

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ ДЛЯ РЕМОНТА ОБЪЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

УДК 662.629:629.324

**О.Б. Гецкин**, к.т.н., ООО «НПП «Технотрон» (Чебоксары, Республика Чувашия, РФ)

**А.В. Жеманов**, ООО «Газпром трансгаз Москва» (Москва, РФ)

**А.Ю. Котоломов**, к.ф.-м.н., ООО «Газпром трансгаз Чайковский» (Чайковский, РФ), kotolomovayu@ptg.gazprom.ru

**И.Г. Самородов**, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ)

**В статье представлена технология механизированной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом (МАД) с импульсной подачей подогретой присадочной проволоки сплошного сечения. Описаны особенности сварочного процесса неповоротных кольцевых стыков труб, а также технические возможности сварочного комплекса. Показаны возможности применения комплекса сварочного оборудования для ремонта наплавкой труб и корпусного оборудования компрессорных станций (КС). Проведена сравнительная оценка сварочных напряжений при работе подогретой и «холодной» присадочной проволокой.**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКОЙ, НАЛОЖЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ НА СВАРОЧНУЮ ДУГУ, ФОКУСИРОВКА СВАРОЧНОЙ ДУГИ.

Специфика строительства и эксплуатации объектов магистральных газопроводов (МГ) требует повышения надежности и качества сварных соединений, а также увеличения производительности труда за счет применения механизированных и автоматических способов сварки.

В целях исключения вероятности повреждения герметизирующих уплотнений трубопроводной арматуры, регуляторов давления газа и другого оборудования объектов МГ все более актуальным становится вопрос применения «бесшлаковых» технологий сварки при выполнении корневого слоя шва, снижающих риск загрязнения полости трубопроводов сварочным шлаком, брызгами расплавленного металла. При монтаже запорно-регулирующей арматуры, соединительных деталей трубопроводов технологической обвязки [1], а также в других случаях выполнения разнотолщинных соединений с не-

симметричными свариваемыми кромками необходима технология сварки, позволяющая при одностороннем доступе к стыку обеспечить гарантированный провар с получением обратного валика корневого шва заданной формы, даже если при сборке невозможно обеспечить равномерный зазор между свариваемыми кромками. Особенно остро данный вопрос стоит при выполнении захлестных стыков при проведении планово-профилактических и ремонтно-восстановительных работ в ходе эксплуатации МГ. Мировой опыт показывает, что одной из самых эффективных технологий сварки, отвечающей перечисленным требованиям, является технология механизированной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с присадочной проволокой [2, 3].

Основным преимуществом механизированной подачи сварочной проволоки является увеличение скорости сварки в 5 раз

по сравнению со стандартным выполнением сварного соединения ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом (РАД), при которой присадочная проволока (пруток) подается сварщиком вручную. Еще одним неоспоримым преимуществом по сравнению с традиционным способом сварки РАД является то, что сварщику необходимо следить только за процессом формирования сварного шва, не отвлекаясь на подачу проволоки (прутка) в сварочную ванну. Кроме того, механизация подачи позволяет выполнять подогрев сварочной проволоки по заданным режимам [4, 5], регулировать режим подачи присадочной проволоки по заданным программным способом режимам, что также способствует увеличению производительности и получению высоких механических свойств наплавленного металла (металла шва).

В 2015–2016 гг. по программе НИОКР ПАО «Газпром» На-

учно-производственным предприятием «ТехноТрон» на базе ООО «Газпром трансгаз Чайковский» был разработан отечественный комплекс сварочного оборудования «АРГО» для МАД в монтажных условиях. Результатом данной разработки является согласованный в 2016 г. Департаментом ПАО «Газпром» Стандарт организации (ООО «Газпром трансгаз Чайковский») «Инструкция по механизированной аргодуговой сварке фокусированной дугой с импульсной подачей подогретой присадочной проволоки для ремонта трубопроводов технологических объектов МГ» с областью применения на трубопроводах диаметром от 159 до 1420 мм включительно, с толщинами стенок от 5 до 32 мм включительно, из стали классом прочности свыше K54 до K60 включительно».

Разработанная технология предусматривает реализацию процесса сварки фокусированной дугой (импульсно-дуговой процесс сварки) с импульсной подачей подогретой присадочной проволоки сплошного сечения [6, 7]. Возможности сварочного оборудования «АРГО» позволяют выполнить наложение высокочастотной модуляции на сварочную дугу (фокусировка сварочной дуги) при сварке корневого слоя шва, что гарантирует получение обратного валика при стягивании зазора между свариваемыми элементами до 1,5 мм. При сварке заполняющих слоев шва наложение модуляции способствует улучшению сплавления кромок. Сварка фокусированной дугой улучшает перемешивание расплавленного металла и повышает прочность сварного шва. Подогрев сварочной проволоки при сварке заполняющих и облицовочных слоев (проходов) позволяет увеличить скорость сварки и коэффициент наплавки, что повышает производительность сварки на 30–35 %. Импульсная подача присадочной проволоки при выполнении заполняющих слоев шва (начиная

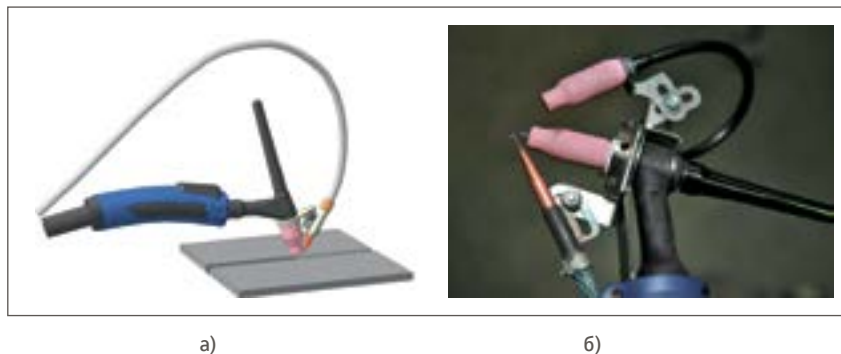


Рис. 1. Внешний вид аргодуговой горелки для механизированной подачи сварочной проволоки сплошного сечения:  
а) внешний вид МАД-горелки; б) МАД-горелка с дополнительным соплом для сварки корневого слоя шва

со второго) улучшает сплавление (смачиваемость) кромок.

Благодаря дополнительному источнику тока напряжение через контактный наконечник подается на проволоку, и за счет сопротивления на свободном конце подающейся проволоки происходит ее нагрев. Увеличение длины вылета подающейся проволоки ведет к повышению производительности наплавки. Процесс подгрева реализован посредством серийного источника, подогрев осуществляется путем приложения отрицательного потенциала к мундштуку подачи проволоки горелки, при этом положительный потенциал подсоединен непосредственно к трубе.

При выполнении сварных соединений аргодуговой сваркой с механизированной подачей сварочной проволоки используется модернизированная сварочная горелка. Ее конструкция позволяет настроить подачу присадочной проволоки с любой стороны от вольфрамового электрода. Кроме того, конструкция горелки предполагает установку дополнительного сопла для подачи аргона в целях защиты обратной стороны валика корневого слоя шва в условиях невозможности или нецелесообразности герметизации и подачи аргона во внутреннюю полость свариваемого трубопровода (рис. 1а, б).

При сварке контрольных сварных соединений (КСС) прово-

дилась оптимизация режимов сварки всех слоев шва. Сварка корневого слоя шва – постоянная подача проволоки без подгрева (Cold) и отключенная фокусировка дуги в разделку шириной 3–5 мм. В месте начала сварки зазор не должен превышать 4,0 мм. Включение модуляции необходимо в случае стягивания зазора свариваемых элементов до величины менее 2,5 мм. При стягивании зазора свариваемых элементов до значения менее 1,5 мм возможно появление несплавлений и образование утяжин. Сварка корневого слоя шва осуществляется в два этапа: на спуск с 12 до 3 ч и на подъем с 6 до 3 ч, соответственно. Первый заполняющий слой шва (горячий проход) – сварка на спуск, постоянная подача подогретой проволоки без модуляции. Заполняющие слои шва – сварка на подъем, постоянная подача подогретой проволоки с фокусировкой дуги (Hot + Mod). Импульсная подача присадочной проволоки при заполнении дает улучшенную смачиваемость кромок, но приводит к образованию брызг в сварочной ванне и, как следствие, к засорению электрода, сопла и сетки горелки при сварке в потолочном положении. Облицовочный слой шва – сварка на подъем, постоянная подача подогретой проволоки без модуляции (рис. 2).

Для выполнения работ в трассовых условиях в дополнение



Рис. 2. Сварка корневого слоя шва одновременно двумя сварщиками по переменному зазору (1,5–5,0 мм)



Рис. 3. Передвижной сварочный комплекс на шасси автомобиля КАМАЗ 43118-46

к вспомогательному оборудованию и приспособлениям для сборки, подогрева, инвентарным укрытиям разработана передвижная ремонтная мастерская, используя которую можно автономно выполнять капитальный ремонт технологических трубопроводов (рис. 3).

Учитывая возможности бесшлаковой технологии сварки МАД, было решено рассмотреть возможность ее применения для выполнения ремонтных наплавки при ремонте труб и корпусного оборудования КС. Основными проблемами при ремонтной наплавке являются: высокая трудоемкость межслойной (межваликовой) зачистки шлаковых карманов, перегрев ремонтируемого металла, высокие напряжения, приводящие к деформациям или растрескиванию по зоне термического влияния или наплавленному металлу.

Для отработки оптимальных режимов наплавки в Инженерно-техническом центре ООО «Газпром трансгаз Чайковский» была проведена исследовательская работа по выполнению на трубах 530 x 16 мм (К60) ремонтных наплавки 150 x 150 x 5 мм проволокой сплошного сечения

марки Böhler SG3-P диаметром 1,0 мм по различным режимам МАД неподогретой и подогретой проволокой в сравнении с традиционной наплавкой ручной дуговой сваркой покрытыми электродами марки LB-52U диаметром 3,2 мм. После наплавки проводилась оценка кольцевых и продольных напряжений с помощью рентгеновского дифрактометра XSTRESS 3000. Термическая, ультразвуковая обработка и проковка наплавки не проводились. Полученные напряжения сравнивались с расчетными допустимыми напряжениями для участка газопровода категории «В» (с рабочим давлением 7,4 МПа).

Сравнения результатов испытаний показали, что минималь-



Рис. 4. Наплавка МАД 150 x 150 x 5 мм проволокой сплошного сечения марки Böhler SG3-P диаметром 1,0 мм

ные значения по напряжениям получены при МАД-наплавке в режиме импульсной подачи подогретой проволоки с фокусировкой дуги. В этом случае сварщик за 12 мин обеспечил в непрерывном режиме наплавку 1 кг металла на ремонтируемом участке без выполнения межслойной зачистки (рис. 4). При этом МАД-наплавка неподогретой проволокой приводит к значительному увеличению кольцевых напряжений даже по сравнению с наплавкой, выполненной ручной дуговой сваркой покрытым электродом (табл.) [8].

В ходе дальнейших исследований были проведены твердометрия и анализ микроструктуры МАД-наплавки с увеличением в 320 раз. При изучении шлифов, содержащих основной и наплавленный металл, дефектов в виде трещин в зоне термического влияния обнаружено не было. Выявленные в наплавленном металле поры были незначительны по количеству и допустимы по размерам.

Структура основного металла – феррит + перлит, мелкозернистая, имеет ярко выраженную полосчатость, обусловленную строчечным расположением перлитных колоний (рис. 5г). Зона термического влияния имеет в своем составе феррит + перлит. На рис. 5б и 5в показано постепенное перераспределение перлита из строчечных колоний в равномерное распределение в ферритную матрицу (равноосная мелкозернистая структура). В околошовной зоне зафиксировано наличие видманштеттового/игльчатого феррита (среднего и ниже среднего балла), характеризующего

Оценка кольцевых и продольных напряжений на трубах 530 x 16 мм при ремонтной наплавке 150 x 150 x 5 мм (выполнена рентгеновским дифрактометром XSTRESS 3000)

Технология наплавки	Кольцевые/продольные напряжения, МПа	Допустимые значения напряжений, МПа
МАД (Cold), Böhler SG3-P диаметром 1,0 мм	561/408	241
МАД (Hot + Mod), Böhler SG3-P диаметром 1,0 мм	374/365	
Ручная дуговая электродами марки LB-52U диаметром 3,2 мм	455/366	

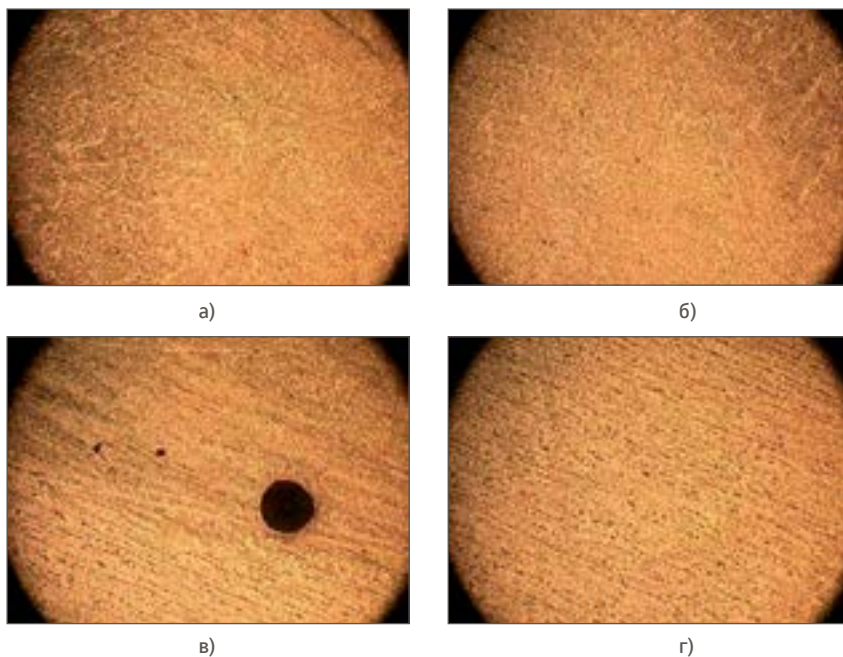


Рис. 5. Микроструктурный анализ наплавки МАД (увеличение в 320 раз): а) основного металла; б) зона термического влияния; в) околошовная зона; г) наплавленный металл

относительный перегрев (рис. 5б). Структура наплавленного металла представляет собой феррит + перлит (столбчатые кристаллы литого металла) (рис. 5а).

В 2016 г. ООО «Газпром трансгаз Москва» внедрило технологию МАД в производство, и в настоящее время область ее применения расширяется. За время применения МАД выполнена сварка труб малого диаметра с DN 20–100 с толщиной стенки от 2,8 до 8,0 мм.

Для выполнения сварки использовались сварочные материалы российского производства: проволока сплошного сечения марки «ПроТЭК 60» диаметром 0,9 мм и вольфрамовый электрод ЭВЛ 3–150. В качестве защитного газа использовался аргон высшего сорта. Сварка выполнялась с постоянной подачей неподогретой проволоки без фокусировки и с фокусировкой дуги (при стягивании зазора соединений с толщиной стенки свыше 5,0 мм).

В ходе работы по расширению области применения технологии МАД для труб малого диаметра был выявлен ряд особенностей. Для обеспечения гарантирован-

ного проплавления и формирования обратного валика шва при подготовке кромок перед сваркой следует выполнять разделку кромок согласно [9] независимо от толщины стенки, при этом размер притупления должен составлять 1,0–1,5 мм. Величина зазора при сборке свариваемых элементов должна находиться в следующих диапазонах:



Рис. 6. Испытания на сплющивание КСС DN 20

- для соединений с толщиной стенки до 3,0 мм включительно – 0–1,5 мм;

- для соединений с толщиной стенки 3,0–8,0 мм – 1,0–2,0 мм.

При сварке труб диаметром 20–57 мм с толщиной стенки до 4,0 мм на постоянном токе (без пульсации дуги) перед выполнением заполняющего (облицовочного) слоя шва в целях недопущения провисания корневого слоя шва или его прожога необходимо контролировать остывание свариваемого соединения до температуры 100 °С, в связи с чем сварку наиболее ответственных соединений целесообразно выполнять пульсирующей дугой с регулировкой времени и тока импульса, а также времени и тока паузы. За счет этого достигается оптимальное соотношение глубины проплавления, скорости плавления основного металла и присадочной проволоки, а также скорости кристаллизации сварочной ванны для любого пространственного положения. При этом наблюдается снижение производительности процесса сварки в импульсном режиме работы источника.

Механические испытания КСС показали высокие пластические свойства металла шва. При полном сплющивании образцов (до



Рис. 7. Испытания на сплющивание КСС DN 80



Рис. 8. Испытания на растяжение трубчатого образца КСС DN 20



Рис. 9. Испытания на растяжение сегментного образца КСС DN 80

соприкосновения стенок образцов) металл сварного шва оставался целостным без образования поперечных и продольных трещин (рис. 6–9).

При испытании на растяжение трубчатых образцов DN 20 из стали Ст08пс с классом прочности К32 усредненное значение временного сопротивления разрыву составило 395 Н/мм<sup>2</sup>.

При сравнении РАД и МАД механизированный способ сварки показал ряд преимуществ при сварке труб малых диаметров:

- для труб малого диаметра – увеличение производительности в среднем на 30–40 %;
- за счет постоянной автоматической подачи присадочной проволоки отсутствует необходимость прерывать процесс сварки для «перехватывания» и смены прутка, при этом сокращается риск появления таких дефектов, как несплавления, непролавы и утяжины при сварке «замков» в корневом слое шва;
- плавная и равномерная подача присадочной проволоки позволя-

ет получить равномерный облицовочный слой шва и обратный валик, а также равную высоту заполняющих слоев шва;

- за счет автоматической подачи снижается вероятность соприкосновения присадочной проволоки и вольфрамового электрода и образования вследствие этого дефектов шва в виде вольфрамовых включений;
- уменьшение количества отходов при сварке за счет сокращения количества «огарков» присадочной проволоки (прутка).

Особо следует отметить возможность выполнения сборки на наружном центраторе стыковых соединений труб, труб с соединительными деталями и трубопроводной арматурой (рис. 10) и обеспечение выполнения сварки корневого и заполняющих слоев шва без образования карманов на кромках свариваемых элементов.

Результатом работ, проведенных НПП «ТехноТрон», ООО «Газпром трансгаз Чайковский» и ООО «Газпром трансгаз Москва», стал согласован-

ный в 2017 г. Департаментом ПАО «Газпром» нормативный документ «Инструкция по механизированной и автоматической односторонней сварке неповоротных кольцевых стыковых соединений труб и узлов трубопроводов». Согласно разделу 8.3.5 данного документа область применения способа сварки МАД включает сварку корневого, заполняющих и облицовочных слоев шва неповоротных кольцевых стыковых соединений труб и узлов трубопроводов диаметром 20–1420 мм включительно с толщиной стенки 2–32 мм, класса прочности до К60 включительно при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте промышленных и магистральных газопроводов ПАО «Газпром». ■



Рис. 10. Сборка трубы DN 80 по технологии МАД на наружном центраторе

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром 2-2.2-649–2012. Технологии сварки трубопроводов технологической обвязки объектов и оборудования промышленных и магистральных газопроводов.
2. Котоломов А.Ю., Гецкин О.Б. Внедрение комплекса ДС315АУ.33 «АРГО» с механизированной подачей присадочной проволоки для аргонодуговой сварки магистральных газопроводов // Мат-лы VII отраслевого совещания «Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО «Газпром». М.: ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2015.
3. Котоломов А.Ю., Гецкин О.Б. Разработка технологии механизированной аргонодуговой сварки трубопроводов технологической обвязки оборудования магистральных газопроводов // Мат-лы II Международной науч.-практ. конф. «Современные технологии сварки, оборудование и материалы для строительства и ремонта магистральных и промышленных трубопроводов». СПб., 17–20 мая 2016 г.
4. Страхова Е.А., Ерофеев В.А., Судник В.А. Моделирование плазменно-дуговой наплавки с подогревом присадочной проволоки // Изв. Тульского гос. ун-та. Технические науки. 2008. Вып. № 2. С. 218–225.
5. Авторское свидетельство 366114 СССР. Способ дополнительного подогрева присадочной проволоки / А.М. Макара, В.А. Саржевский. МКИ В 23 К 9/10. (СССР) № 1282473/27–11. 1972. Бюл. № 14.
6. Патент RU 1590253. Источник питания дуги с программируемой низкочастотной модуляцией высокочастотного сварочного тока / Н.Г. Синельников, А.И. Ванин, А.Б. Орлов и др. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/159/1590253.html> (дата обращения: 17.05.2017).
7. Патент РФ RU 2268809. Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с импульсной модуляцией тока / А.Ф. Князьков, С.А. Князьков, В.Л. Князьков [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/226/2268809.html> (дата обращения: 11.07.2017).
8. СНиП 2.05.06–85\*. Магистральные трубопроводы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/data1/1/1989/> (дата обращения: 17.05.2017).
9. СТО Газпром 2-2.2-136–2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4683\\_snip\\_115322.html](http://snipov.net/c_4683_snip_115322.html) (дата обращения: 17.05.2017).