

ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

Производственный комплекс «Салют»

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель

производственного

комплекса «Салют» АО «ОДК»



А.Н. Громов

2024г.

Конкурсная работа

в номинации «за создание новой технологии»

в конкурсе «Авиастроитель года» по итогам 2023 года
«Разработка технологии орбитальной сварки трубопровод сложной
конфигурации с прямыми стыковыми участками минимального размера»

г. Москва, 2024

Разделы конкурсной работы

1. Термины и определения

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

автоматическая сварка: Дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача сварочной проволоки и относительное перемещение дуги и свариваемых соединений осуществляется автоматически, а установка, корректировка параметров режимов сварки осуществляется оператором.

орбитальная сварка: Специализированный способ сварки, при котором дуга механически поворачивается на 360° (180 градусов в двойной сварке) вокруг статической заготовки, представляющей собой такой предмет как труба или др.

газ инертный: Защитный газ, не вступающий в химическое взаимодействие с жидким металлом в зоне сварки (например, аргон).

горячий проход: Слой шва, выполняемый незамедлительно после сварки и зачистки корневого слоя шва, при сварке которого температура металла корневого слоя шва не должна опускаться ниже регламентированного значения.

зазор: Кратчайшее расстояние между кромками собранных для сварки деталей.

корневой слой шва: Часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности.

металл шва: Сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

направление сварки: Направление движения сварочной дуги вдоль продольной оси сварного соединений.

притупление кромки: Нескошенная часть торца кромки, подлежащей сварке.

разделка кромок: Придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы.

сварка неповоротных соединений: Сварка по замкнутому контуру во всех пространственных положениях, при которой свариваемые элементы неподвижны.

сварка «на подъем»: Дуговая сварка, при которой сварочная ванна перемещается снизу вверх.

сварное соединение: Неразъемное соединение, выполненное сваркой.

сварной шов: Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла.

соединительная деталь трубопровода (СДТ): Изделие (тройник, ниппель, проходник), ввариваемое в трубопровод и предназначенное:

- тройник – для ответвления основного трубопровода;
- ниппель – для герметизации с другим трубопроводом;
- проходник – для изменения направления трубопровода.

технические условия (ТУ): Документ, разработанный по решению разработчика (изготовителя) или по требованию (потребителя), регламентирующий полный комплекс требований к продукции (трубы, соединительные детали, запорная и регулирующая арматура, сварочные материалы, сварочное оборудование), её изготовлению, контролю и приемке.

2. Введение

В промышленном масштабе применяются трубы различных диаметров. Для их соединения существует множество способов. Самый распространенный метод для металлических изделий – сварка. Учитывая диаметры изделий, у каждой категории есть свои особенности. Например, трубы малого диаметра имеют свои сложности в ключе соединения при помощи сварки, требующие привлечения опытного сварщика.

При сварке труб малого диаметра сварка делается за один проход, поэтому металл все время нагревается, что может привести к пережогу и изменяются силы, действующую на сварочную ванну. Необходим подбор определенных параметров сварки, чтобы не превысить значения температуры и критической массы сварочной ванны в процессе сварки.

Одним из наиболее актуальных инструментов для выполнения данных работ является автоматическая сварка. Обычные виды сварки хорошо обрабатывают лишь потолочный шов. В то же время, остальные участки соединения получаются неравномерными и плохо обрабатываемыми.

Автоматическая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов на сегодняшний день получила наиболее широкое применение для сварки трубопроводов малого диаметра благодаря универсальности и удовлетворительной производительности процесса. Использование данного способа сварки является ключевым направлением для ускорения внедрения принципиально новых и нестандартных, прорывных идей в изготовлении авиационных двигателей, например орбитальная сварка трубопровода сложной конфигурации с прямыми стыковыми участками минимального размера. Не менее важным на этом пути является реализация этих идей в промышленном производстве.

3. Цель работы

Орбитальная сварка зарекомендовала себя как наиболее эффективная технология для получения сварных соединений высокого качества в трубопроводах сложной конфигурации.

Отличительные особенности орбитальной сварки данных трубопроводов:

- при визуально-измерительном контроле показателем качественного проплава служит равномерное формирование обратного валика сварного шва;
- простота конструкции и обслуживания сварочной головки и аппаратура управления;
- размеры сварочной головки позволяют применять автоматизированную сварку в стесненном рабочем пространстве;
- сварочная головка закрытого типа обеспечивает возможность непрерывной сварки нескольких проходов (оборотов).

Несмотря на её эффективность присутствует ряд недостатков, таких как:

- низкая скорость сварки корневого шва, заполняющего и облицовочного швов;
- трудоемкость сборки стыков трубопроводов перед сваркой;
- большой расход сварочных материалов при сварке;
- межслойная зачистка сварного шва от шлака.

Целью данной работы стала разработка технологии орбитальной сварки стыков трубопровода сложной конфигурации с большим количеством прямых участков минимального размера.

Основными критериями эффективности орбитальной сварки являются качество сварных соединений и производительность процесса. Сжатые сроки изготовления сложных трубопроводов, особенности монтажных работ обуславливают необходимость применения способов сварки с высокой производительностью, при этом с обеспечением высокого качества сварных соединений.

4. Актуальность работы

Орбитальная сварка зарекомендовала себя как наиболее эффективная технология для получения сварных соединений высокого качества в трубопроводах сложной конфигурации.

Автоматический способ сварки способствует увеличению производительности процесса, снижению влияния человеческого фактора, получению сварных соединений высокого качества в рассматриваемой статье малого диаметра (6, 8, 10, 12, 16) с гарантированными механическими свойствами и геометрическими параметрами.

5. Краткое описание работы

На рис. 1 изображены полукольца трубопровода сложной конфигурации с прямыми стыковыми участками минимального размера изделия РД-33.

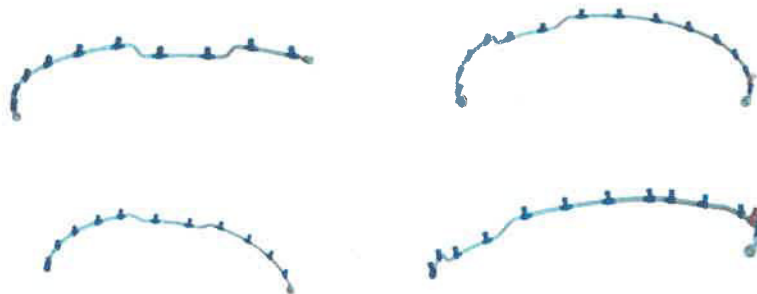


Рисунок 1 – Объемные модели трубопровода сложной конфигурации с прямыми участками минимального размера

Трубопровод сложной конфигурации с прямыми участками минимального размера представляет собой кольцевой узел внешнего и внутреннего каскадов по два полукольца в каждом (рис. 2). В каждом из полуколец присутствует 25 штук тройников и 50 сварных швов.

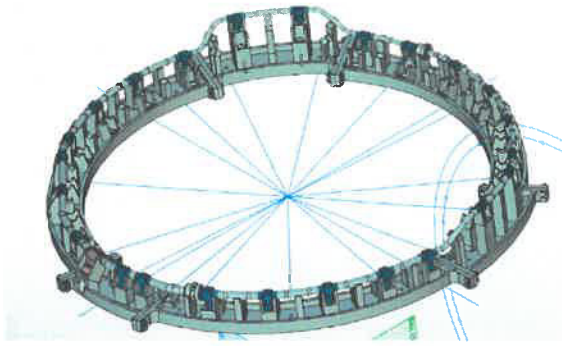


Рисунок 2 – Трубопровод сложной конфигурации с прямыми участками минимального размера на контрольном стапеле в сборе

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 инертного газа используется аргон высокой частоты. Вспомогательным материалом сварки используются неплавящиеся вольфрамовые электроды.

В процессе соединения вдоль неподвижного стыка по орбите (оборот 360 градусов) вольфрамовый электрод в закрытой сварочной головке, Процесс соединения автоматизирован посредством использования специальной сварочной горелки закрытого типа, в которой по орбите (оборот 360 градусов) вращается вольфрамовый электрод и специальной программы, которая позволяет программировать автоматический процесс сварки стыка труб. В автоматической режиме дуга проворачивается по всей окружности стыка, за счет чего осуществляется равномерный провар со всех сторон.

Универсальное устройство (рис. 3) для орбитальной сварки включает аргонодуговое оборудование и оборудование для автоматического перемещения головки. Орбитальные головки закрытого типа обеспечивают вращение электрода. Источник тока производит питание сварочной дуги и питает механизм перемещения головки. Также данный источник осуществляют контроль величины силы тока; 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.



Рисунок 3 – Портативная интеллектуальная сварочная станция (ИСС) P3
UHP

Так как процесс орбитальной сварки является точным методом получения неразъемных соединений на трубчатых изделиях, то соблюдение вышеперечисленных параметров имеют особое значение для качества сварных швов.

При анализе влияния основных параметров сварки была определена закономерность изменения режимов сварки на сварной шов, а также влияние сопутствующих технологических и конструктивных параметров на качество сварных соединений. Корректировка влияющих факторов и параметров при автоматизированной сварке в дальнейшем привела к оптимальным значениям геометрии сварного шва.

В целях обеспечения нужной вводимой погонной энергии и уменьшения величины занижения сварного шва были изменены такие параметры как: значение тока и времени сварки и паузы в импульсном режиме, скорость сварки, угол заточки электрода, расстояние от электрода до стыка, а также количество секторов сварки.

За счет многочисленных и гибких настроек в программе управления сварочным циклом на каждом секторе сварки изменение вводимой погонной энергии и мнемосхемы (рисунок 4) обеспечивает правильное формирование сварочной ванны и минимизирует структурные превращения, снижающие механические свойства сварного шва.



Рисунок 4 – Мнемосхема сварочного цикла

Определение оптимального угла заточки (рисунок 5) позволило повысить стойкость электрода, а обеспечение стабильного угла заточки увеличило стабильность режимов сварки.

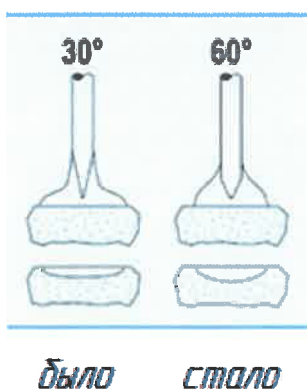


Рисунок 5 – Различная форма в зависимости от угла наклона

Увеличение времени продувки до и после сварки обеспечило более качественную газовую защиту сварного шва, то есть позволило получить сварной шов с нулевым оттенком по внутреннему диаметру зоны сварки.

Уменьшение расстояния от электрода до свариваемого стыка позволило добиться сквозного проплавления на меньших токах при большей скорости сварки, что соответственно снизило зону термического влияния и уменьшило величину занижения сварного шва.

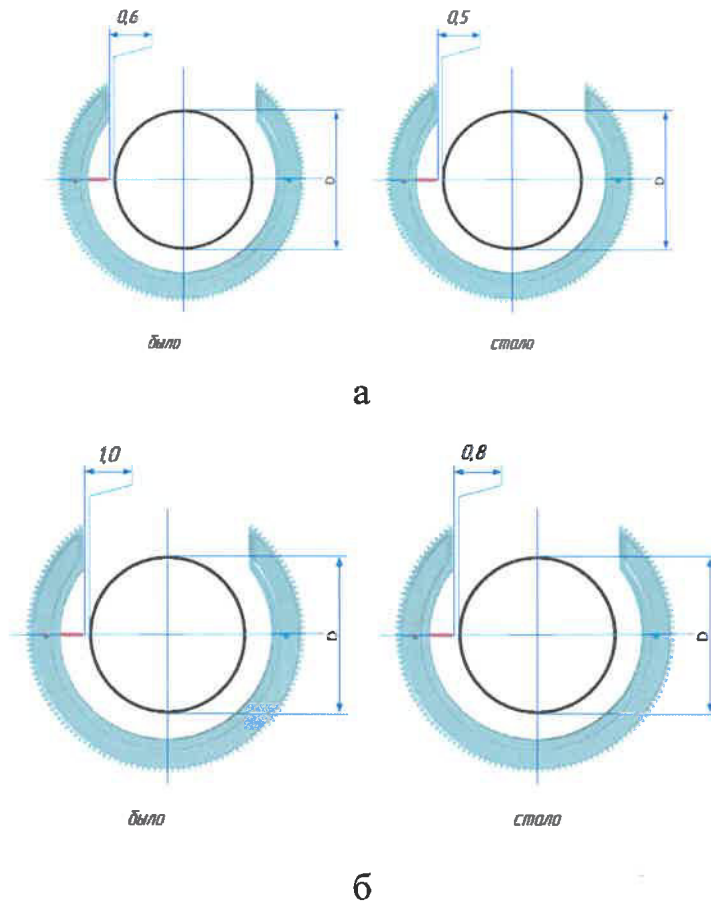


Рисунок 6 – Расстояние «деталь-электрод» в сварочной голове серии UHP 500-3 (а) и MW65-3 (б)

6. Результаты и практическая значимость работы

Основными выводами, достигнутыми при отработке технологии орбитальной сварки, являются:

а) для предотвращения образования кратера в конце сварного шва были подобраны значения угла и времени вращения гашения импульсной дуги, то есть отработана сварка с плавным снижением сварочного тока;

б) для правильного управления сварочной ванны во время цикла сварки было отработано программирование режимов по секторам, в каждом из которых введены индивидуальные параметры сварки;

в) для предупреждения стекания жидкого металла сварку стыковых соединений необходимо начинать «на подъем».

По отработанной технологии были сварены трубчатые образцы всех типоразмеров (рис. 7).

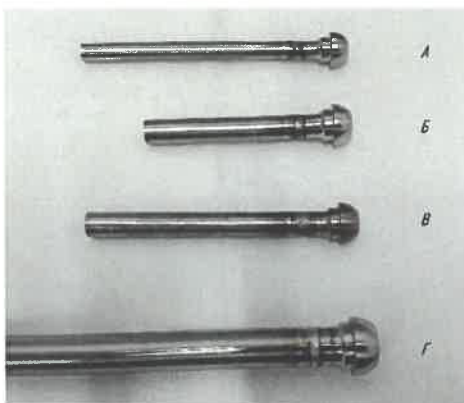


Рисунок 7 – Трубчатые образцы после орбитальной сварки

а – $\varnothing 6 \times 1$, б – $\varnothing 8 \times 1$, в – $\varnothing 8 \times 2$; г – $\varnothing 12 \times 1$

Все сварные образцы прошли рентгенографический контроль. По результатам данного контроля все образцы имеют провар на всю толщину стыковых соединений с образованием проплава с внутренней стороны и соответствуют требованиям технологической инструкции. Демонстрация рентгеноконтроля сварных швов проиллюстрировано на рис. 8.



Рисунок 8 – Рентгеноконтроль сварных швов

Для изучения структуры металла после сварки образцов были проведены металлографические исследования макро- и микроструктуры. Результаты исследований показали, что в структуре сварных швов дефектов типа пор, трещин, непроваров, несплавлений и подрезов не обнаружено и соответствует технологической инструкции.

Для подтверждения предела выносливости сварные образцы подверглись усталостным испытаниям.

Результаты проведенных испытаний показывают, что при применении орбитальной сварки показатели прочности сварных соединений выросли с значения 14 кгс/мм² до 20 кгс/мм², чем при использовании ручной дуговой сварки, что подтверждает высокое качество сварных швов.

7. Заключение

В результате проделанной работы была разработана технология автоматизированной орбитальной сварки топливного коллектора. Важным моментом в разработанной технологии являются подбор оптимальных параметров режима сварки на автоматической установке орбитальной сварки и проектирование специальной оснастки под сборку коллектора.

При переходе от производства по типовой технологии к автоматизированной технологии достигаются следующие преимущества и достоинства:

- повышение производительности по сравнению с технологией ручной сварки на 20%;
- обеспечение повторяемости качества сварки;
- достижение увеличения прочности сварных соединений на 70%;
- осуществление управления параметрами сварки в режиме реального времени.