRIDGE 60М в смесях газов на механические и вязко-пластические свойства наплавленного металла при сварке мостовых конструкций.

Д.т.н. Карасев М.В., Работинский Д.Н., (ЗАО НПФ «ИТС»), к.т.н. Гребенчук В.Г. (ЦНИИС НИЦ «Мосты»), Карасева С.М. (СПбГПУ), к.т.н. Р. Розерт («Drahtzug Stein», Германия).

До 2006г при сварке мостовых металлоконструкций основными технологическими процессами была автоматическая сварка под флюсом, автоматическая сварка с металлохимической присадкой, ручная дуговая сварка и механизированная сварка сплошными проволоками в защитных газах и под флюсом, а также самозащитными порошковыми проволоками. Делаются попытки применить порошковые проволоки рутилового типа для сварки в защитных газах. Недостаточный набор типовых технологических процессов связан с отсутствием конкурентоспособного отечественного сварочного оборудования, материалов и низким уровнем взаимодействия отраслевого института ЦНИИС и производителей сварочного оборудования. Это, соответственно, вело к снижению производительности труда и уровня качества при монтаже мостовых конструкций и на заводах, производящих элементы металлоконструкций.

С 2005г началось взаимодействие крупнейшего производителя сварочного оборудования, группы предприятий ИТС, разработчиками технологий в отечественном мостостроении - ЦНИИС НИЦ «МОСТЫ». Это дало первые результаты.

С 2006г на рынке мостостроения активно применяется комплект сварочного оборудования, включающий выпрямители ВД-506ДК, механизм подачи ПДГО-511 (510) и новую металлопорошковую проволоку марки POWER BRIDGE 60М. Эта новая технология предложена ЦНИИС НИЦ «Мосты» для замены морально устаревшей и низкопроизводительной ручной дуговой сварки. Новая проволока и сварочное оборудование аттестованы в ЦНИИС НИЦ «Мосты».

Первое применение новой технологии при сварке мостовых конструкций прошло на следующих объектах стального мостостроения РФ: при реконструкции моста через р. Волга в г. Кимры Тверской области выполнялась механизированная сварка металлопорошковой проволокой металлоконструкций пилонов, при

строительстве моста через р. Москва в г. Москве на участке Краснопресненского Проспекта от МКАД до Проспекта Маршала Жукова, столице Казахстана в г. Астана при строительстве моста через р. Ишим на трассе М-2, а также на заводах, производящих металлоконструкции пролетных строений мостов.

За рубежом, применение металлопорошковых проволок при строительстве мостовых конструкций производится достаточно давно. Однако, применение существующих зарубежных металлопорошковых проволок в России без их модернизации не представляется возможным, ввиду различных требований, особенно к вязко-пластическим свойствам металла шва. Это обусловлено различными климатическими зонами, в частности более низкими температурами в зимнее время.

Использование новой технологии вместо ручной дуговой сварки позволило резко повысить качество сварного соединения, особенно, в области ударной вязкости при отрицательных температурах, существенно снизить количество дефектов в сварном шве, от 40 до 80% повысить производительность процесса механизированной сварки по сравнению с ручной дуговой сваркой.

На рис.1 показан мост “Dreirosenbrücke“ в г. Базель, Швейцария, на рис.2 – сварные фермы этого моста и сварные элементы креплений. Сварочные работы выполнялись металлопорошковой проволокой МЕГАФИЛ710М в полевых условиях.



Рис.1 Мост “Dreirosenbrücke“ в г. Базель, Швейцария



Рис.2 Сварные фермы моста “Dreirosenbrücke“ и сварные элементы креплений
Сварка велась стандартной металлопорошковой проволокой МЕГАФИЛЛ 710М в
полевых условиях.

Целью настоящей работы является исследование механических и вязко-пластических свойств сварных соединений, выполненных металлопорошковой проволокой типа POWER BRIDGE 60М в смеси газов на сварочных выпрямителях типа ВД-506ДК при различных погонных энергиях сварки, в различных пространственных положениях, при различных режимах переноса электродного металла, сравнительно с ручной дуговой сваркой и автоматической сваркой под слоем флюса.

Традиционно существует мнение, что технология сварки определяет сочетание режимных параметров оборудования и режимов расплавления применяемых сварочных материалов. При этом свойства сварного соединения определяются составом сварочных материалов. Легирование сварочных материалов определяется сложившимися традициями без учета данных по переходу легирующих элементов в металл шва при различных режимах работы сварочного источника тока.

Однако, в последние годы, в связи с интенсивным развитием сварочного оборудования и сварочных материалов, особенно, порошковых, этот традиционный подход несколько устарел. С применением новых сварочных установок и качественными изменениями в стабильности их работы в различных режимах,

появились различия в принципах разработки сварочных материалов для полуавтоматической сварки. Это связано с различной степенью перехода легирующих элементов в металл шва при изменении режимов работы сварочного оборудования, значительным диапазоном режимных параметров, резким увеличением стабильности горения дуги при использовании новых сварочных материалов и спецификой формирования сварочной ванны при использовании металлопорошковых порошковых проволок.

В литературе /1,2/ подробно описаны режимные параметры механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения на традиционном сварочном оборудовании типа ВДУ-506, ВДУ-601, ВС-600 и др. В основном применяется проволока сплошного сечения типа Св08Г2С диаметром 1,2...2,0 мм, в качестве защитного газа – CO₂ или смеси газов типа М21, диапазон токов дуги 250...400А, напряжение на дуге 25...34В. Производительность процесса составляет до 10кг/час. Средняя линейная скорость при механизированной сварке составляет 10,8...21,6м/час (3...6 мм/с). Для примера, при автоматической сварке под слоем флюса – 19,8...40м/час (5,5...11 мм/с), при ручной дуговой сварке 7,2...12.6 м/час (2,5...3 мм/с). Погонная энергия при сварке определяется по зависимости $Q = A I_{св} U_{д} / V_{св}$, где А- коэффициент, определяемый видом сварки.

Q_1 (кДж/мм) = $0,8I(A)U(B)10^{-3}/V_{св}(мм/сек)$ – в случае сварки в защитных газах.

Q_2 (кДж/мм) = $I(A)U(B)10^{-3}/V_{св}(мм/сек)$ – в случае сварки под слоем флюса.

Q_3 (кДж/мм) = $0,9I(A)U(B)10^{-3}/V_{св}(мм/сек)$ – в случае ручной дуговой сварки.

Расчет показывает:

$$Q_1 = 0,8 \times 250 \times 24 \times 10^{-3} / (5,0 \dots 5,5) = 0,87 \dots 0,96 \text{ кДж/мм}$$

$$Q_2 = 650 \times 32 \times 10^{-3} / (5,5 \dots 11) = 1,89 \dots 3,78 \text{ кДж/мм}$$

$$Q_3 = 0,9 \times 250 \times 30 \times 10^{-3} / (2,0 \dots 3,5) = 1,93 \dots 3,37 \text{ кДж/мм}$$

Рекомендуемая максимальная погонная энергия для обеспечения минимальных деформаций и высокой ударной вязкости по данным немецкого стандарта Ллойд составляет 1,5 кДж/мм. В некоторых организациях, относящихся к нефтегазовому комплексу, для достижения высоких вязко-пластических свойств металла шва, это значение ограничивается 0,8...1 кДж/мм.

Из приведенных расчетов следует, что механизированная сварка в защитных газах, при правильно выбранном режиме сварки более предпочтительна, чем

автоматическая сварка под слоем флюса и ручная дуговая по причине более низкой погонной энергии и, соответственно, более высоких механических и вязкопластических свойств.

На рис.3 показан шлиф сварного соединения, выполненного автоматической сваркой под слоем флюса проволокой сплошного сечения при погонной энергии 1,9 кДж/мм. Из анализа рисунка следует, что в металле сварного шва имеется развитая сеть дендритов (кристаллитов) в центральной зоне шва, что существенно снижает вязко-пластические свойства металла шва.

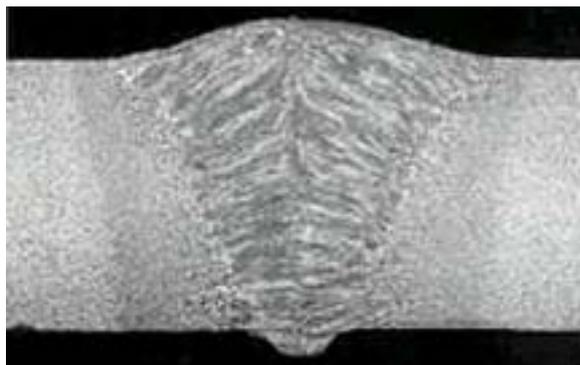


Рис.3 Шлиф сварного соединения из стали 10ХСНД, выполненного автоматической сваркой под слоем флюса при погонной энергии 1,9 кДж/мм

Недостатком использования вышеназванной традиционной сварочной техники и проволоки сплошного сечения для механизированной сварки в защитных газах является сложность работы сварщика по управлению течением металла в сварочной ванне в различных пространственных положениях при значительных линейных скоростях (низких значениях погонной энергии), высокое разбрызгивание сварочной проволоки сплошного сечения и низкая стабильность сварочной дуги.

В случае использования инверторных импульсно-дуговых сварочных источников тока, максимальный сварочный ток составляет 250А при напряжении 32...34В. В основном используется сварочная проволока диаметром 1.2мм и смеси газов типа M21 (82% Ar+18%CO₂). В этом случае процесс сварки гораздо более стабилен во всех пространственных положениях. Недостатком является недостаточная ударная вязкость сварного соединения при отрицательных температурах и низкая производительность (до 5 кг/час).

При использовании выпрямителей ВД-506ДК и металлопорошковой проволоки POWER BRIDGE 60М диаметрами 1,2 мм или 1,6 мм, сварочный ток составляет 250-480А при напряжении 22...28В. Производительность процесса достигает 12 кг/час за

счет возможности увеличить сварочный ток без потери качества сварного соединения. Используются смеси газов типа M21 или чистый CO₂. Процесс сварки стабилен во всех пространственных положениях, разбрызгивания электродного металла практически не происходит, сварщик легко управляет течением металла в сварочной ванне, ударная вязкость при температуре -40⁰С, при сварке в смесях газов, составляет по Менаже, KCU не менее 120Дж/см², ударная вязкость по Шарпи, KCV не менее 100Дж/см², что почти в два раза превышает нормативный показатель. Предел прочности при стандартном режиме сварки составляет более 650МПа, предел текучести – более 490Мпа, относительное удлинение – более 21%. При сварке в CO₂ эти показатели снижаются на 20Дж/см² применительно к ударной вязкости и на 40...50Мпа применительно к пределу прочности и текучести металла шва. Указанные значения полностью отвечают требуемым параметрам при сварке сталей 15ХСНД, 15ХСНДА и 10ХСНДА, которые применяются при сварке мостовых конструкций.

Металлопорошковая проволока выполнена по типу порошковых проволок, т.е. имеет бесшовную оболочку, которая с плотностью 6,92г/см³ наполнена металлическим порошковым наполнителем без флюса. Защита сварочной ванны осуществляется защитными газами. На рис.4 показано сечение металлопорошковой проволоки.



Рис.4 Сечение металлопорошковой проволоки POWER BRIDGE 60M.

Так как проволока не имеет флюса, при сварке нет шлаковой корки. Отсутствие флюса предполагает только прямое легирование, а не через шлак, как в случае рутиловых или основных порошковых проволок. Это позволяет легко получать практически любые свойства наплавленного металла, недостижимые ранее при использовании традиционных порошковых проволок или проволок сплошного сечения. Так как проволока выполнена бесшовной, это позволяет не делать

ограничений по условиям хранения. Каждая кассета упакована в герметичный пакет, имеет рядную намотку.

Металлопорошковая проволока POWER BRIDGE 60M разработана ЗАО НПФ «ИТС», фирмой «Drahtzug Stein», Германия, С-Петербург и ОАО ЦНИИС НИЦ «Мосты» на базе металлопорошковой проволоки МЕГАФИЛ710М специально для механизированной сварки в защитных газах в климатических условиях России на выпрямителях ВД-506ДК, который имеет три специфических режима переноса электродного металла. Проволока выпускается в Германии на фирме «Drahtzug Stein». Отличием от прототипа является то, что выполнено микролегирование титаном, изменено содержание марганца и кремния, введен никель, ограничено содержание серы и фосфора. При разработке новой проволоки были учтены особенности массопереноса в области короткой дуги, «захоленной» струи и «длинной дуги». Владельцем ТУ на сварочную проволоку POWER BRIDGE 60M является ЗАО НПФ «ИТС».

В работе /1/ рассмотрено влияние режимов каплепереноса электродного металла на свойства металла шва. Металлопорошковая проволока существенно отличается от проволок сплошного сечения по поведению сварочной ванны при сварке. Сварочная ванна металлопорошковой проволоки POWER BRIDGE 60M имеет меньшую текучесть и, соответственно, большую вязкость, округлую форму провара, легко поддается стабилизации во всех пространственных положениях, легко управляется сварщиком при сварке на выпрямителях типа ДК. Внешний вид сварного шва достаточно специфичен по сравнению с любыми другими видами проволок за счет большей вязкости жидкого металла (рис.6).

Микролегирование является очень важной составляющей металлопорошковой проволоки. Это позволяет при охлаждении сварочной ванны обеспечить наличие многих центров кристаллизации, что разориентирует направленный рост дендритов и уменьшает их размер.

Сварочные выпрямители типа ВД-506ДК и ВД-306ДК фирмы ИТС выпускаются с конца 90-х годов, являются, наряду с выпрямителем типа ДС-400 фирмы «Линкольн Электрик», основной сварочной установкой ОАО «ГАЗПРОМ» и ОАО «ТРАНСНЕФТЬ». В этих выпрямителях впервые обеспечена стабильная работа во всем диапазоне регулировки сварочного напряжения (от 13 до 38В), что обеспечивает

все виды переноса электродного металла при механизированной сварке. Ограничений по диаметру проволок не имеется. На рис.5 представлен выпрямитель ВД-506ДК.

При разработке установок типа ДК, особое внимание было уделено формированию специального импульса тока дуги при переносе электродного материала.



Рис.5 Сварочный выпрямитель ВД-506ДК.

Рис.6 Общий вид облицовочного шва (в два валика) на проволоке POWER BRIDGE 60M (x6).

Отличительной чертой установки ВД-506ДК является также то, что на ней стабильно осуществляется процесс традиционной сварки длиной дугой – струйный процесс (напряжение более 24В), процесс сварки в среднем диапазоне напряжений (от 19,5 до 23В) – получивший название «захоженная» струя и процесс сварки короткой дугой в диапазоне малых напряжений (от 13 до 17,5 В) – процесс ВКЗ.

Понятие «захоженная» струя - это специфический термин, означающий, как отмечалось выше, работу в среднем диапазоне напряжений, когда процесс сварки является очень похожим на струйный, однако с элементами коротких замыканий, продолжительностью не более 5 мс, следующих с частотой более 100Гц. Наличие таких коротких замыканий является существенным технологическим фактором, стабилизирующим сварочную ванну в различных пространственных положениях. Процесс широко применяется в судостроении и нефтегазовом комплексе при сварке порошковыми проволоками. Работа в области средних напряжений на дуге («захоженная» струя) целесообразна в мостостроении прежде всего при сварке во всех пространственных положениях при использовании широкого диапазона разделок кромок свариваемого металла. Другим преимуществом такого метода сварки является снижение нагрева свариваемого изделия, что снижает термические деформации. Очень перспективна эта технология при автоматической сварке в среде защитных

газов во всех пространственных положениях, сварке закаливающих и экономно легированных сталей. Является основным процессом для мостостроения при сварке во всех пространственных положениях.

ВКЗ-процесс – характерен для выпрямителей типа ВД-506ДК, с 2002 г активно применяется в ОАО «ТРАНСНЕФТЬ» для сварки корня шва, в судостроении – для сварки всех слоев шва во всех пространственных положениях, с 2006г – прописан в стандарт ОАО «ГАЗПРОМ». Процесс ВКЗ позволяет дозировать тепловложение и количество присадочного металла в сварочной ванне. Тем самым создается равновесие по силовым факторам, действующим на сварочную ванну и оптимальная вязкость сварочной ванны. К числу этих силовых факторов относится: величина давления дуги, поверхностное натяжение и собственный вес расплавленного металла. Процесс ВКЗ является процессом с «холодным» переносом электродного металла, имеет минимальные размеры сварочной ванны и требует специальной техники сварки. Достаточно подробно описан в литературе /1,2, 3/. В мостостроении в отдельных случаях применяется при сварке облицовочных проходов в вертикальном и потолочном пространственных положениях. На рис.7 показан вид обратных валиков, полученных на весу при использовании проволоки сплошного сечения и металлопорошковой проволокой.



А



Б

Рис.7 Вид обратного валика сформированного на весу при сварке проволокой сплошного сечения типа ПСГ-03.01 (А) и металлопорошковой проволокой типа POWER BRIDGE 60М (Б) диаметром 1,2 мм на установке ВД-506ДК.

При получении стабильного режима сварки во всем диапазоне напряжений на дуге и при любом виде переноса электродного металла, стало возможным впервые оценить степень перехода легирующих металлопорошковой сварочной проволоки в металл шва. В таблице 1 приведены данные по зависимости химсостава наплавленного металла от сварочного напряжения и вида переноса электродного металла.

Как следует из анализа данных таблицы 1, вид переноса электродного металла оказывает существенное влияние на химсостав наплавленного металла. Чем больше напряжение на дуге, тем больше длина дуги и время нахождения электродного металла в зоне высоких температур и, соответственно, больше выгорание легирующих элементов. Наиболее зависимым от вида переноса электродного металла является марганец, содержание которого может изменяться в металле шва в диапазоне 1,35% (длинная дуга) - 1,90% (ВКЗ-процесс). Содержание других элементов менее зависит от вида переноса электродного металла.

Из анализа данных таблицы 2 следует, что, изменяя режимы сварки (виды переноса электродного металла), погонную энергию при применении одного и того же сварочного оборудования и сварочных материалов можно получить значительный диапазон свойств сварного соединения, в зависимости от вида переноса электродного металла, который определяется сварочным напряжением.

При этом можно получить как экстремально высокие значения механических и вязкопластических свойств металла шва, так и стандартные значения. Это определяется значением сварочного напряжения, величиной погонной энергии, и соответственно, различной степенью перехода легирующих элементов в металл шва.

Традиционные составы сварочных материалов, рассчитанные на высокую степень выгорания легирующих при работе в области только «длинной» дуги, не обеспечивают оптимального химсостава металла шва в случае использования современной сварочной техники. Так, например, неконтролируемое выгорание марганца при сварке в области «длинной» дуги в углекислом газе на традиционных сварочных установках (ВС-600, ВДУ-506 и др.) привело в СССР к созданию известной проволоки типа СВ-08Г2С.

При работе на современных сварочных установках или в смесях газов, где выгорание легирующих минимизировано, использование этой проволоки приводит к завышенным прочностным показателям и к уменьшению ударной вязкости ниже нормативных значений. Проволока типа СВ-08Г2С в зарубежных фирмах не применяется вообще. В смеси газов за рубежом применяется проволока СВ-08ГС, в которой содержание марганца снижено заранее.

Значительное влияние на свойства сварных соединений, кроме вида переноса электродного металла, оказывает погонная энергия при сварке (табл.2).

Таблица 1. Зависимость химсостава наплавленного металла от режимов переноса электродного металла при сварке проволокой POWER PIPE 60M на выпрямителе ВД-506ДК при линейной скорости перемещения горелки 18м/час (5 мм/с).

Диаметр проволоки, мм	U, В	I, А	Вид переноса	Содержание элементов, %				
				С	Mn	Ti	Si	Ni
1,2	15-16	180	ВКЗ	0,05-0,07	1,80-1,90	0,012	0,7-0,75	0,30-0,40
	22	180	Захоложенная струя	0,05-0,07	1,60-1,65	0,013	0,66-0,70	0,35-0,40
	24	180	Струйный	0,04-0,05	1,40-1,50	0,011	0,62-0,65	0,30-0,35
1,6	15-16	180	ВКЗ	0,05-0,07	1,80-1,90	0,013	0,80-0,85	0,35-0,40
	19-20	180	Захоложенная струя	0,05-0,07	1,70-1,75	0,012	0,80-0,85	0,35-0,40
	24	180	Струйный	0,05-0,06	1,35-1,45	0,012	0,70-0,75	0,35-0,40

Из анализа данных, приведенных в таблице 2, можно также сделать вывод, что сочетание различных видов переноса электродного металла, погонных энергий и нового сварочного материала позволяет получить сочетание высоких механических и вязко-пластических свойств сварного соединения при экономном легировании металла шва. При этом данные по микротвердости и относительному удлинению показывают на отсутствие в металле шва закалочных структур. Это очень важно, так как ранее, такие свойства можно было получить только при применении сварочных проволок с содержанием никеля не менее, чем 1,5-2,2%.

Объяснение полученных данных является темой отдельной работы и исследования. Очевидно, что одновременно действуют два фактора. Действие первого фактора заключается в том, что при увеличении линейной скорости сварки (уменьшении погонной энергии) увеличивается переход легирующих элементов из

проволоки в металл шва, что соизмеримо с действием снижения напряжения на дуге. Действие второго фактора более сложно. Оно заключается в том, что при снижении погонной энергии резко увеличивается скорость кристаллизации сварочной ванны. Это приводит к увеличению сварочных напряжений, которые вызывают появление остаточного аустенита в металле шва.

Таблица 2. Свойства металла шва, выполненного металлопорошковой проволокой POWER BRIDGE 60M (PB 60M) диаметром 1,2 мм в режиме ВКЗ (I=180А, U=15В), «захоленной» струи (I=290А, U=22В) и струйного переноса (I=250А, U=28В).

Вид переноса электродного металла /погонная энергия, кДж/мм, при $V_{лин}, мм/с$		Ударная вязкость, KCV, Дж/см ² , при температуре, С ⁰			Мехсвойства металла шва		
		-20	-40	-60	σ_T	σ_B	$\Psi_{мш}, \%/HV_{10}$
ВКЗ (в нижнем положении)	0,540 (4мм/с)	120- 130	80-90	40-50	590- 600	650- 660	22
	0,196 (11мм/с)	80-90	40-50	-	-	-	22
«Захоленная» струя (в вертикальном положении, сверху-вниз)	1,276 (4 мм/с)	140- 160	110- 120	60-90	530- 540	600- 610	22/219-238
	1,23 (6 мм/с)	140- 160	110- 120	60-80	630- 640	670- 680	20/217-238
	0,464 (16мм/с)	130- 150	110- 120	70-80	750- 760	750- 770	21/238-277
Струйный (в вертикальном положении, сверху-вниз)	1,400 (4 мм/с)	120- 130	110- 120	60-80	520- 540	600- 610	22/220-250
	1,23 (6 мм/с)	130- 150	110- 130	-	630- 640	670- 680	20/218-244
	0,509 (16мм/с)	140- 160	110- 130	70-80	740- 750	750- 770	21/240-286

Стандартное легирование проволоки большим содержанием никеля, несмотря на повышение общего уровня свойств сварного соединения, ведет к появлению других проблем, например, к увеличению микротвердости металла шва более 300 HV₁₀. Это делает проблематичным применение сварного соединения в конструкциях со знакопеременными нагрузками. При использовании проволоки POWER BRIDGE 60M, микротвердость металла шва не превышает 286 HV₁₀.

Применение того или иного режима переноса электродного металла (ВКЗ, «захоложенная» струя или струйный перенос) и выбор погонной энергии при сварке определяются требуемыми пространственным положением при сварке и прочностными свойствами сварного соединения. Применение режимов «захоложенная струя» и струйный перенос не влияет на свойства сварного соединения. Различие заключается только в различных стабильности и управляемости сварочной ванны, которая выше в случае режима «захоложенная струя».

ВКЗ-процесс существенно отличается по механическим свойствам сварного соединения от других режимов переноса электродного металла. Он универсален с точки зрения пространственного положения, но обладает пониженной производительностью (около 5 кг/час). Процесс «захоложенная» струя применим для сварки во всех пространственных положениях с высокой производительностью. Процесс струйного переноса – более применим при сварке в нижнем пространственном положении, например, при сварке угловых швов для получения катета швов не менее 8 мм в один проход.

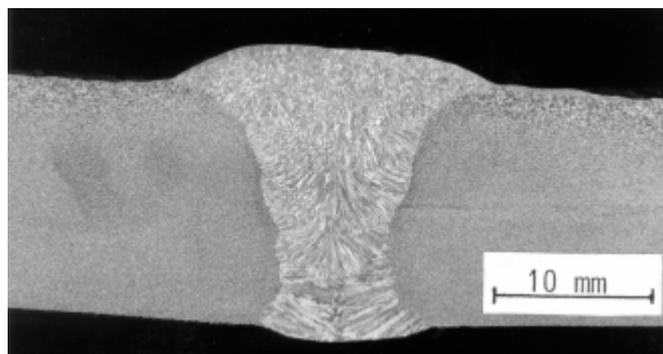
Другим существенным преимуществом металлопорошковой проволоки POWER BRIDGE 60M перед аналогами является низкая чувствительность ударной вязкости сварного соединения к раскладке валиков внутри разделки при выполнении заполняющих слоев и низкая зависимость ударной вязкости от величины погонной энергии (см. табл.2). При использовании порошковых проволок других типов, особенно, рутиловых и самозащитных, это влияние велико.

Наиболее сильно эта зависимость выражена при сварке порошковыми проволоками рутилового типа, где толщина слоя в один проход не должна превышать 2,5 мм и недопустимо переплавление предыдущих слоев последующими, особенно в центральной области. Активный рост дендритов каждого слоя в параллельных направлениях приводит в случае порошковой проволоки рутилового типа к снижению

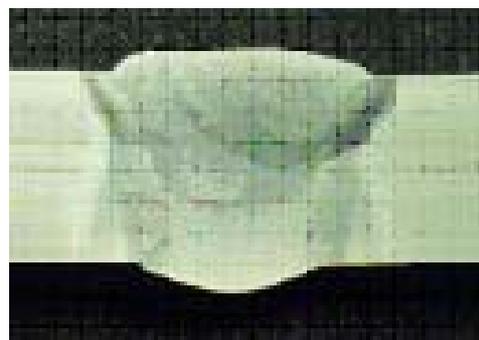
ударной вязкости в 2 и более раза. Поэтому, приходится строго контролировать схему раскладки валиков внутри разделки и ограничивать величину погонной энергии, за счет линейной скорости перемещения горелки. Это приводит к усложнению технологического процесса, любое нарушение которого приводит к браку.

На рис.8 показаны шлифы порошковых проволок рутилового типа и металлопорошковой. Как следует из сравнительного анализа рис.8А и 8Б, а также рис.3, на шлифах порошковой проволоки рутилового типа и соединении, выполненного автоматической сваркой под слоем флюса отчетливо видны крупные дендриты. Из шлифа металлопорошковой проволоки (рис.8Б) следует, что ее строение более мелкозернистое и равномерное. Ярво выраженных дендритов не зафиксировано. Это и обеспечивает преимущество металлопорошковой проволоки по свойствам наплавленного металла перед порошковыми проволоками рутилового типа и самозащитными.

Использование проволок сплошного сечения типа Св-08Г2С приводит к тому же негативному эффекту.



А



Б

Рис.8 Шлифы порошковой проволоки рутилового типа (А) и металлопорошковой (Б).

Другим негативным эффектом использования проволок сплошного сечения и порошковых рутилового типа при механизированной сварке в защитных газах является сильная зависимость ударной вязкости от ширины разделки основного металла и угла раскрытия разделки. На рис.9 показана зависимость работы удара наплавленного металла при V-образном надрезе, в зависимости от температуры испытания, зазора в корне шва и угла разделки при сварке порошковой проволокой рутилового типа.

Из рис.9 следует, что чем больше зазор в корне шва, тем меньше работа удара и чем меньше угол между кромками, тем больше работа удара. Объясняется это условиями кристаллизации металла сварочной ванны, а именно условиями и направлениями роста дендритов. Достаточно большая жидкая сварочная ванна и отсутствие микролегирования легко провоцируют невыгодный рост дендритов при кристаллизации (рис.8А). Применение микролегирования порошковых проволок рутилового, основного типа или самозащитных порошковых проволок не эффективно, т.к. шлаковая корка на поверхности шва значительно снижает скорость охлаждения сварочной ванны и ведет к росту дендритов.

В случае металлопорошковой проволоки POWER BRIDGE 60M указанное влияние минимизировано, ввиду микролегирования и особенностей кристаллизации, что отмечалось выше. В проведенных в данной работе экспериментах при сварке металлопорошковой проволокой не удалось выявить показанных на рис.9 зависимостей, которые относятся только к проволокам сплошного сечения и другим порошковым проволокам, включая самозащитные.

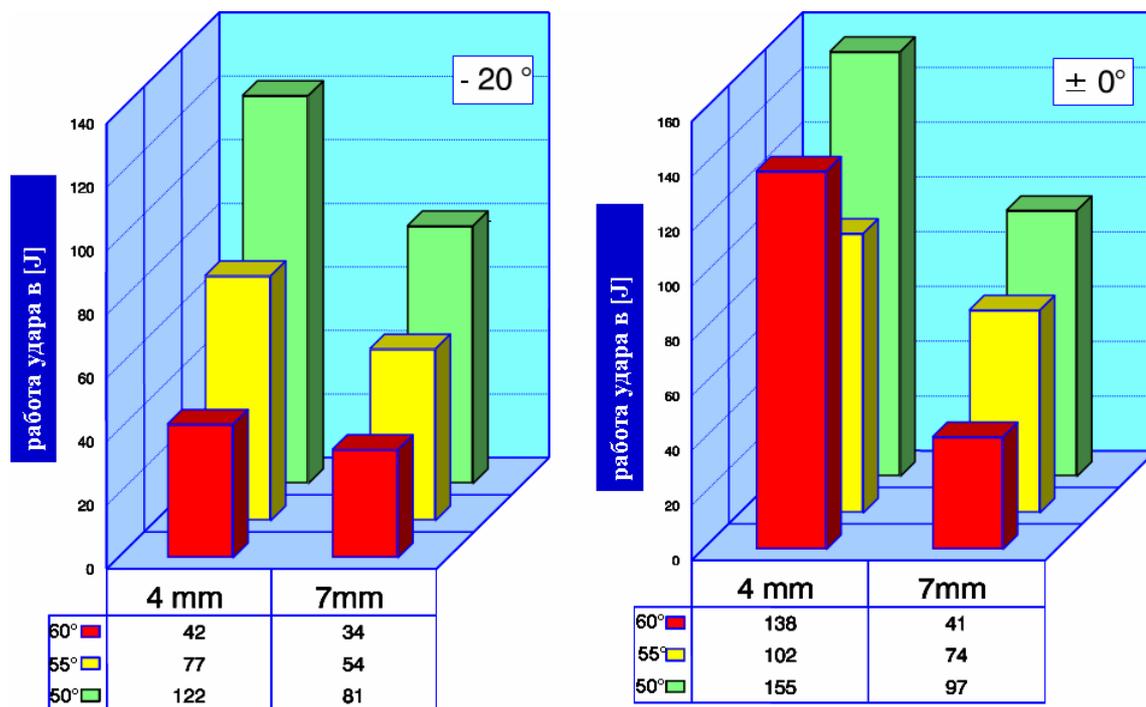


Рис.9 Зависимость работы удара при V-образном надрезе в зависимости от температуры испытания, зазора в корне шва и угла раскрытия разделки при сварке порошковыми проволоками рутилового типа на керамической подкладке.

Выводы:

1. Разработка и серийный выпуск выпрямителей нового поколения типа ВД-506ДК, работающих в широкой области каплепереноса электродного металла, позволили оптимизировать технологии сварки различных слоев сварного шва.
2. Установлено влияние на механические свойства сварных соединений вида переноса электродного металла и величины погонной энергии. С изменением этих параметров, изменяется химсостав наплавленного металла при использовании одной и той же проволоки. Вид переноса электродного металла определяется величиной напряжения на дуге.
3. В зависимости от задач – повышение прочности или ударной вязкости сварного соединения, появляется возможность за счет изменения напряжения на дуге и вида переноса электродного металла, а также погонной энергии в пределах 40% изменять величину механических характеристик металла шва. Требуемый диапазон изменения напряжения на дуге и виды переноса электродного металла обеспечивается источниками типа ДК.
4. Разработана новая металлопорошковая проволока POWER BRIDGE 60M с микролегированием исходной шихты, для сварки во всех пространственных положениях, которая в оптимальном диапазоне регулировки напряжения на дуге и величины погонной энергии обеспечивает получение еще более высоких свойств сварного соединения, достижимых ранее только при использовании никельсодержащих порошковых сварочных проволок.
5. Установлено влияние вида разделки основного металла на вязко-пластические свойства металла шва, которые определяют ширину валиков сварного шва, получаемых при заполнении разделки порошковыми проволоками рутилового типа. Чем больше зазор в корне шва и больше угол раскрытия разделки, тем меньше величина ударной вязкости. При использовании металлопорошковых проволок типа POWER BRIDGE 60M, ввиду их микролегирования, такого влияния не выявлено.
6. Выявлено влияние раскладки валиков при заполнении разделки порошковой проволокой рутилового типа на вязко-пластические свойства металла шва, где толщина слоя в один проход не должна превышать 2,5 мм и недопустимо переплавление предыдущих слоев последующими, особенно в центральной области. Активный рост дендритов каждого слоя в параллельных

направлениях приводит в случае порошковой проволоки рутилового типа к снижению ударной вязкости в 2 и более раза. При использовании металлопорошковых проволок типа POWER BRIDGE 60M, ввиду их микролегирования, такого влияния не выявлено.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Карасев М.В., Ладыжанский А.П., Головин С.В., Работинский Д.Н., Р. Рохзерт, Зинченко А.В., Павленко Г.В. Исследование влияния режимов полуавтоматической сварки в смесях газов и вида переноса электродного металла на химический состав и механические свойства сварного соединения – Трубопроводный транспорт. Теория и практика. № 1, 2006, с. 48-53.
- 2 Карасев М. М., Работинский Д. Н., Павленко Г. В., Сорока В. Л., Шолохов М. А. Новые разработки НПО "СЭЛМА-ИТС" в области дуговой сварки в защитных газах - Автоматическая сварка, №5, 2004, с. 40–46.
3. Карасев М. В., Вышемирский Е. М., Беспалов В. И., Работинский Д. Н., Захаров И. М., Беляев А. Е., Павленко Г. В. Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах - Автоматическая сварка, №12, 2004, с. 38–42.