

УДК 621.79

## ОРБИТАЛЬНАЯ СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ

Горшкова О.О.

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал в г. Сургуте,  
Сургут, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

В статье выделены особенности сварки в условиях отрицательных температур; обоснована актуальность в разработке подходов к использованию новых сварочных технологий в суровых климатических условиях. Выделены критерии эффективности орбитальной сварки трубопроводов, определено, что орбитальная сварка при строительстве трубопроводов является высокопроизводительным способом сварки, который способствует увеличению производительности процесса, снижению влияния человеческого фактора, получению сварных соединений высокого качества с гарантированными механическими свойствами и геометрическими параметрами. Определены различные виды предлагаемого оборудования для орбитальной сварки, выделены достоинства и недостатки каждого вида. Рассмотрены особенности технологии орбитальной сварки трубопроводов, определены и обоснованы способы подготовки кромок под сварку. Рассмотрено оборудование для орбитальной сварки трубопроводов, проведен сравнительный анализ ряда современных устройств для орбитальной сварки. Определены достоинства и недостатки орбитальной сварки, обосновано внедрение технологии орбитальной сварки для сварки трубопроводов в нефтегазовых компаниях. Обосновано, что орбитальная сварка обеспечивает высокое качество сварных соединений, возможность избежания образования дефектов в сварном шве, надежные физико-механические характеристики металла шва; позволяет получить экономии расходных сварочных материалов, энергетических ресурсов; способствует решению проблемы подготовки высококвалифицированных сварщиков.

**Ключевые слова:** орбитальная сварка, сварочная головка, защитный газ, аргон, вольфрамовый электрод, кольцевой шов

## ORBITAL WELDING OF PIPELINES

Gorshkova O.O.

*Industrial University of Tyumen», Surgut branch, Surgut, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

The article highlights the features of welding in conditions of negative temperatures; the relevance in the development of approaches to the use of new welding technologies in harsh climatic conditions is justified. Criteria of efficiency orbital welding of pipelines, it is determined that the orbital welding in pipeline construction is a highly efficient welding method, which helps to increase process performance, reduce the influence of the human factor, to obtain welds of high quality with guaranteed mechanical properties and geometric parameters. Various types of the offered equipment for orbital welding are defined, advantages and disadvantages of each type are highlighted. The features of the technology of orbital welding of pipelines are considered, methods of preparing edges for welding are determined and justified. The equipment for orbital welding of pipelines is considered, a comparative analysis of a number of modern devices for orbital welding is carried out. The advantages and disadvantages of orbital welding were determined, and the introduction of orbital welding technology for pipeline welding in oil and gas companies was justified. It is proved that orbital welding provides high quality of welded joints, the possibility of avoiding the formation of defects in the weld; reliable physical and mechanical characteristics of the weld metal, allows you to save consumable welding materials, energy resources, helps to solve the problem of training highly qualified welders.

**Keywords:** orbital welding, welding head, protective gas, argon, tungsten electrode, annular seam

Развитие промышленных проектов в Арктике, Восточной Сибири, на территориях, приравненных к районам крайнего Севера, обусловлено наличием больших запасов природных ресурсов. По оценкам специалистов, в арктических районах расположены большие запасы «неиспользованных природных ресурсов, а именно около 13 % запасов нефти, приблизительно 30 % запасов природного газа» [1]. Посредством магистральных трубопроводов транспортируется около 95 % добываемой нефти, данный способ является наиболее надежным и имеет наименьшую себестоимость [2]. Одной из основных технологий при сооружении трубопроводов является сварка. В Сибири при строительстве

трубопроводов как правило, пересекаются болота, что возможно только в зимних условиях.

Особенностями сварки в условиях отрицательных температур являются: изменение условий горения сварочной дуги; увеличение скорости остывания сварочной ванны; замедление диффузионных процессов (диффузия водорода уменьшается в десятки раз), в результате снижается в пределах 40 % сопротивляемость к образованию холодных трещин [3]. Данные процессы оказывают негативное влияние на прочность сварного соединения, способствуют образованию закалочных структур; приводят к повышению критической температуры хрупкости материала.

Цель исследования: обеспечение надежности объектов трубопроводного транспорта, появление новых высокопрочных сталей способствуют разработке новых подходов к использованию сварочных технологий в суровых климатических условиях. Основными критериями эффективности новых способов сварки являются качество сварных соединений и производительность процесса. Сжатые сроки строительства трубопроводов, особенности монтажных работ обуславливают необходимость применения способов сварки с высокой производительностью, при этом с обеспечением высокого качества сварных соединений.

#### **Материалы и методы исследования**

Орбитальная сварка при строительстве трубопроводов является высокопроизводительным способом сварки, который способствует увеличению производительности процесса, снижению влияния человеческого фактора, получению сварных соединений высокого качества с гарантированными механическими свойствами и геометрическими параметрами. Это актуально при условии того, что для трубопроводов предусматривается гарантированный ресурс не менее 30 лет. Орбитальную сварку применяют при монтаже трубопроводов в ограниченных условиях, когда на месте проведения сварочных работ нет свободного места для размещения громоздкого оборудования [4]. Также орбитальная сварка может быть использована в тех случаях, когда разбрызгивание расплавленного металла недопустимо; при отсутствии возможности поворота свариваемых деталей; невозможности визуального контроля качества сварки, в связи с ограниченностью доступа. Применение программных систем управления и телеметрии в процессе орбитальной сварки позволяет производить процесс сварки практически бездефектно, при этом оператор-сварщик в зоне работ не присутствует.

Методы: 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, сравнение данных).

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Орбитальная сварка (Orbital Welding) представляет собой способ автоматической дуговой сварки в защитном газе металлическим электродом (проволокой) (Gas Metal

Automatic Welding – GMAW) или неплавящимся электродом в среде инертного газа (Gas Tungsten Automatic Welding – GTAW).

Орбитальной сваркой производят соединение неповоротных стыков труб, при этом оборудование вращается вокруг стыка изделия. Основу способа составляет дуговая сварка в инертных газах неплавящимся электродом. В качестве инертных газов используются смеси: аргон с водородом или гелием, либо применяют чистый аргон (чистотой 99,95%), применяется в обычных промышленных условиях. Аргон является универсальным газом, он позволяет производить сварку большинства типов металлов и сплавов (алюминий, медь, сплавы цветных металлов). Смеси аргона и гелия применяются для соединения деталей из чистого титана и его сплавов. Дуплексные и супердуплексные стали соединяют в среде смеси аргона, гелия и азота. Для стальных труб применяют смеси аргона. Для сварки труб из нержавеющей сталей используют аргон ультравысокой частоты (до 99,9998%) [5].

В процессе орбитальной сварки наибольшее применение нашли неплавящиеся вольфрамовые электроды, параллельно с которыми в зону сварки подается холодная проволока. Подбор компонентов инертного газа позволяет увеличить скорость процесса сварки, повысить глубину провара, минимизировать количество брызг на поверхности свариваемого металла.

Универсальное устройство для орбитальной сварки включает аргонодуговое оборудование и оборудование для автоматического перемещения головки. Орбитальная головка обеспечивает вращение горелки (электрода). Источник тока производит питание сварочной дуги и питает механизм перемещения головки. Наибольшее применение нашли инверторные источники тока, которые осуществляют контроль величины силы тока; скорости подачи проволоки, частоты, с которой вращается головка; расход газа. Инвертор с учетом диаметра соединяемых труб, материала, из которого изготовлены трубы, состава газа обеспечивает программирование режима сварки, установку профиля шва. В некоторых системах для предотвращения перегрева применяют жидкостное охлаждение.

Выделяют два типа головок для орбитальной сварки трубопроводов: открытого и закрытого типов. Закрытая головка применяется в герметичных камерах для защиты свариваемых деталей, предварительно наполняемых инертным газом. Головками закрытого типа сваривают трубы диаметром

до 170 мм, толщиной до 4 мм. Открытые головки применяют для многопроходной сварки труб из металла большой толщины, имеющих большой диаметр. В процессе сварки применяют дополнительный сварочный материал. В процессе выполнения многопроходных швов горелка позволяет производить сварку под разными углами. При сварке открытой головкой оператор имеет возможность контролировать длину сварочной дуги. В современных устройствах орбитальных головок предусмотрено компьютерное управление, что способствует минимизации ручного труда. Орбитальная головка имеет возможность поворота на угол до 360°.

Анализ различных видов сварочных головок для орбитальной сварки показывает, что ряд исследователей занимается вопросами разработки и усовершенствования оборудования для данного вида работ. В качестве основы рассматриваются устройства для кольцевой лазерной сварки, применяющиеся при строительстве трубопроводов [6, 7]. Но предлагаемый в данных работах газовый лазер не обеспечивает желаемую скорость сварки вследствие недостаточной мощности. Конструкторами [8] предлагаются устройства с применением зонда, который вводится внутрь трубы при выполнении лазерной кольцевой сварки. Защитный газ направляется посредством зонда к его внешней поверхности, что способствует формированию сфокусированного лазерного пучка.

Для орбитальной сварки трубопроводов предлагается устройство [9], позволяющее формировать шов, имеющий один слой, при этом достигается высокая скорость сварки, высокое качество сварного соединения. Устройство предназначено для мобильного и автономного использования при сварке труб магистральных трубопроводов, прокладываемых на земле горизонтально и при негоризонтальной ориентации труб при прокладке в море. Используется высокоомощный волоконный лазер, располагаемый на транспортном средстве. Устройство позволяет соединять трубы за один проход, что исключает необходимость привлечения нескольких сварщиков, нескольких наборов оборудования при прокладке трубопроводов в полевых условиях. Следует отметить, что для нескольких сварочных головок возможно применение одного высокоомощного волоконного лазера [9].

Процесс орбитальной сварки требует соблюдения определенных параметров: допустимое отклонение зазора между заготовками до 5% от толщины трубы; отклонение толщины стенки трубы в зоне

сварки до 5%. Данные условия требуют применения приспособлений (зажимов, стенов) для установки труб в зоне сварки. Перед сваркой необходимо проведение подготовительных работ. В процессе подготовки поверхностей для орбитальной сварки необходимо выполнение ряда условий: очистка поверхностей концов труб от загрязнений и заусенцев; перпендикулярность поверхности стыка относительно оси трубы; соблюдение точности зазора между стыками при сборке.

Разделку кромок производят автоматическими станками-труборезами, что обеспечивает соответствие высоким требованиям технологии. При подготовке кромок под сварку выполняют U- или V-образную разделку кромок. При V-образной разделке кромок вероятность образования появления непровара корня шва уменьшается, что обусловлено возможным блужданием дуги. При толщине металла стенки трубы более 3 мм применяется U-образная разделка кромок [10]. В процессе орбитальной сварки снижение объема наплавленного металла осуществляется за счет разделки по узкому зазору (узкощелевой разделки), при этом угол стыка принимается от 2 до 60°. Сварка швов с узкощелевой разделкой может производиться от стенки до стенки, то есть каждый слой проваривается за один проход. При строительстве магистральных трубопроводов сварка в узкощелевую разделку имеет ограниченное применение. Характерными трудностями, связанными с применением орбитальной сварки по узкому зазору, являются: блуждание дуги в разделке; узость разделки уменьшает возможность доступа в зону сварки; при сварке магистральных трубопроводов их металла большой толщины затруднен контроль качества корневых и первых заполняющих слоев посредством визуального контроля; обязательность учета влияния на структуру шва и зону термического влияния сварки; необходимость компенсации уменьшения угла раскрытия кромок, вследствие сварочных деформаций; возможность образования горячих и холодных трещин в процессе сварки и др. [11]. Применение торцевальных и отрезных станков с целью обеспечения необходимого зазора под сварку позволяет исключить возникновение неперпендикулярности торца трубы. При подобном способе подготовки неперпендикулярность не превышает 0,1 мм относительно оси трубы.

В процессе орбитальной сварки вдоль неподвижного шва по орбите (оборот 360°) перемещается сварочная головка по специально выставленным направляющим, весь

процесс сварки автоматизирован. Процессор посредством специальной программы контролирует протекание процесса орбитальной сварки. В автоматическом режиме дуга проворачивается по всей окружности шва, за счет чего осуществляется равномерный провар со всех сторон. Способ орбитальной сварки позволяет производить процесс сварки неподвижных заготовок в труднодоступных местах, при этом обеспечивается герметичность качественных сварных швов. Сварочная головка жестко фиксируется на определенной высоте над трубой, что обеспечивает постоянство выбранной длины дуги.

Трубу разбивают на секторы, для каждого сектора оператор устанавливает индивидуальные параметры сварки, при этом учитывается давление собственного веса заготовки в нижней части, что обеспечивает отсутствие провисания металла внутрь трубы. Внутри каждого сектора обеспечиваются постоянные параметры режима сварки. В процессе сварки выделяются горизонтальные, вертикальные участки и участки, находящиеся под определенным углом. Корень шва может выполняться на следующих режимах: непрерывном, шагоимпульсном, импульсном.

Для сварки трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей, как правило, применяют непрерывный и импульсный режимы, что обусловлено их высокой производительностью. При соединении трубопроводов малого диаметра с толщиной стенок до 3 мм посредством орбитальной сварки за один проход, разделку кромок не производят, процесс сварки ведут без присадочного материала. Применяют головки открытого или закрытого типа. Данный способ применим для низколегированных и сталей с высокой степенью раскисленности, для углеродистых сталей этот способ не используется. Это обусловлено наличием остаточного кислорода в основном металле, что вызывает кипение сварочной ванны [12]. Применение присадочной проволоки, содержащей раскисляющие компоненты (марганец, кремний), использование флюс-паст позволяет применять данный способ для углеродистых сталей. Наибольшее применение нашло использование присадочной проволоки, так как в монтажных условиях возможно неравномерное нанесение флюс-пасты, что может привести к нарушению стабильности геометрических параметров шва.

Орбитальные головки открытого типа применяются при сварке трубопроводов с толщиной стенок более 3 мм. Процесс сварки ведется с применением присадоч-

ного материала, металл подготавливают, осуществляя разделку кромок. В процессе сварки выполняются колебания горелки в поперечном направлении. Если толщина металла стенки трубы от 3 до 5 мм, то проваривают корень шва и облицовочный шов, то есть процесс сварки ведут в два слоя. Три и более слоя выполняют при толщине стенки более 5 мм, при этом сваривают корень шва, заполняющие слои и облицовочный слой.

Автоматическая орбитальная сварка характеризуется точным подбором параметров, при этом режим сварки программируется, так как швы могут выполняться в разных пространственных положениях и располагаться в различных секторах трубы и может возникнуть большая разница геометрических параметров.

Процесс сварки осуществляется следующим образом: оператор настраивает орбитальную систему; закрепляет головку вдоль линии сварного шва; запускает процесс сварки. Орбитальная система самостоятельно выходит на заданный режим и осуществляет сварку труб по секторам. Оператор наблюдает за процессом сварки и качеством сварного шва, контролирует параметры режима и [13]. По окончании цикла сварки сварочный аппарат выключается самостоятельно, после чего оператор может оценить качество выполненных работ.

Достоинства орбитальной сварки: возможность сваривания практически всех видов металлов; высокое качество получаемых сварных соединений; выполнение швов в любых пространственных положениях; контроль всех параметров сварки (создание автоматических отчетов о процессе); возможность сварочного процесса как с использованием присадочного материала, так и без него; разбрызгивание металла сварочной ванны минимально благодаря регулированию дуги; на шве исключено образование окалины; автоматический контроль параметров режима сварки; отсутствие образования дыма и шлака.

Следует выделить ряд недостатков данного способа сварки: высокая себестоимость процесса за счет высокой цены и сложности оборудования; возможность соединения труб с однородными параметрами: одинаковая толщина металла по всей длине соединяемых элементов (для получения равномерного шва). Небольшое сравнение ручной дуговой сварки и орбитальной сварки по ряду параметров позволяет выявить положительные моменты от использования рассматриваемого способа сварки (таблица).

## Сравнение ряда параметров видов сварки

Параметры трубы: диаметр 400 мм, толщина стенки 20 мм	Ручная дуговая сварка	Орбитальная сварка
Время сварки	190 мин	1,5 мин
Расход энергоресурсов	Стандартный	Снижение на 30%
Требования к сварщику	Квалифицированный сварщик	Оператор-сварщик (не требуется высокая квалификация)
Расход сварочных материалов	Стандартный расход	Уменьшение в 10 раз
Риск появления дефектов	Возможность дефектов	До 1%

## Заклучение

Таким образом, при использовании орбитальной сварки обеспечивается высокое качество сварных соединений, надежные физико-механические характеристики сварного шва, можно получить экономию расходных сварочных материалов, энергоресурсов. Также решается проблема подготовки высококвалифицированных сварщиков. Орбитальная сварка трубопроводов является высокотехнологичным процессом, позволяющим соединять практически любые металлы. Автоматизация процесса способствует получению качественного сварного соединения, снижению влияния «человеческого фактора» на качество швов, повышению производительности процесса сварки.

## Список литературы

1. Голунов Н.Н., Субботин Р.А. Инновационные технологии сварочного производства для работы в Арктике // *Neftegaz.RU*. 2020. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://neftgaz.ru/articles/neftservis/526801-innovatsionnyetechnologii-varochnogo-proizvodstva-dlya-raboty-v-arktike> (дата обращения: 16.01.2021).
2. Оськин И.Э. Пути решения проблем внедрения автоматической орбитальной сварки магистральных трубопроводов по узкому зазору // *Известия высших учебных заведений*. 2013. № 5. С. 68–74.
3. Ларионов В.П. Электродуговая сварка конструкций в северном исполнении. Новосибирск: Наука, 1986. 256 с.
4. Горшкова О.О. Сварка металлоконструкций. Стерлитамак: АМИ, 2017. 103 с.
5. Специфика процесса орбитальной // Портал о металлообработке. [Электронный ресурс]. URL: <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/orbitalnaya-svarka.html> (дата обращения: 16.01.2021).
6. Jones Richard [US] External laser welder for pipeline. United States Patent US 5796068A. [Electronic resource]. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/023249673/publication/US5796068A?q=pn%3DUS5796068A> (date of access: 16.01.2021).
7. Richard L. Jones; Brian S. Laing. both of Houston, Tex. Arc and laser welding process for pipeline. United States Patent US 5,796,069 45. [Electronic resource]. URL: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchPatent.do?cn=USP19980857960> (date of access: 16.01.2021).
8. Kroehnert Gerhard [DE] Device and process for laser-welding a pipe. [Electronic resource]. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/025903580/publication/WO9203249A1?q=pn%3DWO9203249A1> (date of access: 16.01.2021).
9. Фиц Э.-В. (DE), Фоллертзен Ф. (DE), Кон Х. (DE), Клаус Т. (DE) Орбитальное сварочное устройство для строительства трубопроводов // Патент RU № 2355539. Патенто-обладатель ФИЦ ГМБХ. 2015. Бюл. № 34.
10. Третьяков Е.С., Коберник Н.В. Технологии автоматической орбитальной сварки трубопроводов малого диаметра из углеродистых и низколегированных сталей // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2013. № 6. С. 31–37.
11. Полосков С.И. Технологические основы автоматической орбитальной сварки трубопроводов атомных станций: дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2006. 452 с.
12. Шипилов А.В. Особенности автоматической орбитальной сварки неплавящимся электродом трубопроводов обвязки компрессорных станций // *Сварка и диагностика*. 2010. № 5. С. 42–47.
13. Орбитальная сварка. Текст: электронный // Электрод. [Электронный ресурс]. URL: <https://electrod.biz/vidy/izuchaem-tehnologiyu-orbitalnoy-svarki.html> (дата обращения: 16.01.2021).