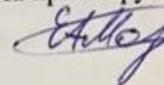


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи



Марченко Елена Алексеевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ
КОРНЕВОГО ВАЛИКА ПРИ АРГОДУГОВОЙ СВАРКЕ
ТРУБОПРОВОДА ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Направление подготовки
15.04.01 – «Машиностроение»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2022

Коротченко
Лариса Никитовна

Проверено

27.06.2022 Зачтено Библиотека

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольском-на-Амуре государственном университете» на кафедре «Технология сварочного и металлургического производства»

Научный руководитель: Бахматов Павел Вячеславович
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Технология
сварочного и металлургического
производства»

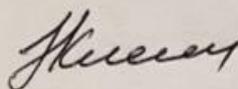
Рецензент: Жилин Сергей Геннадьевич,
кандидат технических наук, доцент,
и.о. заведующего лабораторией
химических и фазовых превращений
в материалах, ведущий научный
сотрудник, ИМиМ ДВО РАН, г.
Комсомольск-на-Амуре

Защита состоится «23» июля 2022 г. в 10:00 часов на заседании государственной аттестационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: Россия, 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, 27, учебный корпус 2, аудитория 221.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте www.knastu.ru и на кафедре «Технология сварочного и металлургического производства» ФГБОУ ВО «КНАГУ».

Автореферат разослан «20» июня 2022г.

Секретарь ГЭК
к.т.н.



О.Н. Клешнина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы: В авиационном машиностроении широко применяются сборные металлоконструкции, к которым предъявляются повышенные требования по прочности и надежности. При этом наряду с механическими соединениями все чаще используются сварные, позволяющие значительно снизить массу конструкций вследствие отсутствия в них деталей крепления. Нержавеющие стали, обладают высокими механическими свойствами, жаропрочностью, стойкостью против атмосферной, жидкостной и газовой коррозии, что обусловлено химическим составом сталей, способом их производства и обработки. Несмотря на преимущество аргонодуговой сварки, одним из часто фиксируемых дефектов является дефекты корня сварного шва. На данный момент, далеко не все предприятия используют защитные средства при сварке трубопроводов из нержавеющей стали, что в свою очередь может привести к окислению сварного шва и способствовать образованию пор и микротрещин, а также может привести к ухудшению антикоррозионных свойств, что в свою очередь может привести к довольно скорому выходу из строя рабочей детали. Исправлению дефектных швов трудозатратный процесс, потому что теряется не только время, но и деньги предприятия. Исходя из этого, эффективность защиты корневого валика при сварке трубопровода из нержавеющей стали является актуальной, ибо универсального решения, которое будет удобным, экономичным и эффективным нет

Проблемы аргонодуговой сварки неплавящимся электродом трубопроводных систем из нержавеющей сталей:

1. Трубопроводные системы летательных аппаратов должны отвечать требованиям герметичности, прочности, коррозионной стойкости, изготавливаются из титановых, алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей, имеют сложную геометрическую конфигурацию.

2. Аргонодуговая сварка нержавеющей сталей требует надежной газовой защиты, как с лицевой, так и с обратной стороны формирующегося шва по причине окисления легирующих элементов основного металла (никель, хром, титан), что препятствует нормальному формированию валика и требует дополнительных технологических операций по устранению дефектов, вызванных этим явлением.

3. Автоматизация процедуры сварки ТПС ЛА сдерживается функциональными возможностями сварочного оборудования, ограниченной номенклатурой диаметров труб и нестабильностью тепловых процессов, требующих постоянной корректировки параметров режима, усложняющаяся, при сварке неповоротных стыков, изменением пространственного положения источника нагрева.

4. Достижение требований качества согласно ПИ 1.4.748 и условий чертежа при выполнении ручной АрДЭС ТПС ЛА зависит от множества факторов: квалификации сварщика, выбранной техники сварки, его психоэмоционального состояния. Так в условиях КНААЗа при сварке элементов ТПС ЛА из нержавеющей стали по результатам РГК дорабатывается до 40% впервые предъявленных сварных соединений (причем в ряде случаев неоднократно): разделка дефекта, подварка, рентгенографический контроль. Значительная дефектность процесса сварки трубопроводов приводит к неритмичности производства трубопроводов, что в свою очередь удлиняет циклы сборки самолётов. В сварных соединениях, предъявляемых на рентгенографический контроль, обнаруживаются недопустимые дефекты: поперечные трещины, несплавления и цепочки пор. Данные дефекты возникают даже в случае комиссионной проверки качества подготовки поверхности под сварку (проведение операции травления, шабрения торцов труб,

механической зачистки кромок, обезжиривания ацетоном), процесса сварки, производимого с использованием современного сварочного оборудования фирмы Kemppi производства Финляндии и сварочных материалов, подготовленных в соответствии с технологической документацией.

Цель диссертационной работы:

Повышение качества сварных соединений тонкостенного трубопровода из нержавеющей стали путем использования разработанных устройств газовой защиты корневого валика при аргонодуговой сварке.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Провести анализ современных методов и средств газовой защиты сварных соединений трубопровода из нержавеющей стали.
2. Разработать устройства для защиты корневого валика трубопровода из нержавеющей стали
3. Исследовать функциональные возможности разработанных защитных средств для обеспечения качества сварных соединений трубопроводных систем из нержавеющей сталей;

Апробация работы:

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на V-ой Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука» секция «Машиностроение и металлургия» (г. Комсомольск-на-Амуре, КНАГУ, 11-15 апреля 2021г.) и международной научно-практической конференции «наука, инновации и технологии: от идей к внедрению», Комсомольск-на-Амуре, 2022.

Положения, выносимые на защиту:

- факторы возникновения дефектов при сварке нержавеющей сталей;
- влияние вида и функциональных возможностей средств защиты на качество получаемого сварного шва;

Практическая значимость работы:

Практическая значимость диссертации обусловлена возможностью использования технологических решений, позволяющих обеспечить качество ответственных конструкций трубопроводных систем при аргонодуговой сварке на любом предприятии.

Личный вклад автора:

Заключается в совместной с научным руководителем постановке задач исследований, формулировке положений и выводов, выносимых на защиту. Все основные результаты, вошедшие в содержание диссертации, получены автором лично. Автор самостоятельно проектировал и изготавливал защитные устройства для сварки трубопроводных систем, проводил экспериментальные исследования с последующим анализом и обработкой полученных данных.

Публикации:

По материалам диссертационной работы опубликовано 2 печатные работы.

Объем и структура диссертации:

Диссертация состоит из введения, двух глав, основных выводов и рекомендаций, списка литературы. Диссертация содержит 90 страниц; 40 рисунков.;6 таблицы; список литературы 45 названий, 1 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы применяемая к производству сварных соединений нержавеющей трубопроводов, выполняемых аргодуговой сваркой и приведена общая характеристика работы. Обоснована цель работы и задачи.

Первая глава диссертации посвящена проведению анализа технологических особенностей аргодуговой сварки нержавеющей стали. Определены основные преимущества, недостатки и достижения в области исследования. Так же рассмотрены различные защитные устройства для газовой защиты корневого валика при аргодуговой сварке трубопровода из нержавеющей стали.

Для проведения испытаний использована высоколегированная коррозионностойкая сталь марки 12X18H10T. Главным достоинством стали 12X18H10T является высокая прочность, твердость, ударная вязкость и пластичность, также сталь характеризуется прекрасной свариваемостью, гигиеничностью. Преимуществом данной стали является жаростойкость и жаропрочность, криогенные качества – пределы температурных возможностей для эксплуатации (без потери свойств), огромны, от -196°C до $+600^{\circ}\text{C}$.

Основные особенности и трудоемкости сварки высоколегированных коррозионностойких сталей заключаются в следующем:

1) Понижение коэффициента теплопроводности у сталей данной группы по сравнению с углеродистыми сталями. Это увеличивает глубину проплавления основного металла, а с учетом повышенного коэффициента теплового расширения возрастает и коробление изделий. Поэтому для уменьшения коробления изделий из высоколегированных сталей следует применять способы и режимы сварки, характеризующиеся максимальной концентрацией тепловой энергии.

2) Образование в швах и околошовной зоне горячих трещин. Предупреждение образования этих дефектов достигается:

- ограничением в основном и наплавленном металлах содержания вредных (фосфор, сера) и легирующих «свинец, висмут, олово) примесей, а также газов – кислорода и водорода;

- получением такого химического состава металла шва, который обеспечил бы в нем двухфазную структуру;

- применением технологических приемов, направленных на изменение формы сварочной ванны и направления роста кристаллов аустенита;

- уменьшение силового фактора, возникающего в результате термического цикла сварки, усадочных деформаций и жесткости закрепления свариваемых кромок.

3) Межкристаллитная коррозия. При сварке коррозионностойких сталей различными способами для предупреждения межкристаллитной коррозии не следует допускать повышения в металле шва содержания углерода, длительного и многократного пребывания металла сварного соединения в интервале критических температур ($500 - 800^{\circ}\text{C}$). В связи с этим сварку необходимо выполнять при наименьшей погонной энергии используя механизированные способы сварки, обеспечивающие непрерывность получения шва, легировать металл шва титаном и ниобием для создания в нем аустенитно-ферритной структуры.

В качестве особенности аргодуговой сварки неплавящимся электродом можно выделить способ зажигания дуги. При этом способе сварки зажигание дуги, в отличие от сварки плавящимся электродом, не может быть выполнено путем касания электродом изделия по двум причинам.

Во-первых, аргон обладает достаточно высоким потенциалом ионизации, поэтому ионизировать дуговой промежуток за счет искры между изделием и электродом достаточно сложно.

Во-вторых, касание изделия вольфрамовым электродом приводит к его загрязнению и интенсивному оплавлению. Поэтому при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом для зажигания дуги параллельно источнику питания подключается специальное устройство – осциллятор.

Главной особенностью процесса аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с применением не местной защиты, а общей защиты, является использование специальной камеры, в которую помещаются свариваемые изделия и в которой поддерживается специальная атмосфера с нужными характеристиками.

Сварка нержавеющей стали, при которой пользуются аргоном как защитным газом, является одной из самых распространенных технологий получения качественных и надежных соединений деталей, изготовленных из такой стали. Нержавеющая сталь является металлом, который успешно противостоит коррозионным процессам. Таким его делают легирующие добавки (хром, титан, никель, молибден и др.).

Также одним из способов газовой защиты корневого валика является флюсовая защита. Наиболее производительным способом электродуговой сварки является автоматическая сварка под слоем флюса, позволяющая соединять элементы конструкций толщиной от 2 до 50 мм. Особенно эффективен этот способ в серийном производстве и при изготовлении конструкций с длинными швами при помощи его можно сваривать детали не только из обычных конструкционных сталей, но и из высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей, а также из алюминиевых сплавов.

Автоматическая сварка под слоем флюса дает чистые, гладкие, весьма плотные швы, не требующие, как правило, дополнительной очистки и механической обработки.

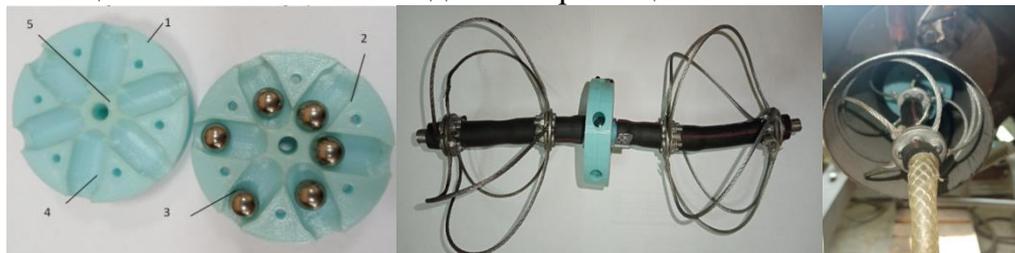
При аргонодуговой сварке трубопровода требуется внутренняя защита корня шва. Основным назначением защиты корня шва является оберегать его от образования оксидной пленки или оксидации и обеспечить необходимый провар корня шва. Эту задачу выполняют защищающие обратную сторону шва защитные газы, которые снижают оксидацию шва. Как известно, при сварке стыковых соединений ответственных конструкций из нержавеющей сталей, цветных, титановых и других легкоокисляющихся сплавов требуется хорошая защита с обратной стороны шва, препятствующая возникновению окисления и образованию дефектов корневого валика (непроваров, несплавлений, пор и др.).

Во второй главе описан конструкторский раздел по разработанным устройствам для защиты корневого валика, так же их проведены испытания на эффективность.

Задачей разработанного устройства является не посредственный поддув газа в область действия источника тепла. При этом нет необходимости в ограничении объема внутренней полости трубы и поддержания в ней давления газа. Устройство предназначено для сварки поворотных стыков, при которой деталь вращается, а источник тепла находится постоянно в верхней ее области.

Принцип устройства заключается в том, что помещенные внутрь корпуса металлические шарики 3, при повороте свариваемой трубы, под действие собственного веса распределяются на нижней части устройства, которое впоследствии препятствует распределению газа в этом направлении, оставляя свободным места направленными к месту сварки. В данном устройстве присуще 6 отверстий, что позволяет бесперебойное преодоление поддува газа к месту сварки.

Из рисунка 1 мы видим защитное устройство, которое представляет собой цилиндрический корпус, состоящий из двух полуцилиндров 1 и 2. В нашем случае корпус изготовлен из ABS пластика путем 3D печати. Внутри корпуса размещены металлические шарики 3, имеющие возможность свободного перемещения по каналам 4.



1, 2 – два полуцилиндра, 3 – металлические шарики,
4 – каналы для перемещения металлических шариков,
5 - отверстие для подвода защитного газа.

Рисунок 1 – Устройство с дозатором подачи газа и системой ориентации в трубе

Так как дозатор устройства был изготовлен произвольного диаметра (60 мм), сварку осуществляли на деталях трубопровода диаметром 80 мм с толщиной стенки 1,0 мм из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Таким образом расстояние от отверстий каналов до стенки трубы составляло 10 мм. В качестве газа поддува использовался технический азот. Расход в поддув составлял 5 л/мин.

Для проведения исследований устройство доработано системой ориентации в трубе, размещаемой слева и справа от дозатора и состоящая из гибких шлангов и пучков тросиков. Как видно из рисунка 1 дозатор устройства размещается под стыком и на равном удалении поверхности корпуса от стенки трубы. Сварное соединение собрано согласно соединения С00000 по ПИ 1.4.748 на 6 прихватках. При простановке прихваток также применяли, поддув азотом. При сборке на призме отмечались затруднения в обеспечении отсутствия смещения кромок, стабильности зазора (нахлест), даже при условии торцовки труб на токарном станке.

В ходе апробации при автоматической сварке использовались режимы, идентичные режимам трубы $\text{Ø}50 \times 1 \text{ мм}$. Успешно удалось получить сварной шов протяженностью 70 мм, далее произошел прожег стенки, выход дуги во внутреннюю полость трубы и плавление материала дозатора. Работа была остановлена. Причина прожога – смещение кромок (нахлест).

Полученный валик имеет стабильные геометрические параметры лицевой стороны: ширина шва 5,5 мм. В связи с тем, что диаметр свариваемых деталей 80 мм, что потребовало смещения вверх сварочного электрода, шаг между проставляемыми на высоком уровне тока точками увеличился в 1,5 раза (с 2 до 3 мм), что привело к появлению грубой чешуйчатости, подреза и вогнутости общего усиления на 0,5 мм, так же это можно объяснить недостаточностью давления поддува (рисунок 2.а).

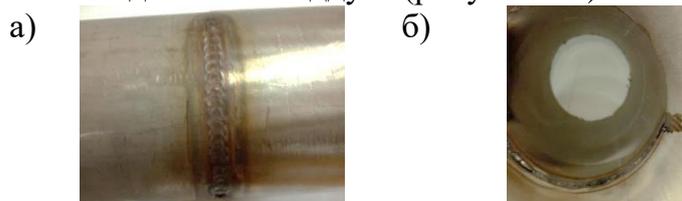


Рисунок 2 - Общий вид лицевой и обратной стороны шва и его дефектности
а – дефекты лицевой стороны шва, б - дефекты обратной стороны шва

С обратной (корневой) стороны валика (рисунок 2.б) наблюдается нормальное сплавление кромок, а так же межточечное с характерной чешуйчатостью. Поверхность валика гладкая, без шламообразных отложений, но имеющая темный цвет не соответствующий хорошей газовой защите. Кроме того усиление валика положительное и не превышает 0,5 мм, допустимое по ПИ 1.4.748.

В обычных производственных условиях изготовления технологических трубопроводов летательных аппаратов сборка элементов ТПС осуществляется на прихватках. При сборке на прихватках для минимизации величины смещения кромок и центрации осей заготовок зачастую используют призмы. В этих случаях в процессе высокотемпературного нагрева легирующих элементов основного металла или рабочего торца проволоки происходит их интенсивное окисление, препятствующее в дальнейшем стабильному продвижению сварочной ванны, так как температура плавления окислов титана, никеля, хрома выше температуры плавления основного металла.

Поэтому даже при простановке прихваток необходима газовая защита (поддув) внутренней полости трубы. С этой целью использовали спроектированный и изготовленный на кафедре ТСМП образец защитного устройства (рисунок 3), состоящий из двух резьбовых шпилек М10х1,75, одна из которых имеет сквозное внутреннее отверстие диаметром 3 мм для прохода защитного газа и торцевые насечки для выхода газа при плотном соединении шпилек посредством удлиненной гайкой, на каждой грани которой также имеется отверстие диаметром 3 мм.

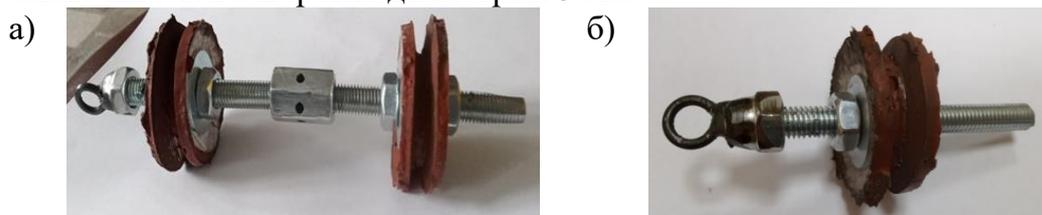


Рисунок 3 - Образец защитного устройства

а – общая модель устройства, б - гайка с кольцом для прикрепления тросика

Для возможности перемещения и извлечения устройства из внутренней полости протяженных труб на внешнем свободном торце резьбовой шпильки устройства размещена гайка (рисунок 3.б) с кольцом для прикрепления тросика.

В качестве заготовок использовалась труба диаметром 50 мм с толщиной стенки 1 мм. Кромки свариваемых заготовок, для минимизации величины зазора, перед сборкой отторцованы на токарном станке. Сборка стыка под сварку осуществлялась в соответствии с ПИ 1.4.748 с зазором 0-0,1 мм на призме без применения присадочного материала. Расход защитного газа в поддув 4 л/мин, в горелку 6 л/мин, сварочный ток 35А, диаметр вольфрамового электрода 1,6 мм, угол заточки 20°, расположение относительно оси шва 80 - 90°. Для совмещения подачи защитного газа в поддув и сварочную горелку из одного баллона использовался регулятор расхода газа У-30/АР-40-2Р, имеющий корпус спаренных ротаметров с обеспечением тонкой настройки и стабильного поддержания постоянным заданного расхода. На рисунке 4 изображены общий вид лицевой и обратной стороны шва и его дефектности.

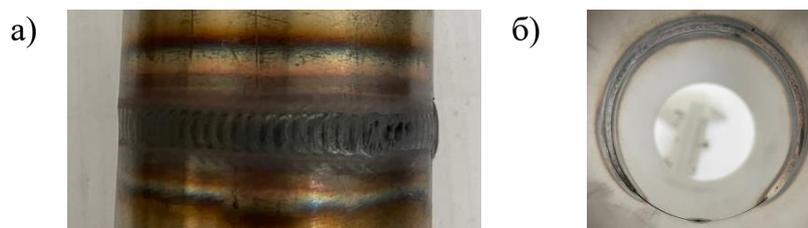


Рисунок 4 - Общий вид лицевой и обратной стороны шва и его дефектности
а – дефекты лицевой стороны шва, б - дефекты обратной стороны шва

Рассчитано максимальное давление внутреннего поддува защитного газа для подъема сварочной ванны с гарантией усиления лицевого валика.

В реальных условиях организация поддува осуществляется через газовый баллон посредством редуктора, снабженного расходомером (л/мин). Рабочее давление редуктора 0,6 МПа, а предохранительный клапан сбрасывает давление при его превышении значения 0,8 МПа. При заполнении объема газом он истекает через зазор в атмосферу с тем же расходом, но большей скоростью потока, так как объем цилиндра в разы превышает объем кольца зазора. При полном закрытии зазора давление внутри замкнутого объема должно возрасти до 0,8 МПа и сработать клапан редуктора.

Как показала апробация предыдущих двух устройств для гарантированного обеспечения равномерности геометрических параметров сварных швов необходимо не только подавать защитный газ с постоянным расходом, но и контролировать его давление в ограниченном устройством объеме. Эта задача усложняется изменением давления по мере формирования сварного шва тем, что уменьшение объема зазора приводит к возрастанию внутри камерного давления и увеличению скорости истекаемого из него газа. Вместе с этим увеличивается давление на формирующуюся в жидком состоянии сварочную ванну происходит возрастание величины усиления с лицевой стороны шва (выпуклости), вогнутости корневой части шва, а и чрезмерное давление неизбежно приводит к выплеску жидкого металла и образованию свища. Кроме того, при отсутствии подачи сварочной проволоки критическими параметром также является точность зазора между соединяемыми кромками, наличие фаски на них и наличие смещения кромок, приводящее к отклонению оси шва со смещением на одну из кромок.

Чрезмерное увеличение усиления лицевой стороны сварного шва приводит к уменьшению дугового зазора между вольфрамовым электродом и поверхностью свариваемых деталей, что изменяет режим теплового и механического воздействия дуги, тем самым изменяется глубина проплавления, ширина шва. С этой целью необходима система поддержания постоянного дугового зазора. В производственных условиях такая ситуация требует механической зачистки места «примерзания» для исключения частиц вольфрама в металле шва, кроме того необходима дополнительная очистка и заточка электрода.

С целью программного управления и регулирования внутрикамерным давлением спроектировано и изготовлено дополнительное устройство, включающее датчик давления РТ-506, клапан газовый электромагнитный SVZ-2,5, измеритель – регулятор программный ТРМ -251, заглушки резиновые, тросики, метизные детали. Из рисунка 5.а мы видим электрическую схему устройства, из которой видно, что в качестве датчика обратной связи выступает датчик давления РТ-506, размещенный в одной из герметизирующих заглушках (рисунок 5.б). Через другую заглушку, через штуцер подается защитный газ.

Принцип работы устройства заключается в следующем: программатором ТРМ-251 задается должное значение давления (кПа) во внутрикамерном пространстве. Баллонным редуктором устанавливается значение расхода (л/мин). При включении ТРМ-251 в работу,

электромагнитный клапан SVZ-2,5 находится в открытом состоянии. Происходит наполнение внутрикамерного пространства защитным газом до достижения заданного давления. Вытеснение воздуха более плотным аргоном или азотом из внутрикамерного пространства происходит через истечение в щель, созданную зазором между соединяемыми кромками. При достижении заданного давления клапан закрывается, поступления газа не происходит. При падении давления до значения (в рамках установленного гистерезиса) уставки, клапан SVZ-2,5 открывается до момента достижения необходимого давления.

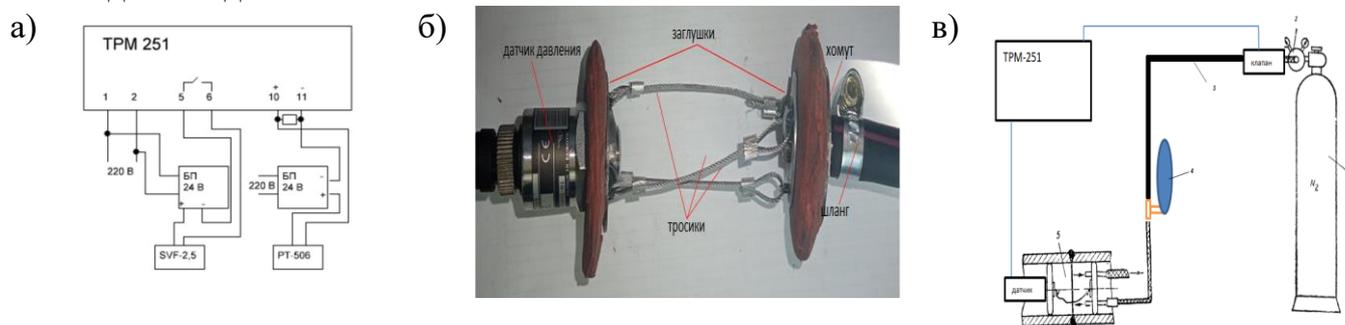


Рисунок 5 - Устройство с регулированием давления поддува

а - электрическая схема устройства, б - часть устройства, создающая камеру внутри трубы
в - общая схема компоновки защитного комплекса

Часть устройства, создающая камеру внутри трубы (рисунок 5.б) представляет собой две герметизирующие резиновые заглушки, связанные между собой тремя металлическими тросиками, дающими возможность поддерживать равное расстояние и перемещать устройство внутри криволинейного трубопровода.

Апробация работы комплекса проводилась при сохранении условий сварки (автоматическая установка, режимы сварки и т.п.), характеристик свариваемых заготовок и требований к геометрическим параметрам валика.

Испытания проводили с поддувом азота. В первоначальный момент расход газа в поддув составлял 5 л/мин. В ходе испытаний расход уменьшали до 0,2-0,5 л/мин по мере заполнения (увеличения объема) шарика. Для корректности отработки режимов поддува входе апробации датчик использовался для измерения внутрикамерного давления (не для регулировки), а регулировка производилась вручную по показаниям ротаметра и наполнения шарика.

На рисунке 6 показаны результаты испытаний полученные в двух полноценных стыковых соединения (без свищей и прожогов) с равномерной чешуйчатостью и шириной шва.

С лицевой стороны перед началом автоматической сварки был произведен ремонт свища ручной аргонодуговой сваркой с присадочной проволокой без защиты корневой части. При наложении валика автоматической сваркой с лицевой стороны произошло его нормальное формирование. На участке, диаметрально противоположном замковому заходу (началу и концу сварки) имеется участок чрезмерного увеличения высоты усиления (выпуклости) валика до 1,0 мм, протяженностью 10 мм.

Формирование валика с обратной стороны также характеризуется наличием областей чрезмерной вогнутости:

- 30°C от замкового, протяженность – 15 мм, глубина-0,5 мм
- 180°C от замкового, протяженность - 20 мм, глубина-0,5-0,7 мм

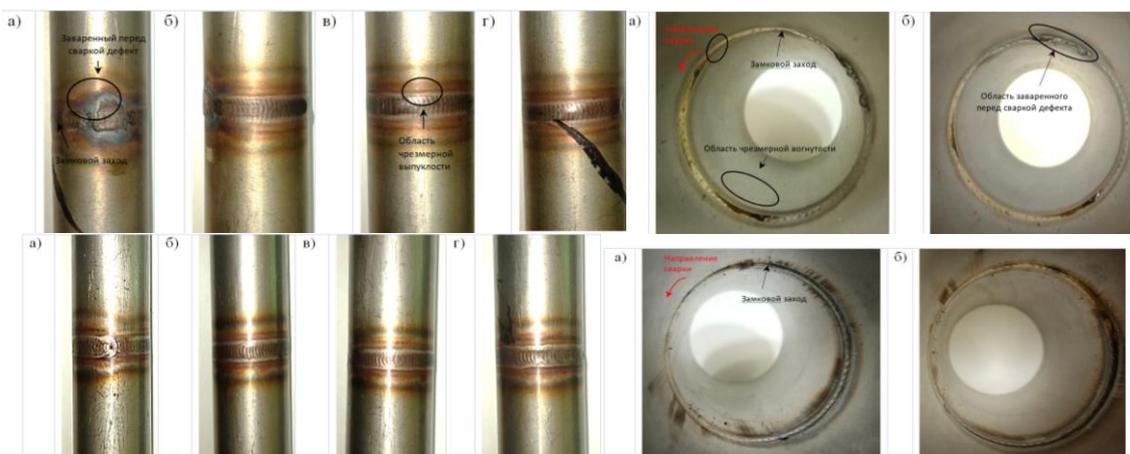


Рисунок 6 – Внешний вид образцов полученных в результате испытания
 а - замковой заход; б - 30° от замкового; в - 180° от замкового;
 г - 270° от замкового

Область заваренного перед сваркой дефекта имеет рыхлую структуру поверхности, характерную окисленной. Причина – отсутствие защиты при ремонтных работах, и механической зачистки окисленной области. До половины периметра шов имеет соломенно-золотистый цвет, в другую часть периметра бурый с черной каёмкой по ЗТВ, но гладкая.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Летательные аппараты - совокупность множества систем и оборудования, обеспечивающих функционирование судна в процессе эксплуатации. Большинство из них связаны трубопроводами, поэтому требования по прочности, надежности предъявляются весьма жесткие. Трубопроводы летательных аппаратов состоят из ряда элементов, собираемых в единое целое посредством резьбовых, паянных, ниппельных, сварных соединений.

При автоматической аргодуговой TIG сварке элементов тонкостенных трубопроводных систем из нержавеющей сталей существует возможность формирования швов без использования присадочных материалов при этом применение импульсного режима сварки стабилизирует ширину шва, а валик выполняется на весу (без формирующих устройств).

Нержавеющие стали (12X18H10T, 09X18H10T и тп), используемые в конструкциях ТПС ЛА при нагревании в ходе сварки до температуры плавления, посредством растворимости газов из атмосферы воздуха (особенно кислорода) в титане, хrome, никеле (основных легирующих элементах) сильно окисляются, создавая шлакообразную тугоплавкую корочку на поверхности шва и требуют отеснения воздуха из зоны термического влияния. Необходимость организации газовой защиты корневого валика, как средство от образования оксидного слоя, дает дополнительный ресурс управления геометрическими параметрами наплавляемого шва - высотой усиления (вогнутость и выпуклость) - регулированием внутренним давлением поддуваемого газа.

Из соображений экономии расхода поддуваемого газа и эффективности управления внутренним давлением подаваемого газа целесообразнее применения устройств, организующих микрокамеры (имеющие две заглушки) и ограничивающие пространство, заполняемые газом.

Задача регулирования осложняется изменением расхода поддуваемого газа через щель, образованную зазором, закрываемым формирующимся в ходе сварки швом. При этом, по мере закрытия зазора швом возрастает внутреннее давление в камере, а расход защитного газа уменьшается. Нагрев кромок и внутрикамерного пространства также приводит к уменьшению зазора и увеличению скорости потока истекающего из него газа.

Чрезмерное давление газа во внутрикамерном пространстве приводит к увеличению усиления (выпуклости) лицевой стороны валика и вогнутости в корневой части валика, вплоть до образования выплеска металла жидкой ванны (свища), а недостаточность давления к провисанию шва (вогнутость с лицевой стороны и выпуклость с обратной).

Согласно ПИ 1.4.748 соединяемые сваркой детали тонкостенных ЭТЭС ЛА собираются без разделки кромки с зазором 0-0,1 мм на прихватки. Показано, что простановка прихваток также нуждается в обеспечении поддува, так как последующее наложение сварного шва по окисленным прихваткам приводит к непроварам, несплавлениям, пористости (зачастую наблюдается скопление или цепочки пор) в этих зонах.

В работе отмечены следующие методы организации поддува: локальный подвод защитного газа, организация внутренних микрокамер, организация контролируемой атмосферы в камерах с помещаемыми в них деталями, организация обитаемых камер с контролируемой атмосферой. Для анализа эффективности разработаны три устройства - устройство с поддувом газа в область горения дуги и ЗТВ, два устройства с внутренней камерой с контролем и регулированием давления и без него. Показано, что первое устройство способно размещаться и легко перемещаться во внутренней полости геометрически сложных ТЭС, но не обеспечивает необходимого давления газа для выдавливания жидкого металла изнутри трубы. Устройство, создающее внутреннее давление поддуваемого газа путем его протекания по внутрикамерному пространству также создает нужное количество газа для обеспечения антиоксидной защиты, но без регулирования геометрии. Устройство, представляющее собой комплекс электронного и газового регулирования внутрикамерного давления, более эффективно, но потребовало дополнительных доработок и апробации.

В ходе апробации устройств с регулированием внутрикамерного давления установлено, что оптимальным расходом газа в момент начала сварки трубы диаметром 50 мм, при расстоянии между заглушками - 100 мм, является 5 л/мин. В последующем расход следует **плавно** уменьшать пропорционально скорости заполнения зазора до значений 0,1-0,2 л/мин (в случае истекания газа через отверстие в устройстве), либо до 0 л/мин в случае надежной герметизации внутрикамерного пространства заглушками и сохранения давления защитного газа при полном уплотнении шва.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Марченко Е.А., Бахматов П.В. Исследование эффективности защиты корневого валика при аргодуговой сварке трубопровода из нержавеющей стали // В сборнике: наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Международной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 390-391.

2. Марченко Е.А., Бахматов П.В. Разработка защитного устройства для аргодуговой сварки трубопроводных систем // В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы V Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2022. С. -.