

УДК 621.791.763.1
РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ
СВАРКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. О. КОРОТЕЕВ

Научный руководитель В. П. КУЛИКОВ, д-р техн. наук, проф.
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В настоящее время для производства ответственных конструкций при изготовлении изделий, к которым предъявляются повышенные требования обеспечения необходимых механических свойств, а также гарантированной работы в условиях отрицательных температур эксплуатации, все больше используются стали повышенной прочности с комплексным микролегированием.

Такие стали нашли широкое применение на таких предприятиях республики Беларусь как: ОАО «Сейсмотехника», филиал ОАО «МАЗ» «Завод Могилевтрансмаш», ОАО «Могилевский завод Строммашина» и др. Технико-экономическая эффективность использования таких сталей по сравнению с низкоуглеродистыми конструкционными сталями заключается в снижении металлоёмкости конструкции при одновременном повышении её несущей способности, показателей вибрационной прочности и других параметров в зависимости от назначения и условий эксплуатации. Например, использование высокопрочных микролегированных сталей при производстве стрелы крана позволяет снизить вес металлоконструкции на 40–50 % при сохранении требуемой прочности и эксплуатационных свойств по сравнению с использованием низкоуглеродистых сталей.

Наиболее распространенным способом сварки высокопрочных сталей на большинстве отечественных предприятий является механизированная или автоматическая дуговая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов. Важным вопросом при этом является выбор защитной газовой среды. Использование для этих целей углекислого газа является крайне нежелательным, т. к. в связи с окислительным характером газовой атмосферы, часть элементов комплексного микролегирования неизбежно окисляется и для обеспечения требуемого химического состава шва необходимо повышать их содержание в присадочных материалах, что ведет к увеличению стоимости.

В связи с этим, наиболее благоприятной с точки зрения защитной газовой средой являются смеси аргона с углекислым газом. Они обладают рядом неоспоримых преимуществ и используются для сварки широкого диапазона материалов. Между тем, такие смеси существенно дороже, так как

их основу (около 80 %) составляет дорогостоящий (более чем в три раза дороже по сравнению с углекислым газом) аргон.

В настоящее время для сварки высокопрочных сталей в защитных газах в качестве присадочного материала широко используется металлонаполненная высокопрочная порошковая проволока.

Однако, несмотря на ряд преимуществ, такая технология обладает рядом существенных недостатков, среди которых следует выделить, в первую очередь, высокую стоимость сварочной проволоки, а также повышенное задымление помещений и сварочных постов.

Таким образом, анализ существующих технологий сварки высокопрочных сталей показал, что, несмотря на отсутствие каких-либо сложных технологических приемов, технология сварки таких сталей основана на использовании достаточно дорогостоящих сварочных материалов и защитных газовых смесей. При этом обзор литературных источников показал отсутствие исследований, связанных со снижением затрат на сварочные материалы, при обеспечении высоких эксплуатационных характеристик сварных соединений. В большей степени это связано с тем, что используемые стали зарубежного производства и для предприятий Республики Беларусь являются относительно новыми и малоисследованными. В связи с этим, исследования направленные на снижение стоимости сварочных работ, импортозамещение сварочных материалов, а также повышение уровня эксплуатационных характеристик сварных соединений из высокопрочных низколегированных низкоуглеродистых сталей являются актуальными и вызывают практический интерес.

Защитный газ при сварке выполняет, как правило, две основные функции. Первая из них связана с вытеснением атмосферного воздуха из зоны горения дуги. Это является необходимым, но недостаточным условием получения качественного соединения. Второй функцией является обеспечение стабильности горения дуги и переноса электродного металла через дуговой промежуток.

В основном все технологические особенности процесса сварки, обеспечивающие его производительность и получение качественного сварного соединения, связаны со второй функцией. Поэтому естественным является стремление функционально разделить поток защитного газа на два потока, каждый из которых будет выполнять одну из указанных функций.

Одной из наиболее эффективных схем реализации такой газовой защиты является подача защитного газа в зону сварки через сопло, имеющее центральное отверстие и концентрично расположенное кольцевое отверстие (рис. 1). При этом центральная струя защитного газа будет выполнять “технологическую” функцию, а функция кольцевого потока – защита области горения дуги от взаимодействия с атмосферным воздухом.



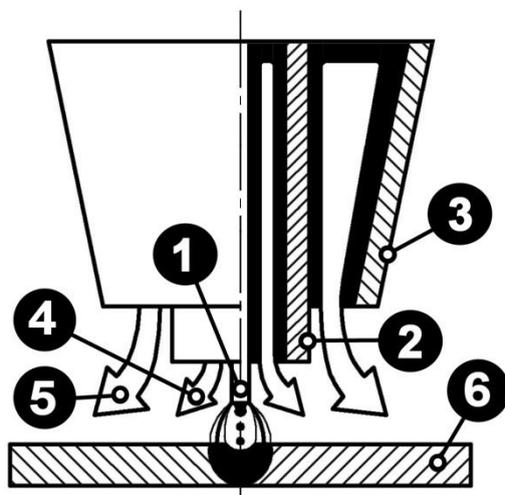


Рис. 1. Схема сварки в условиях комбинированной газовой защиты: 1 – электродная проволока; 2 – центральный газовый канал; 3 – кольцевой газовый канал; 4 – внутренний поток газа; 5 – кольцевой (защитный) поток газа; 6 – свариваемое изделие

Из указанного выше очевидно, что нет необходимости подавать по кольцевому каналу дорогостоящие газовые смеси только с той целью, чтобы вытеснить ими атмосферные газы и защищать центральный поток от попадания в него воздуха. Это можно осуществить и чистым углекислым газом. В то же время, при малых расходах газа подаваемого по центральному каналу, часть кольцевого потока будет с ним смешиваться, образуя газовую смесь переменного (по сечению и расстоянию от среза сопла) состава, что и требуется для создания наиболее благоприятных условий для мелкокапельного переноса электродного металла и стабильного характера горения сварочной дуги.

Предлагается использовать в качестве газа, подаваемого через центральное отверстие в зону горения дуги чистый аргон, а для выполнения защитной функции, то есть обеспечения концентричного кольцевого потока – чистый углекислый газ.

Исследования эффективности применения предлагаемого варианта газовой защиты проводились в два этапа.

На первом этапе оценивались свойства кольцевого потока углекислого газа. При этом важное значение имело определение зависимостей минимального расхода газа, формирующего этот поток, при котором он еще способен выполнять защитные функции, от диаметра кольцевого канала, а также его ширины.

Особенностью экспериментальной модели сопла, позволяющей реализовать кольцевую подачу защитного газа в зону сварки, является наличие газоразделительной втулки обтекателя, непосредственно устанавливающейся на токоподводящий наконечник сварочной горелки. Это, предложенное и запатентованное конструктивное решение, наряду со своей простотой, поз-

воляет оперативно изменять параметры кольцевого потока, не меняя при этом конструктивных элементов горелки, а лишь выбирая втулку-обтекатель соответствующего диаметра. При этом поток является сплошным, в отличие от вариантов предлагаемых в литературных источниках, где кольцевой канал связан с внешним соплом и газ поступает в зону горения дуги через ряд отверстий.

При проведении экспериментальных исследований использовалась методика, основанная на определении количества ферритной фазы в аустенитно-ферритном наплавленном металле. Это значение хорошо коррелируется с содержанием растворенного в наплавленном металле азота. Азот, попадая из атмосферы в зону горения дуги, оказывает сильное влияние на этот параметр, так как является сильным аустенизатором. Т. е., при увеличении содержания азота в наплавленном металле, количество ферритной фазы уменьшается. Таким образом, можно оценить защитные свойства кольцевого потока.

По результатам экспериментов определены минимальные расходы защитного газа, при которых еще сохраняется стабильное значение содержания ферритной фазы для каждого из конструктивных вариантов сопла. Эти результаты представлены в виде тройной зависимости (рис. 2).

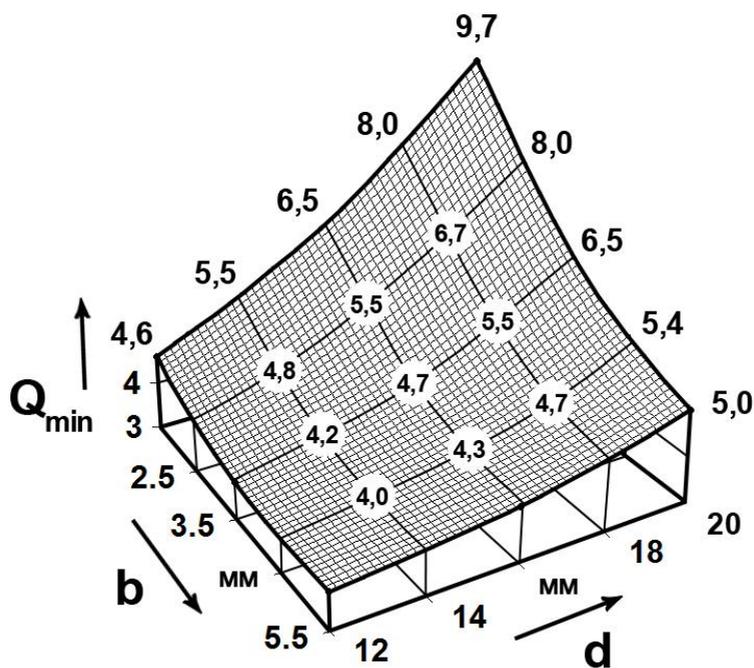


Рис. 2. Минимальный расход защитного газа (Q_{\min}) в зависимости от внутреннего диаметра (d) и ширины (b) газового канала сопла при его кольцевой подаче в зону сварки

Объективность полученных результатов подтверждена серией механических испытаний сварных соединений на излом.



Следующим этапом было исследование влияния расхода аргона, подаваемого по центральному каналу сопла на технологические свойства сварочной дуги. Предлагаемая конструкция сопла в этом случае также снабжена втулкой обтекателем, но имеющей центральное отверстие и дополнительный подвод газа в кольцевой канал в виде трубок. Конструктивная реализация такого подвода газа может быть модернизирована и изменена, однако, важным является ее независимость от основного потока, подаваемого традиционно через сопло горелки, без какой-либо ее модернизации.

При проведении исследований, одним из наиболее важных параметров являлся коэффициент потерь электродного металла при условии стабильного горения сварочной дуги. Используемая методика оценки потерь электродного металла была основана на наплавке валиков на пластины из низкоуглеродистой стали, определении массы пластины до и после наплавки. Расход углекислого газа, подаваемого по кольцевому каналу сварочного сопла, выбирался согласно рекомендациям, полученным по результатам исследования защитных свойств кольцевого потока.

По результатам экспериментов построены графические зависимости (рис. 3).

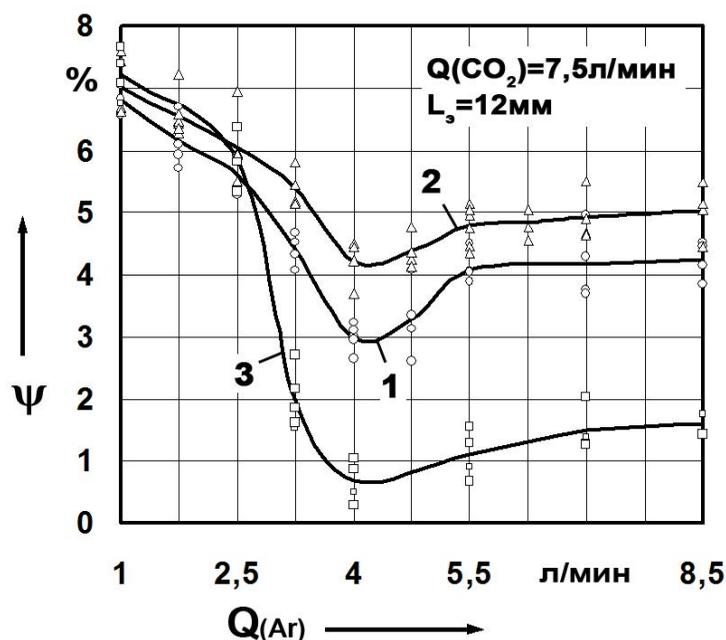


Рис. 3. Коэффициент потерь в зависимости от расхода аргона $Q(\text{Ar})$ подаваемого по центральному каналу сопла: 1 – $I_{\text{св}}=150 \text{ А}$, $U_{\text{д}}=18 \text{ В}$; 2 – $I_{\text{св}}=210 \text{ А}$, $U_{\text{д}}=20 \text{ В}$; 3 – $I_{\text{св}}=260 \text{ А}$, $U_{\text{д}}=28,7 \text{ В}$

Анализ полученных результатов показал, что во всех случаях на графиках наблюдается три ярко выраженных зоны. Первая зона характеризуется большими потерями электродного металла. На этой стадии, при малых

расходах аргона (< 3 л/мин), дуга горит преимущественно в парах металла в смеси с некоторым количеством углекислого газа, попадающего в центральную зону из кольцевого потока, и незначительным количеством аргона. По мере увеличения расхода аргона, его доля в этой “тройной” смеси увеличивается, что сказывается на снижении коэффициента потерь. Вторая зона характеризуется минимальными потерями, связанными с формированием в зоне горения дуги газовой атмосферы с оптимальным соотношением компонентов. Количественно эта зона на всех трех графиках совпадает и характеризуется расходом аргона от 3 до 5,5 л/мин. Дальнейшее увеличение аргона приводит к тому, что процесс начинает приближаться к сварке в чистом аргоне.

Таким образом установлено, что соотношение расходов компонентов комбинированной защиты, характеризующееся минимальным значением коэффициента потерь, составляет: 4,5 л/мин Ar и 7,5 л/мин CO₂. При этом общий расход газов (12 л/мин) будет соответствовать расходу при сварке с традиционной газовой защитой смесью, состоящей из 82%Ar и 18%CO₂, однако, процентную долю более дорогостоящего компонента аргона, в этом случае, удалось снизить до 37 % от общего расхода газов.

Анализ экономической эффективности использования комбинированного способа подачи защитной газовой смеси в зону горения дуги показал, что использование предлагаемой технологии позволяет снизить затраты на защитный газ примерно на 35 % по сравнению со сваркой в готовой газовой смеси 82%Ar+18%CO₂ и на 50 % по сравнению со сваркой в чистом аргоне.

Так как воспроизведение свойств основного металла в сварном соединении является необходимым условием обеспечения равнопрочности, но является весьма сложной задачей при использовании сталей, прошедших предварительную термическую либо термомеханическую обработку, а также имеющих сложную систему легирования, при проектировании конструкций из таких сталей стремятся минимизировать количество сварных швов, либо располагать их в местах непосредственно не воспринимающих рабочую нагрузку. В этом случае меняется подход к выбору сварочных материалов. Обеспечение вместо равнопрочности, повышенной ударной вязкости, а также пластичности металла сварных швов при отрицательных температурах позволит повысить ресурс конструкции, а также способность воспринимать вибрационные знакопеременные ударные нагрузки, которым она зачастую и подвергается в процессе эксплуатации.

Предлагается в рамках разработанной технологии сварки с комбинированной газовой защитой зоны горения дуги использовать вместо порошковой высокопрочной проволоки проволоку отечественного производства Св-08ГС. Ряд исследований на основании многочисленных экспериментальных данных и механических испытаний образцов показал правомерность такой замены.





Результаты механических испытаний сварных соединений показали, что сварные соединения, полученные в условиях комбинированной газовой защиты с применением проволоки типа Св-08ГС обладают повышенной ударной вязкостью по сравнению с соединениями, полученными сваркой с традиционным омывающим потоком защитного газа порошковой проволокой Fluxofil M42, при незначительном снижении предела прочности наплавленного металла (порядка 10 %).

Технология проходит производственную апробацию в рамках изготовления элементов вышки буровой установки для добычи нефти на ОАО «Сейсмотехника» г.Гомель.

Таким образом, за счет существенного снижения стоимости защитной газовой смеси, а также применения проволок отечественного производства в рамках разработанной технологии газовой защиты позволило существенно снизить затраты на выполнение сварочных операций при производстве конструкций из низкоуглеродистых микролегированных высокопрочных сталей, повысив при этом ряд показателей вибрационной прочности, а также эксплуатационных свойств при работе в условиях отрицательных температур эксплуатации.