

СТАТЬИ

УДК 621.791

СВАРКА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕ- И ГАЗОПРОВОДОВ**Горшкова О.О.***ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал, Сургут,
e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

В статье рассмотрены классы нефте- и нефтепродуктопроводов, представлена классификация труб для магистральных нефтепроводов, описан процесс сварки магистрального трубопровода для транспортировки нефти и нефтепродуктов в суровых климатических условиях стандартными способами сварки, выявлены достоинства и недостатки данных способов. Рассмотрены современные способы сварки нефте- и газопроводов, изучены возможности применения технологии гибридной лазерно-дуговой сварки нефтепроводов из конструкционных легированных сталей, определены ее преимущества, определены факторы, сдерживающие широкое применение данной технологии. Рассмотрена технология гибридной лазерно-дуговой сварки швов толстостенных трубных заготовок, с одновременным использованием двух лазерных лучей со стороны наружной поверхности стыка кромок трубной заготовки. Выделены особенности, способствующие повышению качества сварного соединения при выполнении сварки с использованием двух лазерных лучей, также определены недостатки данного вида сварки. Представлена автоматизированная комбинированная технология сварки корневого слоя шва посредством перехода со способа с механизированной сварки плавящимся электродом в среде активных газов в стандартную заводскую разделку кромок труб на автоматическую сварку проволокой сплошного сечения в защитном газе в специальную заууженную разделку кромок труб, собранных со «слепым» зазором, способствующая повышению механических свойств сварных швов, улучшению качества сварного соединения, что подтверждено внедрением данной технологии при сварке трубопроводов.

Ключевые слова: сварка нефте- и газопроводов, дуговая сварка, гибридная лазерно-дуговая сварка, корневой шов, стыки труб

WELDING OF MAIN OIL AND GAS PIPELINES**Gorshkova O.O.***Industrial University of Tyumen, branch, Surgut, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

The article considers the classes of oil and oil product pipelines, presents the classification of pipes for main oil pipelines, describes the process of welding the main pipeline for transporting oil and oil products in harsh climatic conditions using standard welding methods, and identifies the advantages and disadvantages of these methods. Modern methods of welding oil and gas pipelines are considered, the possibilities of using the technology of hybrid laser-arc welding of oil pipelines made of structural alloy steels are studied, its advantages are determined, and the factors that hinder the widespread use of this technology are determined. The technology of hybrid laser-arc welding of seams of thick-walled pipe billets with simultaneous use of two laser beams from the outer surface of the joint of the edges of the pipe billet is considered. The features that contribute to improving the quality of the welded joint when performing welding using two laser beams are highlighted, and the disadvantages of this type of welding are also identified. The paper presents an automated combined technology for welding the root layer of the seam by switching from the method of mechanized welding with a melting electrode in an active gas medium to the standard factory cutting of pipe edges to automatic welding with a solid section wire in a protective gas to a special narrowed cutting of pipe edges assembled with a «blind» gap, which contributes to improving the mechanical properties of welds, improving the quality of the welded joint, which is confirmed by the introduction of this technology in pipeline welding.

Keywords: welding of oil and gas pipelines, arc welding, hybrid laser arc welding, root seam, pipe joints

В настоящее время одним из лидеров мирового нефтяного рынка является Россия. По всей территории страны расположены малые, средние, крупные месторождения, поэтому актуален вопрос транспортировки нефтепродуктов. Для перекачки нефти и различных нефтепродуктов трубопроводный вид транспортировки является наиболее выгодным. Многие трубопроводы России были проложены в сложных природно-климатических условиях. Можно выделить ряд преимуществ трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов: низкие операционные издержки; низкая

себестоимость перекачки; допустимость перекачки сразу нескольких сортов нефтепродуктов; малые потери нефтепродуктов при перекачке; бесперебойные поставки, вне зависимости от климатических условий и т.д. Более 90% нефти, добываемой в стране, проходит по трубопроводам. Добывающие скважины соединены с нефтепромышленной инфраструктурой нефтепроводами [1]. Процесс строительства нефте/газопроводов характеризуется большими капитальными вложениями, снижению которых способствуют применение инновационных технологий, новых технических

решений, привлечение высококвалифицированных кадров.

Методы исследования: теоретические (изучение, анализ и синтез литературы по рассматриваемой проблеме; анализ предмета исследования; обобщение результатов исследования); эмпирические (изучение нормативных документов, анализ документации, анализ результатов механических испытаний; экспериментальные (механические испытания сварных соединений).

Результаты исследования и их обсуждение

Трубопроводы классифицируют на нефтепроводы для перекачки нефти и нефтепродуктопроводы, а также для перекачки дизельного топлива, бензина, мазута и т.д. Способы сварки нефтепроводов: термические виды сварки (дуговую, под слоем флюса, плазменную, газовую, лазерную и другие), термомеханические (контактная сварка с магнитоуправляемой дугой), специальные способы. Во всех пространственных положениях сваривают трубы посредством дуговой сварки. При ручной сварке скорость движения электрода по диаметру стыка достигает 20 м/ч, в автоматизированном режиме – 60 м/ч [1]. Монтаж секций, состоящих из двух и более труб больших диаметров, производят посредством механизированной сварки. Наибольшее применение нашли автоматическая сварка под флюсом, сварка порошковой проволокой. При соединении труб малого диаметра применяют автоматическую сварку с магнитоуправляемой дугой, называемую дугоконтактной. Действие магнитного поля вдоль кромок стыкуемых труб вызывает высокоскоростное вращение дуги, способствующее нагреванию соединяемых кромок. Сварка ведется в автоматическом режиме по заданному алгоритму с непрерывным оплавлением кромок трубы [2].

До проведения монтажных работ трубы и комплектующие элементы проверяются на соответствие параметров с данными технических условий, все соединяющие изделия должны подходить по форме к концам труб. Для изготовления магистральных нефтепроводов с завода трубы поставляют с разделанными кромками для выполнения дуговой сварки. Перед сборкой трубы очищают от внешних загрязнений, кромки труб и примыкающие к ним части (более чем на 1 см) зачищают до металлического блеска.

При сборке труб следят за перпендикулярностью трубопроводных осей со стыками, допустимое отклонение не более 2 мм, контролируют равномерность зазора

по всему периметру соединения. При помощи специальных центраторов производят сборку труб, при этом между диаметрами свариваемых труб допускается зазор не больше 1 см.

Предварительный подогрев применяют для регулирования термического цикла сварки, избежания образования холодных трещин (особенно для низколегированных сталей с эквивалентом углерода 0,43% и выше). Подогрев производят специальными устройствами, равномерно нагревая кромки на ширину около 7,5 см влево и вправо от шва по всей длине [3]. Сварку трубопроводов производят встык. Процесс сварки ведется в направлении снизу вверх с поперечными колебательными движениями электродов, амплитуда колебаний определяется расстоянием, которое разделяет стык частей труб.

Добиться более глубокого провара корня шва, повысить плотность сварного шва позволяет ручная дуговая сварка, производимая в 2–4 слоя. Первый накладываемый слой, обеспечивающий провар корня стыка, имеет вогнутую поверхность. Последующие слои накладываются на предыдущие, перекрывая их, сплавляясь с кромками стыка. Последним выполняют облицовочный слой, он обеспечивает плавный переход к основному металлу, имеет мелкочешуйчатую поверхность, выполняет декоративную функцию. Поточно-расчлененный способ сварки труб предполагает, что каждый сварщик обрабатывает отдельный участок шва. Если в работе задействованы два сварщика, то сварка производится снизу вверх, от начала в противоположных направлениях вдоль периметра.

Процесс сварки сопровождается образованием усиления шва, называемым гратом, который препятствует изоляции снаружи и проходимости внутри трубопровода. После сварки грат удаляют при помощи гратоснимателя [4]. При ручной дуговой сварке замедление темпов строительства магистрали обусловлено невысокой скоростью процесса. Время сооружения трубопроводов сокращается за счет использования не отдельных труб, а секций, сваренных автоматической сваркой под флюсом или сваркой встык оплавлением в заводских условиях. В современных условиях при строительстве магистральных нефтепроводов текущий участок делится на 10–20 отрезков, бригады начинают работу на расстоянии 1 км друг от друга, что способствует достижению скорости укладки 5–6 км в день. Качество сварных швов предварительно проверяется визуально-измерительными методами, после чего используют радиационный или

ультразвуковой контроль. Завершающим этапом укладки участков нефтепровода является его испытание на герметичность.

При сооружении магистральных нефтепроводов для избежания разрушения под действием ударной волны, устанавливается система сглаживания волн давления (СВД), которая защищает трубопровод и обеспечивает минимизацию сброса рабочей жидкости.

Для защиты от почвенной и атмосферной коррозии трубопровода используются следующие методы: пассивные – изоляционные покрытия на основе битумных мастик, эпоксидного праймера, полимерных липких лент и др.; активные – электрохимическая защита катодной поляризацией трубопроводов. В настоящее время используют изолирующие монолитные муфты [4].

Для повышения эффективности процесса строительства нефтепроводов уделяется большое внимание исследованиям новых технологий сварки труб. При этом акцент делается на сокращение количества проходов в процессе сварки, следовательно, увеличение скорости сварки. Перспективным направлением в развитии сварочных технологий является лазерная сварка. Широкое внедрение данного способа сдерживается высокими требованиями к качеству подготовки свариваемых кромок. Гибридная лазерно-дуговая сварка позволяет снизить данные требования [3]. Гибридная лазерно-дуговая сварка предусматривает одновременное действие сварочной дуги и лазерного излучения с целью формирования сварочной ванны. Процесс может осуществляться неплавящимся или плавящимся электродом. Подогрев металла и расплавление его верхнего слоя осуществляется посредством электрической дуги, что способствует созданию широкого шва, заполняющего зазоры; лазерный луч осуществляет глубокое проплавление металла. Данный способ сварки позволяет применять в северных условиях для сварки нефтепроводов конструкционные легированные стали, имеющие высокие механические свойства. Первоначально эксперимент по сварке кольцевых швов трубопровода проводился компанией «Gullco». Оптоволоконный лазер использовался как источник лазерного излучения. Лазер мощностью 4,5 кВт использовался при высоте притупления до 6 мм, а при большей высоте притупления – лазер SLV Mecklenburg – Vorpommern мощностью 10 кВт [5].

В процессе проведения эксперимента определены распределения твердости в шве, наибольшая твердость зафиксиро-

вана в корне шва, что позволило проводить заварку корневого шва без перекрывающего прохода. В процессе испытаний сваренных трубных соединений их располагали и фиксировали в различных положениях, что позволило определить значения допусков, характерных при строительстве трубопроводов. Для контроля качества сварных швов применяли ультразвуковой контроль, результаты которого подтверждают перспективность применения гибридной технологии при сварке нефтепроводов в суровых климатических условиях. Для сварки нефтепроводов посредством гибридной лазерно-дуговой технологии неповоротных применяют мобильные технологические комплексы, базирующиеся на модернизированный сварочный трактор комплексы включают: лазерно-дуговой модуль (волоконный лазер с лазерной головкой), систему наведения на шов, механизм подачи электродной проволоки, инвертор – в качестве дугового источника.

Экономическая эффективность при внедрении данной технологии обусловлена: повышением производительности, автоматизацией процесса, повышением качества сварного шва, уменьшением затрат на производство. Следует отметить, что внедрение технологии лазерной сварки сдерживается высокими требованиями к подготовке свариваемых кромок. Гибридная лазерно-дуговая сварка позволяет снижению требований к подготовке свариваемых кромок, что в настоящее время сдерживает внедрение технологии лазерной сварки при сварке нефтепроводов.

Лазерно-дуговая сварки не лишена недостатков, а именно: возрастание поперечных размеров сварного шва способствует перегреву основного металла; увеличение давления дуги на сварочную ванну, что обусловлено увеличением величины погонной энергии, для обеспечения проплавления способностью гибридного теплового источника, в сравнении с лазерной сваркой. В процессе сварки возникают характерные дефекты, такие как подрезы с одной или двух сторон верхнего валика, внутренние поры, провисание швов. Устранение данных недостатков возможно при одновременной модуляции дуги плавящегося электрода и лазерного излучения. Дополнительно происходит сужение сварного шва (0,87 – коэффициент формы шва), а также измельчение дендритной структуры шва [4].

Гибридную лазерно-дуговую сварку возможно использовать для выполнения продольного шва толстостенных трубных заготовок как с максимально допустимым зазором, так и с зазором превышающим

допустимое значение, при этом обеспечивается повышение качества сварного шва. При этом для сварки шва толстостенных трубных заготовок используют размещение одновременно двух лазерных лучей со стороны наружной поверхности стыка кромок трубной заготовки. Лазерные лучи направляют в расфокусированном состоянии на противоположные по отношению к ним кромки стыка трубной заготовки. Это становится возможным, когда области распространения лучей не пересекаются и расположены на максимально близком расстоянии, которое выбирается исходя из условий возможности осуществления процесса сварки. Лазерные лучи перекрещиваются в зоне участков с наименьшим диаметром каждого луча, в результате происходит суммирование энергии лазерного излучения. Одинаковый угол установки лазерных лучей относительно вертикали способствует оплавлению кромок трубной заготовки и формированию сварного шва.

В зону сварки подают присадочную проволоку, расплавляемую в защитной среде электрической дугой, с образованием единой сварочной ванны. В качестве защитной среды сварочной ванны используют газ или смесь газов, например аргон и двуокись углерода. Электрическую дугу располагают позади лучей для заполнения разделки кромок трубной заготовки. Оси лучей располагают в одной плоскости, перпендикулярной направлению сварки, и под равными углами от вертикальной оси с пересечением их в области фокуса. Фокус располагают выше поверхности обрабатываемой заготовки, а области расфокусировки – с обеспечением попадания луча на соответствующую противоположную кромку стыка. Сварка шва выполняется за один проход, что способствует снижению энерго- и трудозатрат [4].

Наиболее распространенные технологии сварки газопроводов, а именно автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах, комбинированная технология, предусматривающая сварку корневого шва механизированной сваркой плавящимся электродом в среде активных газов с последующим заполнением разделки порошковой проволокой автоматической сваркой в среде защитных газов, не всегда способны учитывать особенности строительства газопроводов из стали высокого класса прочности, большой проектной мощности, с использованием труб большого диаметра, из металла большой толщины (более 25 мм). Следует учитывать и стоимость комплекса оборудования для данных способов сварки.

Технология выполнения неповоротных стыков труб автоматической сваркой проволокой сплошного сечения в защитном газе в специальную заууженную разделку кромок труб, собранных со «слепым» зазором [6], способствует получению качественных сварных соединений при использовании не столь дорогостоящего оборудования. Данная технология способствует: уменьшению времени сборки стыка; уменьшению времени на сварку; уменьшению количества заполняющих слоев, сведение к минимуму применения валиковой сварки, способствует повышению качества.

Преимущества технологии: автоматизация процесса; умеренная стоимость оборудования (по сравнению с полностью автоматическими комплексами); легкость обучения (переобучения) сварщиков-операторов; снижение времени сборки и сварки стыка; за счет уменьшения площади сечения разделки происходит уменьшение объема наплавленного металла; экономия сварочных материалов; высокие механические свойства сварных соединений [6]. Сварка корневого слоя шва производится в среде активных газов, дальнейшее заполнение разделки шва осуществляется порошковой проволокой посредством автоматической сварки в защитных газах. Это способствует тому, что нормативное смещение кромок не более 3 мм, совершенствуется геометрия свариваемых кромок труб, уменьшается ширина облицовочного слоя шва, производится полное проплавление свариваемых кромок, при этом высота обратного валика составляет 0–3 мм. Корневой слой формируется высотой 4–5 мм, шириной 3–6 мм.

Механические испытания сварных соединений позволяют сделать вывод, что данная технология способствует получению высоких механических свойств сварных соединений, а именно повышению ударной вязкости (таблица) [6].

Разработчики определяют экономическую выгоду на 100 км примерно в 26 млн: расход проволоки уменьшается на 56 тонн – 21 млн руб., расход защитных газов сокращается на 2600 баллонов – 5 млн руб. [6]. По результатам квалификационных испытаний данная технология внесена в нормативную документацию ОАО «Газпром» по сварке трубопроводов [7].

Заключение

Сварка магистральных трубопроводов – это высокотехнологичный процесс, требующий высокой квалификации сварщиков и соблюдения технических требований, обеспечивающих получение качественных сварных соединений.

Результаты сравнительных испытаний механических свойств сварных соединений, выполненных на стыках труб Ø1420 мм x 25,8 мм из стали класса прочности К60

Вид испытаний	Механизированная сварка плавящимся электродом в среде активных газов корневого слоя шва с последующим заполнением разделки автоматической сваркой порошковой проволокой в защитных газах		Комбинированная технология сварки корневого слоя шва в автоматическом режиме проволокой сплошного сечения в углекислом газе и сварки заполняющих и облицовочного слоев шва порошковой проволокой в защитных газах	
На статическое растяжение, МПа	651		642	
Твердость, [HV ₁₀]	Верхние слои сварного соединения			
	min	max	min	max
Основной металл/ Металл шва	230 / 221	241/236	214/211	229/22
ЗТВ	217	229	200	268
Нижние слои сварного соединения				
Основной металл / металл шва	235/223	249/228	202/195	212/202
ЗТВ	205	222	200	218
На ударный изгиб, KCV [Дж/см ²]	-20°C	-40°C	-20°C	-40°C
Надрез по шву, верхние слои сварного соединения	102	66	156	104
Надрез по шву, нижние слои сварного соединения	72	51	131	111

Разработка и применение новых технологий сварки, применяемых при сооружении нефте- и газопроводов, обусловлены необходимостью уменьшения капиталовложений и текущих расходов, сокращения продолжительности цикла сварки и повышения качества продукции. Рассмотренные технологии позволяют обеспечить сварку нефте- и газопроводов, производить сварку в северных условиях с использованием металлов больших толщин, при этом обеспечивается высокое качество сварного шва с требуемыми механическими свойствами, с минимальными сварочными деформациями.

Список литературы

1. Горшкова О.О. Сварка металлоконструкций. Стерлитамак: АМИ, 2017. 103 с.

2. Сварка магистральных трубопроводов [Электронный ресурс]. URL: <http://stalevarim.ru/pub/svarka-magistralnyh-truboprovodov/> (дата обращения: 14.02.2020).

3. Магистральные трубопроводы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.baltstroy металл.ru/faq/283-magistral> (дата обращения: 14.02.2020).

4. Кайтель С. Технологии гибридной лазерно-дуговой сварки кольцевых швов на магистральных трубопроводах // Автоматическая сварка. 2014. № 4. С. 37–43.

5. Федоров М.А., Котлов А.О., Черняев А.А., Романцов А.И. Способ гибридной лазерно-дуговой сварки продольного шва трубы // Патент РФ № 2637035. Патентообладатель ПАО «Челябинский трубопрокатный завод». 2017.

6. Татаринев Е.А. Новая комбинированная технология автоматической сварки неповоротных стыков труб магистрального газопровода // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 11. Ч. 17. С. 74–84.

7. Технологическая инструкция ОАО «Газпром» по автоматической сварке проволокой сплошного сечения в углекислом газе методом STT корневого слоя шва и порошковой проволокой в защитных газах заполняющих и облицовочного слоев шва сварочными головками М-300С в специальную зауженную разделку кромок неповоротных кольцевых стыковых соединений. ОАО «Газпром», 2012. 26 с.