

# Правильный выбор и подготовка сварочных материалов — основа эффективного производства сварочных работ

С. Н. Жизняков, кандидат технических наук, Белорусский национальный технический университет

*Сварочные материалы: покрытые металлические электроды, защитные газы, проволока сплошного сечения и порошковая проволока, флюсы и неплавящиеся электроды непосредственно участвуют в процессе сварки, выполняя технологические и металлургические функции, обеспечивающие возможность, как стабильного протекания самого процесса сварки, так и получение качественного сварного соединения с требуемыми свойствами.*

Именно сварочные материалы защищают зону сварки от вредного воздействия окружающего воздуха, а также раскисляют, легируют и рафинируют жидкий металл сварочной ванны, позволяя сварному шву стать равноценным по свойствам основному металлу. В ряде случаев они регулируют содержание газов в расплавленном металле. Определяющая роль сварочных материалов подчеркивается наименованием основных видов и способов сварки плавлением. Это сварка покрытым металлическим электродом, под флюсом, в углекислом газе, аргонодуговая, газовая и термитная сварка и др. Разработка практически любого технологического процесса сварки заданной конструкции начинается с рационального выбора сварочного материала в зависимости от установленного способа сварки, типа и марки основного металла, конструктивных особенностей сварных соединений и предъявляемых к ним требований, условий производства сварочных работ, организационно-экономических показателей. И только при правильном выборе сварочных материалов достигается высокая эффективность сварочных работ и получение качественного конкурентоспособного сварного продукта. К сожалению эта столь очевидная истина во многих случаях не находит должного понимания как у разработчиков технологии сварки так, и притом особенно, у руководителей, находящихся около сварки и негативно влияющих на сварочную деятельность вследствие недостаточной информированности и некомпетентности. Прежде всего отсутствует понимание того, что на сварочных материалах как на главной структурной составляющей технологического процесса сварки экономия недопустима по определению (как недопустима она, например, применительно к хирургическому инструменту при выполнении сложных жизненноважных операций. А сварщик – это своеобразный «хирург», накладывающий швы на чувствительный к нагреву металл часто в полевых условиях и обеспечивающий жизнедеятельность сварной конструкции). Экономить надлежит на других связанных со сваркой операциях и здесь имеется широкое поле деятельности. Тем более, что

затраты на сварочные материалы не превышают 1,0-1,5% от всей стоимости сварной конструкции. Как показывает практика дополнительные затраты на сварочные материалы с лихвой окупаются высокой производительностью, снижением уровня брака, на исправление которого тратятся несравненно большие материальные ресурсы, повышением надежности сварной конструкции, улучшением ее товарного вида. Подозрительно низкая стоимость предлагаемых сварочных материалов должна настораживать. Поистине в данной ситуации, как нельзя лучше, применима народная мудрость: скупой платит дважды.

При выборе сварочных материалов необходимо обращать повышенное внимание на их качество. На сегодняшний день это является актуальной проблемой. Дело в том, что по сложившейся в странах бывшего Советского Союза практики, многие сварочные материалы изготавливают, как правило, без надзора разработчиков (такое, например, происходит с электродами марки МР-3, разработанными автором этой статьи). Предприятия-изготовители электродов в целом ряде случаев самостоятельно занимаются так называемой «модернизацией» существующих марок электродов, направленной, главным образом, на снижение их себестоимости весьма часто в ущерб качественным характеристикам. В результате электроды, имеющие одинаковое марочное наименование, но изготовленные на предприятиях с разным техническим и организационным уровнем могут существенно отличаться по своим свойствам. Поэтому при выборе электродов, как и других сварочных материалов, надлежит ориентироваться не только на марку, но и на репутацию предприятия-изготовителя, а также производить жесткий приемочный контроль на их соответствие действующим нормативным документам и пригодности к сварке заданной конструкции в конкретных производственных условиях.

Следует отметить, что электроды белорусского производства с крайне ограниченной номенклатурой значительно уступают зарубежным аналогам, что обусловлено кроме всего прочего отсутствием

современного электродоизготавливающего оборудования и низкой квалификацией работающего в этой очень сложной и специфической области персонала. Местные электроды можно применять только для сварки рядовых конструкций в облегченных условиях. В связи с этим для сварки ответственных и особо ответственных объектов из углеродистых, низколегированных, легированных, теплоустойчивых и высоколегированных сталей и других металлов отечественные предприятия и организации вынуждены – и это более чем оправдано – закупать электроды у авторитетных фирм России, Швеции, Японии, США и других стран. Кстати, фирмы дальнего зарубежья изготавливают разработанные ими электроды только на своих предприятиях или по их лицензии. Так, широко используемые в Беларуси электроды с буквенным обозначением ОК изготавливает лишь фирма ESAB (Швеция), обозначением LB – фирма Kobe Steel (Япония) и т.п.

Выбор сварочных материалов сопровождается настоятельной необходимостью в их последующей подготовке к сварке и должным хранением на рабочем месте в соответствии с технологической документацией на сварку конкретного объекта. Подготовка к сварке – это прокатка электродов, флюсов и порошковой проволоки, прокатка и/или очистка (механическая, химическая) проволоки сплошного сечения, не имеющей покрытия и специально обработанной поверхности, придание концу вольфрамового электрода со стороны контактного торца определенной конической формы.

Ниже показаны некоторые, взятые из реальной производственной деятельности, примеры рационального выбора сварочных материалов.

### **Ручная дуговая сварка покрытыми электродами**

Сварку металлоконструкций из низкоуглеродистой стали обыкновенного качества, работающих при статической нагрузке (таких конструкций в строительстве большинство), можно выполнять электродами, как с рутиловым покрытием типа Э46 по ГОСТ 9467-75 марок МР-3, АНО-4, ОЗС-12, так и с основным покрытием типа Э42А марки УОНИ-13/45. Рекомендуется применять первый вариант, поскольку в этом случае значительно снижается требуемая температура прокатки электродов перед сваркой и в несколько раз повышается регламентируемая длительность хранения прокаленных электродов на рабочем месте, допускается сварка влажного металла, плохо очищенного от ржавчины, оксидов и других загрязнений, при этом сварка может производиться переменным и постоянным током при скорости ветра до 10 м/с сварщиками более низкой квалификации, поскольку отпадает необходимость поддерживать короткую и предельно ко-

роткую длину дуги (отмеченные особенности сварки рутиловыми электродами свидетельствуют об эффективности их использования особенно на строительно-монтажных площадках). В случае же сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистой качественной стали, работающих в тяжелых условиях, и подвергающихся непосредственному воздействию динамических нагрузок должны применяться электроды типа Э42А марки УОНИ-13/45, использование которых позволяет получать сварные швы с более высокими пластическими характеристиками и меньшей склонностью к образованию горячих трещин. Однако такие результаты могут быть получены только при неукоснительном соблюдении следующих, иногда трудно выполнимых требований: высокотемпературной прокатки электродов перед сваркой с жесткоограниченной – при отсутствии термопеноллов – продолжительностью их хранения на рабочем месте; тщательной очистки основного металла в месте сварки от всех загрязнений до металлического блеска; ведении процесса сварки высококвалифицированным сварщиком короткой и предельно короткой (опиранием) дугой постоянным током обратной полярности. Максимально допустимая скорость воздушного потока в зоне сварки не должна превышать 6 м/с. Кстати, такие же требования относятся к сварке всеми марками электродов с основным покрытием, в т.ч. типов Э46А, Э50А, Э55, Э60 т.д.

Здесь следует подчеркнуть, что сварка стыковых соединений из низкоуглеродистых сталей электродами типа Э50А (марок УОНИ-13/55, ТМУ-21У и др.) вместо электродов типа Э42А крайне нежелательна из-за значительного превышения прочностных характеристик получаемого металла шва по отношению к свариваемому металлу, что серьезно снижает работоспособность сварной конструкции. В то же время при сварке соединений из низколегированных сталей с применением, как это и положено, электродов типа Э50А корень шва целесообразно выполнять менее «прочными» электродами – электродами типа Э42А, что уменьшает в условиях появления растягивающих напряжений риск образования в нем трещин. Такой риск возникает из-за большего участия в построении химического и структурного состава корневых слоев шва более легированного основного металла и, как следствие, из-за увеличения их прочностных и снижения пластических свойств.

Сварка корня шва вообще является одним из основных и ответственных этапов выполнения сварного шва в целом. Особенно это относится к сварке стыковых соединений на весу, т.е. односторонней сварке с полным проплавлением кромок без использования подкладок. Такие соединения характерны для стыков труб газонефтепроводов, где к односторонним кольцевым швам предъявляются вы-

сокие требования по формированию обратного валика с правильным сечением. Получению качественного обратного валика способствует применение специализированных электродов с основным покрытием типа Э50А марок АНО-ТМ, LB-52U, ОК53,70, Fox EV Pipe и с целлюлозным покрытием марки Fox Cel (последние позволяют вести сварку в положении сверху вниз, что значительно увеличивает производительность сварочного процесса). При этом сварку корневых слоев шва приведенными и другими марками электродов следует выполнять постоянным током прямой полярности, остальные слои – обратной полярности. Сварка на прямой полярности создает из-за изменения геометрии дуги более благоприятные условия для формирования обратного валика и улучшения его внешнего вида. В общем случае следует знать, что многие электроды полностью открывают положительные свойства только при сварке на своей полярности. Для рутиловых электродов марки МР-3 это обратная полярность, для электродов с таким же видом покрытия марки ОЗС-12 – прямая.

Часто возникает необходимость в ремонте трубопроводов сетей водоснабжения и теплоснабжения, находящихся под остаточным давлением воды до 0,1 МПа. Особую сложность вызывает устранение сквозных эффектов, когда сварку приходится проводить по слою воды. Такие работы, обеспечивающие качественную заварку эффектов на низкоуглеродистых и низколегированных сталях, лучше производить электродами марки МГМ-50К типа Э50 переменным или постоянным током обратной полярности. Электроды могут применяться для сварки по воде с загрязненной и покрытой ржавчиной поверхностью.

Особенно внимательно надлежит относиться к выбору электродов для сварки высоколегированных коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей, а также разнородных сталей и сплавов. Для сварки некоторых высоколегированных сталей возможно применение только одной-двух марок электродов. Использование других в частности электродов дальнего зарубежья являющихся как-бы аналогами отечественных электродов, неприемлемо. Имеются случаи, когда не приемлемыми также оказываются и зарубежные электроды, рекомендуемые для сварки отечественных легированных сталей повышенной и высокой прочности. Состав и свойства металла шва, выполняемого с применением таких электродов зарубежных производителей, могут быть не равноценными свариваемому металлу. И наоборот, отечественные электроды, по качеству изготовления, не уступающие зарубежным аналогам, могут оказаться не пригодными для сварки зарубежных сталей. Во избежание негативных последствий сварку сталей со сложным легированием необходимо проводить

лишь «родными» электродами.

Сварку разнородных сталей, таких как высоколегированных хромоникелевых сталей аустенитного класса типа 12Х18Н9Т, 08Х18Н12Т и т.п. с низкоуглеродистыми, низколегированными и теплоустойчивыми сталями перлитного класса следует выполнять электродами, обеспечивающими получение наплавленного металла с устойчивой аустенитной структурой. Это электроды марок ЭА-395/9, НИАТ-5, ЦТ-10. При этом корневые слои швов, в которых доля участия основного металла может достигать 50% и более, следует сваривать электродами с повышенным запасом аустенитности – электродами марок ОЗЛ-25Б, ЦТ-28, что надежно исключает появление в корне шва мартенситных структур и, как следствие, образование трещин. Недопустимо использовать при сварке рассматриваемых сочетаний разнородных сталей электродов, специально предназначенных для высоколегированных сталей, таких как ЦЛ-11, ОЗЛ-8 и т.п., ибо появляется риск горячего растрескивания сварного шва.

Требуется знать, что указанные и другие марки «аустенитных» электродов также успешно применяются при производстве ремонтных сварочных работ на конструкциях из углеродистых, легированных и теплоустойчивых сталей без требуемого – как это положено при сварке «родными» электродами – предварительного подогрева и последующей термической обработки сварных соединений. Так, сварку легированной стали марки 30ХГСА по обычной схеме осуществляют электродами марки НИАТ-3М типа Э85 с предварительным подогревом до температуры 150-350 °С и с последующей термической обработкой получаемых сварных соединений. Применение же электродов марок НИАТ-5 и ЭА-395/9 позволяет избежать подогрева и термообработки (правда, надо учитывать, что прочностные свойства металла шва в этом случае будут уступать свойствам основного металла). То же при сварке теплоустойчивых сталей, которые без подогрева и термообработки можно сваривать электродами серии АНЖР, например, марок АНЖР-1 и АНЖР-2. Кстати, этими электродами сваривают также теплоустойчивые стали с высоколегированными жаропрочными сталями.

Нельзя не отметить особенности выбора электродов при исправлении с помощью ручной дуговой сварки дефектов чугунного литья, восстановлении поврежденных чугунных деталей и создании литосварных изделий из чугуна. Согласно ГОСТ 30430-96 горячую сварку чугуна, в зависимости от его вида, осуществляют электродами марок ЭЧ-1, ЭЧ-2, ЦЧ-5 и ЭВЧ-1, холодную сварку электродами на никелевой основе (ОЗЧ-3, ОЗЧ-4, МНЧ-2), медной (ОЗЧ-2, ОЗЧ-6), железоникелевой (ОЗЖН-1) и на железной основе (ЦЧ-4). Сварку ве-

дут короткими валиками, в зависимости от вида электрода длиной 20-60 мм, на предельно малой эффективной погонной энергии с перерывами на охлаждение до температуры 50-80 °С. В ряде случаев осуществляют проковку валиков молотком.

Холодную сварку новых и малоработавших водопроводных труб целесообразно выполнять электродами марки МНЧ-2, обеспечивающих получение плотного шва с повышенной коррозионной стойкостью в жидкостях. Устранение трещин в рубашке охлаждения двигателей внутреннего сгорания лучше производить электродами марки ОЗЧ-6, предназначенных для ремонта тонких конструктивных элементов. На новых радиаторах отопления и в малоработавшем корпусе редуктора трещины также заваривают электродами ОЗЧ-6, трещины в корпусе редуктора, работавшего продолжительное время – электродами марки ОЗЛ-25Б. Приварку отколовшейся части станины малой толщины производят электродами марок МНЧ-2 или ОЗЧ-4. Для приварки отколовшейся части станины большой толщины используют электроды марок МНЧ-2, ОЗЧ-3 и ОЗЖН-1. При этом первый слой выполняют электродами марки МНЧ-2 или ОЗЧ-3, а заполняющие слои по очереди электродами марок МНЧ-2 или ОЗЧ-3 и электродами марки ОЗЖН-1. Облицовочный слой снова осуществляют электродами марок МНЧ-2 или ОЗЧ-3. Восстановление изношенной поверхности чугуна детали, приварку отколовшейся части крышки люка производят электродами ЦЧ-4. Кстати, электродами марки ЦЧ-4 можно сваривать также чугун со сталью. Медь со сталью сваривают электродами марки Комсомолец 100.

### **Ручная дуговая резка**

Практически все сварщики и резчики ручную дуговую резку металла производят с использованием сварочных электродов общего назначения, т.е. электродов, предназначенных для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей – в основном электродами марок МР-3 и УОНИ-13/55. И это происходит в то время, когда существуют и в цивилизованных производствах применяются специализированные для дуговой резки электроды, обеспечивающие более высокое качество поверхности реза при повышенной скорости процесса. Стоимость некоторых марок электродов меньше стоимости электродов общего назначения. Положительный эффект резки достигается введением в состав электродного покрытия особых материалов, в т.ч. большого количества кислородосодержащих компонентов, способствующих образованию на конце электрода глубокой втулочки и создающих мощный направленный на разрезаемый металл высокотемпературный окислительный поток газов. Покрытие также предоставляет возмож-

ность ведения процесса на более высоких режимах (для электродов диаметром 4,0 мм сила сварочного тока составляет 200-300А, для диаметром 5,0 мм – 300-400А). Промышленностью предлагаются электроды марок ОЗР-1, АНР-2, ЭЛЗ-Р-1, ОК 21.03, предназначенные для ручной дуговой резки, строжки, удаления дефектных участков сварных соединений и отливок, выполнения других подобных работ при изготовлении, монтаже и ремонте деталей и конструкций из сталей всех марок, в т.ч. высоколегированных, а также чугуна, цветных металлов и их сплавов. Резка может производиться во всех положениях переменным и постоянным током любой полярности. Производительность резки стали средней толщины составляет порядка 12м/ч.

### **Производительность ручной дуговой сварки**

Главным недостатком ручной дуговой сварки является ее относительно низкая производительность. Так, производительность наплавки, измеряемая массой металла, наплавленной электродом за один час непрерывного горения дуги, для электродов диаметром 5,0 мм в среднем составляет 1,5-2,0 кг/ч (производительность наплавки процесса механизированной сварки в углекислом газе проволокой диаметром 1,2 мм составляет 3,0-4,5 кг/ч, сварки под флюсом проволокой диаметром 4,0 мм – до 14 кг/ч).

Существует несколько методов повышения производительности ручной дуговой сварки покрытиями электродами. Это сварка гребенкой или пучком электродов, когда процесс выполняется одновременно несколькими соединенными между собой электродами; при обгорании одного электрода дуга перебрасывается на другой, находящийся в данный момент ближе к сварочной ванне. Это сварка трехфазной дугой, где применяют два электрода, к которым подводятся две фазы от источника питания; третья фаза подводится к свариваемой детали. Отмеченные методы сварки позволяют повысить производительность процесса на 40-50%, т.е. до 2,5-3,0 кг/ч. Наиболее эффективным методом повышения производительности ручной сварки является применение специализированных электродов, в составе электродного покрытия которых содержится большое количество железного порошка. В этом случае в образовании сварочной ванны и, как следствие, шва принимает участие не только металл электродного стержня, но и металл введенного в покрытие железного порошка. Покрытие с железным порошком становится электропроводным и это позволяет, вследствие возникновения эффекта шунтирования сварочного тока, вести сварку на повышенных на 30-50% режимах. К таким электродам относятся, например, электроды с рутиловым покрытием марки ОЗС-3 типа Э46, предназначенные для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистой

стали, и электроды с основным покрытием марки ОК Femax 38.95, которые могут быть приравнены к электродам типа Э46А, предназначенные для сварки особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей. Сварку электродами ведут в нижнем положении постоянным и переменным током на короткой и предельно короткой длине дуги. Производительность наплавки электродов марки ОЗС-3 диаметром 5,0 мм при сварке на силе сварочного тока 240-320А составляет 3,6-4,8 кг/ч, что сопоставимо со сваркой в углекислом газе. Производительность наплавки электродов марки ОК Femax 38.95 при сварке на токе 330-400А составляет 9-11 кг/ч, что значительно превышает производительность сварки в углекислом газе и практически достигает производительности сварки под флюсом. Отсюда видно, что только правильным выбором электродов можно повысить производительность процесса ручной дуговой сварки в нижнем положении более чем в два раза.

### Подготовка электродов к сварке

При ручной дуговой сварке покрытыми электродами приходится часто сталкиваться с нестабильным горением дуги, повышенным разбрызгиванием расплавленного металла, неудовлетворительным формированием шва, образованием в сварных соединениях пор, холодных трещин и других недопустимых дефектов. Причиной подобных явлений может быть не только плохое качество электродов или низкий профессиональный уровень сварщика, но и невыполнение перед сваркой одной, но очень важной операции – **прокалки электродов(!)**, при которой из электродного покрытия удаляется содержащаяся в нем влага. Эта влага является главным источником попадающих в зону дуги водяных паров и продуктов их диссоциации – водорода и кислорода. Все они активно взаимодействуют с расплавленным металлом, ухудшая ход процесса сварки и способствуя появлению брака в сварных конструкциях. Поэтому практически все электроды, независимо от вида и типа упаковки, в обязательном порядке особенно при сварке ответственных конструкций непосредственно перед сваркой должны проходить операцию полномасштабной повторной прокалки с последующим их грамотным хранением на рабочем месте. Непрокаленный электрод фактически является непригодным к использованию «полуфабрикатом».

Режимы термообработки электродов определяются составом их покрытия, типом, маркой и назначением электродов. Так, например, температура прокалки рутиловых электродов типа Э46 (это электроды марок МР-3, АНО-4, ОЗС-12) составляет 150-180°C, время прокалки 0,5-1 ч; электродов с рутилово-целлюлозным покрытием типа Э46 и Э50 (АНО-36, ЛЭЗМР-3С, Omnia 46, МГМ-50К) – 100-

120°C, время 0,5-1 ч; электродов с основным покрытием типа Э42А и Э50А (УОНИ-13/45, УОНИ-13/55) в общем случае 250-300°C, время 1-1,5 ч. Электроды последних марок, используемых при сварке легированных сталей, склонных к образованию холодных трещин, необходимо прокалывать при температуре 400-420°C в течение 2-2,5 ч с последующим их хранением в закрытой таре не более 2 ч.

К сожалению эта простейшая, но очень важная операция – прокалка электродов в печах перед сваркой – во многих случаях сварщиками игнорируется. Действует принцип – «и так сойдет». И это во время, когда жестко стоит вопрос о повышении качества и конкурентоспособности отечественной продукции (подробная информация о термообработке электродов перед сваркой и условиях хранения прокаленных электродов перед поступлением на рабочее место и непосредственно на рабочем месте изложена в книге С.Н. Жизнякова и З.А. Сидлина «Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология», 2006 г, и 2007 г., а также в журнале «Сварщик в Белоруссии», 2007 г., №1).

Надежит очень аккуратно относиться к режимам прокалки электродов, рекомендуемых во многих книгах, каталогах, информационных листках и т.п. Они далеко не всегда соответствуют требуемым режимам, позволяющим получать качественные сварные соединения, поскольку устанавливаются, как правило, предприятиями-изготовителями электродов без учета особенностей поведения при сварке основного металла. В этом отношении можно показать два характерных примера, касающихся прокалки электродов марки ЦЛ-17, предназначенных для сварки теплоустойчивых сталей, и марки ЦЛ-11, предназначенных для сварки высоколегированных коррозионноустойчивых сталей. Согласно каталогу на электроды АО Спецэлектрод электроды марки ЦЛ-17 следует прокалывать при температуре 190-210 °С; на самом деле температура прокалки электродов должна составлять 380-420 °С, в противном случае в сварных соединениях образуются холодные трещины. По каталогу на сварочные материалы ОАО «Межгосметиз-Мценск» температура прокалки электродов марки ЦЛ-11 составляет 330-350 °С; в действительности она должна находиться в пределах 190-210 °С, иначе ухудшаются сварочно-технологические свойства электродов.

### Механизированная сварка в защитном газе

Наиболее широко, особенно при изготовлении конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, применяется механизированная сварка плавящимся электродом с использованием сварочного материала углекислого газа по ГОСТ 8050-85, подаваемого в зону сварки струей при помощи го-

релки. В качестве электродной проволоки применяется главным образом сварочная проволока марки Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70. Сварка отличается простотой, высокой производительностью, технологичностью, в частности обладает повышенной стойкостью к образованию пор и доступна сварщикам невысокой квалификации (по сравнению с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами). Вместе с тем сварке в углекислом газе присущи заметные недостатки: жесткое горение дуги, сопровождаемое чрезмерным разбрызгиванием расплавленного металла, грубочешуйчатая поверхность сварных швов, невозможность получения однопроходных угловых швов с прямым или вогнутым профилем. Отмеченные недостатки обусловлены крайне неблагоприятным для каплеобразного переноса электродного металла направленностью действующих на каплю сил, особенно силы пинч-эффекта, реактивной силы давления паров металла и силы давления плазменного потока сварочной дуги. Улучшить характер горения дуги и резко уменьшить разбрызгивание представляется возможным путем ведения процесса с принудительными короткими замыканиями разрядного дугового промежутка каплями с одновременным эффективным программным управлением силы сварочного тока и напряжения дуги. В этом отношении показателен разработанный компанией Lincoln Electric способ сварки STT (Surface Tension Transfer), который с применением специализированного инверторного источника питания STT II позволяет практически избавиться от разбрызгивания и одновременно повысить производительность сварки и снизить тепловложение.

Значительное улучшение качества сварки наблюдается при использовании в качестве сварочного материала вместо углекислого газа смеси аргона с углекислым газом и смеси аргона с углекислым газом кислородом. Наибольшее распространение по-

лучила механизированная сварка в смеси аргона, содержащего 18-20% (по объему) углекислого газа. При сварке в смеси подобного состава повышается стабильность горения дуги; в несколько раз снижается разбрызгивание расплавленного металла; улучшается формирование и внешний вид швов, угловые швы имеют прямой профиль, лишенный ухудшающей работоспособность сварных конструкций выпуклости; увеличивается ударная вязкость металла шва особенно при отрицательной температуре; предоставляется возможность сварки в импульсно-дуговом и струйном режимах. Однако при этом необходимо помнить, что сварка в указанной смеси газов отличается существенно меньшей стойкостью против образования пор, вызываемых водородом и азотом, что определяет необходимость повышения к сварочному процессу требований по качеству защитного газа (химсоставу и концентрации водяных паров), выбору сварочных материалов (сварочной проволоки заданного химсостава), подготовке основного металла и проволоки к сварке (обязательное отсутствие на поверхности непосредственно перед сваркой следов ржавчины, масла и других загрязнений), соблюдению режимов и техники сварки.

Порог пористости швов, полученных при сварке в смеси  $Ar+(18-20)\%CO_2$ , в 2-2,5 раза ниже порога пористости швов, полученных при сварке в одном углекислом газе (см. «Сварщик в Белоруссии» 2009 г., №4). Так, если при сварке в углекислом газе с использованием проволоки марки Св-08Г2С поры образуются только при содержании азота в защитном газе более 5%, или водорода более 8%, или массе ржавчины, попадающей в расплавленный металл, более 0,4 г/100мм, то при сварке в смеси с применением той же марки проволоки эти показатели резко падают и соответственно составляют 2%, 3% и 0,2 г/100мм. Повышение склонности к образованию пор обусловлено большей раскислен-

Таблица. Химический состав электродных проволок, рекомендуемых к применению при сварке в углекислом газе и в смеси  $Ar + (18-20)\%CO_2$ .

Марка, тип проволоки	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti и Zr	Al
Св-08Г2С (сварка в $CO_2$ )	0,05-0,11	0,70-0,95	1,80-2,10	≤0,20	≤0,25	—	—	—
Св-08ГС (сварка в смеси)	≤0,10	0,60-0,85	1,40-1,70	≤0,20	≤0,20	—	—	—
G2Si1 (сварка в смеси)	0,06-0,14	0,50-0,80	0,90-1,30	≤0,15	≤0,15	≤0,15	≤0,15	≤0,02
G3Si1 (сварка в смеси сталей повышенной прочности ( $\sigma_B$ более 530 МПа))	0,06-0,14	0,70-1,00	1,30-1,60	≤0,15	≤0,15	≤0,15	≤0,15	≤0,02

ностью металла сварочной ванны в случае сварки в смеси, содержание углекислого газа в которой уменьшено в пять раз. Концентрация кислорода в металле шва при этом снижается в три раза и составляет всего 0,02%.

Ранее (см. «Сварщик в Белоруссии», 2004 г, №6) автором было сформулировано положение о том, что именно снижение окисленности сварочной ванны способствует повышению активности и скорости массопереноса находящегося в ней водорода, что и дает ему возможность эффективно участвовать в развитии зародышей и росте газовых пузырьков. Этому процессу благоприятствует также ослабленное блокирование кислородом поверхности раздела «жидкий металл – газ». Отсюда становится ясным, что для повышения стойкости к образованию пор при сварке в смеси  $Ar+(18-20)\%CO_2$  надлежит в допустимом размере повысить концентрацию кислорода в металле сварочной ванны, что может быть достигнуто применением сварочной проволоки с меньшим содержанием раскислителей, например, проволоки марки Св-08ГС по ГОСТ 2246-70 или проволок с химическим составом G2Si1 и G3Si1 по СТБ EN440-2002 в зависимости от прочностных свойств свариваемой стали (таблица стр. 37).

Необходимо заметить, что оба способа механизированной сварки – в углекислом газе и смеси  $Ar+(18-20)\%CO_2$  имеют одинаковое «право на жизнь», как впрочем и все остальные виды и способы сварки. В общем случае вопрос применения того или иного способа решается в зависимости от конструктивных особенностей свариваемого объекта, марки стали, условий производства сварочных работ, уровня предъявляемых к сварным соединениям требований, а также с учетом технико-экономических показателей технологического процесса сварки.

По мнению автора, при изготовлении большинства толстолистовых металлоконструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нормальных условиях сварку корневых и заполняющих слоев стыковых швов лучше производить с применением одного углекислого газа проволокой марки Св-08Г2С, сварку лицевого слоя стыкового шва – в смеси  $Ar+(18-20)\%CO_2$ , сварку угловых швов – в смеси  $Ar+(18-20)\%CO_2$  проволокой марки Св-08ГС или проволоками типа G2Si1 и G3Si1.

Состав смеси аргона и углекислого газа должен в обязательном порядке контролироваться. При этом следует иметь в виду, что превышение углекислого газа свыше 25% делает процесс сварки, аналогичным сварке в одном углекислом газе, уменьшение ниже 15% – дополнительно серьезно повышает склонность металла шва к пористости. Практика показывает, что при сварке в смеси лучше пользоваться смесителями газов, позволяющих потреби-

телям точно устанавливать и контролировать заданный состав защитного газа и не зависеть в этом отношении от производителей газовых смесей.

## Механизированная сварка порошковой проволокой

На сегодняшний день в мире одним из самых прогрессивных способов сварки считается механизированная, автоматическая и роботизированная сварка порошковой проволокой. Применение порошковой проволоки обеспечивает более высокое качество работ и повышает их производительность в зависимости от схемы сварки в 2-10 раз (по сравнению с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами). Во всем технически развитом мире сварка порошковой проволокой получила самое широкое распространение в судостроении, строительстве, мостостроении и многих других производственных отраслях. Так, в США и Японии использование порошковой проволоки составляет порядка 25% общего потребления сварочных материалов, в Республики Корея – 45%. Активное внедрение и развития данного способа сварки наблюдается в Китае. В Беларуси для сварки она практически не применяется. Главная причина такого «бойкота» кроется в том, что порошковая проволока считается слишком дорогим сварочным материалом. По-видимому, все забыли, – а может быть и не знали – об успешном применении сварки порошковой проволокой на предприятиях Советского Союза, в т.ч. при изготовлении и монтаже строительных конструкций: производственных и гражданских зданий, доменных комплексов, резервуаров, телебашен, ряда специальных объектов. Применение сварки самозащитной порошковой проволокой (проволоки, на требующей дополнительной газовой защиты зоны дуги) позволило поднять уровень механизации сварочных работ на монтаже ряда сооружений до 50-60% (!). При этом себестоимость 1 кг наплавленного металла уменьшалась по сравнению с ручной дуговой сваркой на 10-40%. Сварка самозащитной порошковой проволокой – это настоящая находка для строителей и монтажников. Следует отметить, что порошковая проволока широко представлена на рынке, свой товар предлагают украинские, шведские, китайские, американские и другие производители. Для внедрения сварки порошковой проволоки в Беларуси руководству предприятий нужно понимание ее роли в модернизации сварочного производства и повышении конкурентоспособности сварных конструкций, а в некоторых случаях и осознание необходимости полного изменения технологии производства.