

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

На правах рукописи

Белан Богдан Романович

**Обеспечение надежности неразъемных соединений трубопроводных
систем из нержавеющей стали**

Направление подготовки
15.04.01 – «Машиностроение»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Никитина Елена Николаевна
Проверено
07.07.2020 Зачтено Библиотека

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольском-на-Амуре государственном университете»

Научный руководитель:

Муравьев Василий Илларионович,
доктор технических наук,
профессор, профессор-консультант
кафедры «Технология сварочного и
металлургического производства»
ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-
Амуре государственного
университета»

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 «2» июля 2020 г. в 12:30 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.

Автореферат разослан 20 июня 2020 г.

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

А.В. Свиридов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА 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.

Титан и его сплавы находят широкое применение в технике ввиду своей высокой механической прочности, которая сохраняется при высоких температурах, коррозионной стойкости, жаропрочности, удельной прочности, малой плотности и др. Высокая стоимость титана и его сплавов во многих случаях компенсируется их большей работоспособностью, а в некоторых случаях они являются единственным материалом, из которого можно изготовить оборудование или конструкции, способные работать в конкретных условиях

Актуальность темы:

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. Исправление дефектных швов трудозатратный процесс, теряется не только время, но и деньги предприятия. Исходя из этого, тема обеспечения надежности неразъемных соединений трубопроводных систем из нержавеющей стали является актуальной, ибо универсального решения, которое будет удобным, эффективным и экономичным нет.

Цель диссертационной работы:

Провести моделирование распределения газа в свариваемой трубе, а также экспериментально выяснить как влияет наличие средств защиты корня сварного шва на качество самого шва.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

- исследовать факторы возникновения дефектов при сварке нержавеющей сталей;
- определить современные методы защиты сварных соединений из нержавеющей стали;
- смоделировать поведение защитного газа в свариваемых деталях с использованием защитных средств защиты корня сварного шва;
- исследовать влияние использования защитных средств на качество сварного соединения;

Апробация работы:

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены:

1. II Всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука» (г. Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ, 2019 г.);

Положения, выносимые на защиту:

- факторы возникновения дефектов при сварке нержавеющей сталей;
- влияние наличия средств защиты на качество получаемого сварного шва;

Научная новизна работы:

1. Новое защитное устройство никем ещё не было разработано.
2. Разработанное устройство является универсальным для всех видов трубных соединений.

3. Установлено, что новое разработанное устройство эффективно защищает корень сварного шва при меньших затратах защитного газа.

Практическая значимость работы:

Практическая значимость диссертации обусловлена возможностью использования технологических решений, позволяющих обеспечить качество ответственных конструкций 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, и написании статей по теме исследования. Автор лично производил оценку факторов влияющих на порообразования сварных соединений, выполненных АДС, анализировал литературные источники и проводил экспериментальные исследования с последующим анализом и обработкой полученных данных, проводил металлографические, физико-механические и другие виды исследований.

Публикации:

По материалам диссертационной работы печатных работ опубликовано не было.

Объем и структура диссертации:

Диссертация состоит из введения, восьми глав, основных выводов и рекомендаций, списка литературы. Диссертация содержит 58 страниц; 31 рисунка.; 18 таблиц.; список литературы 25 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В **первой главе** проведен анализ используемых материалов, их характеристики. Описаны причины возникновения дефектов и их последствия. Рассмотрены способы сварки элементов трубопроводных систем, а также рассмотрены известные способы защиты корня сварного шва.

Для произведения испытаний использована высоколегированная коррозионностойкая сталь 12Х15Г9НД.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 12Х15Г9НД

В процентах					
C	Cr	Mn	Ni	Cu	N
до 0,12	14 – 16,5	8,5 – 10	1 – 1,5	не более 2	До 0,2

Таблица 1.2 – Механические свойства стали марки 12Х15Г9НД

Сортамент	Предел кратковременной прочности s_b , МПа	Предел текучести для остаточной деформации s_t , МПа	Относительное удлинение при разрыве d_5 , %
Прутки, ГОСТ 5949-75	510 - 550	200	40
Лист толстый, ГОСТ 7350-77	525	215 - 240	39
Лист тонкий, ГОСТ 5582-75	540	200	40
Лента мягкая, ГОСТ 4989-79	535	-	35
Труба горячекатаная, ГОСТ 9940-81	523	217	35
Труба холоднокатаная, ГОСТ 18143-72	562	216	36
Проволока, ГОСТ 18143-72	550-920	-	55-90

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

- пониженный коэффициент 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;

- образование в швах и околошовной зоне горячих трещин. Предупреждение образования этих дефектов достигается: ограничением в основном и наплавленном металлах содержания вредных (серы, фосфора) и ликвирующих (свинца, олова, висмута) 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; уменьшением силового фактора, возникающего в результате термического цикла сварки, усадочных деформаций и жесткости закрепления свариваемых кромок;

- 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 °С). 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

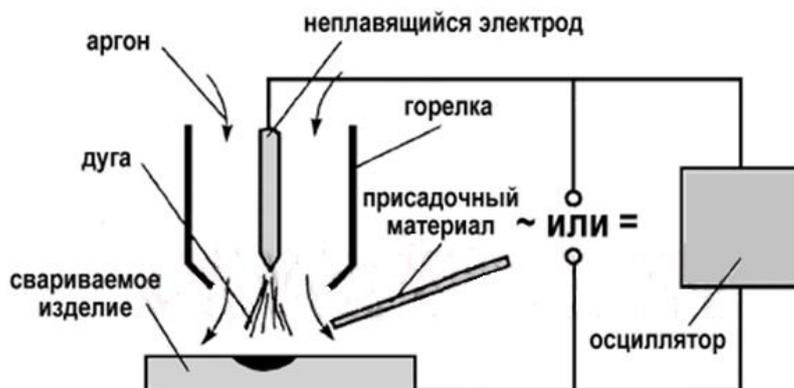


Рисунок 1.1 – Сущность аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

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.

Во **второй главе** проведен технологический анализ конструктивных элементов элементов трубопроводных систем, а также их методы сварки. Изучены способы и методы контроля качества сварных соединений. Изучены ГОСТы по контролю качества сварных швов.

Нержавеющая сталь называется так потому, что она под действием различных факторов не покрывается коррозией. То есть, срок ее эксплуатации практически вечен. Поэтому изделия из нее так востребованы в промышленности и быту. Находящая в нем легированная добавка в виде хрома (12 %) делает такой металл не только нержавеющей, но и хорошо поддающимся обработке и сварке. Практически все сварочные технологии можно

использовать для соединения нержавеющей заготовок. Но когда разговор заходит о стыковке тонких деталей, то сварка нержавеющейки аргоном – оптимальное решение данной проблемы. Ручная аргонная сварка начинается, как и все сварочные процессы, с подготовки заготовок. Необходимо зачистить соединяемые торцы до металлического блеска, чтобы не осталось грязи, налетов других материалов (к примеру, краски), а также надо провести обезжиривание примыкающих плоскостей. Если свариваются заготовки из нержавеющейки толщиной более 4 мм, то необходимо сформировать кромки. Тонкостенные детали варятся без кромок.

Таблица 2.1– Режимы сварки патрубка из нержавеющей стали

Показатель	Значение
Сила сварочного тока I , А	35
Диаметр вольфрамового электрода $d_{в.э.}$, мм	2 - 3
Диаметр присадочной проволоки $d_{п.п.}$, мм	1,2 – 1,6
Скорость сварки V_c , м/ч	15-25
Скорость подачи присадочной проволоки $V_{п.п.}$, м/ч	25-35
Напряжение на дуге U , В	10-12
Расход газа для защиты сварочной ванны, л/мин	10-20

Приемочный контроль сварных соединений трубопроводов, включает следующие виды:

- визуальный и измерительный контроль;
- стилоскопирование деталей и металла шва;
- измерение твердости металла шва;
- ультразвуковая и радиографическая дефектоскопия;
- механические испытания;
- металлографические исследования;
- капиллярный или магнитопорошковый контроль;

Таблица 2.4 – Параметры оценок качества сварных соединений

Категория трубопровода	Толщина стенки, мм	Включения (поры)		Скопления, длина, мм	Суммарная длина на любом участке шва длиной 100 мм
		Ширина (диаметр), мм	Длина, мм		
I, II, III	До 3	0,5	1,0	2,0	3,0
	Свыше 3 до 5	0,6	1,2	2,5	4,0
	Свыше 5 до 8	0,8	1,5	3,0	5,0
	Свыше 8 до 11	1,0	2,0	4,0	6,0
	Свыше 11 до 14	1,2	2,5	5,0	8,0
	Свыше 14 до 20	1,5	3,0	6,0	10,0
	Свыше 20 до 26	2,0	4,0	8,0	12,0
	Свыше 26 до 34	2,5	5,0	10,0	15,0

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6
ШВ	До 3	0,6	2,0	3,0	6,0
	Свыше 3 до 5	0,8	2,5	4,0	8,0
	Свыше 5 до 8	1,0	3,0	5,0	10,0
	Свыше 8 до 11	1,2	3,5	6,0	12,0
	Свыше 11 до 14	1,5	5,0	8,0	15,0
	Свыше 14 до 20	2,0	6,0	10,0	20,0
	Свыше 20 до 26	2,5	8,0	12,0	25,0
	Свыше 26 до 34	2,5	8,0	12,0	30,0

В **третьей главе** описан конструкторский раздел по разработанному устройству. Изображены чертежи разработанного устройства. Разобраны конструкторские особенности устройства, детализировка. Обозначены материалы для изготовления устройства, а также составлена спецификация нового устройства.

Устройство для подачи защитного газа для защиты корневого валика состоит из двух основных сборочных элементов:

- устройство фиксации трубки подачи защитного газа;
- трубка с распределителем подачи газа.

Одним из составляющих элементов моего устройства является устройство фиксации трубки с распределителем для подачи защитного газа в корень сварного шва. Данное устройство позволяет выполнять сварку трубопроводов с внутренним диаметром от 26 до 63 мм. Фиксация в трубопроводе выполняется за счет 2 мм тросиков зажатых между двух дистанционных шайб. Данные тросики обладают достаточной жесткостью и гибкостью, что позволяет данному устройству уверенно держаться в трубе и исключить случайные проскальзывания внутри нее.

За счёт тросовой фиксации моё устройство можно легко извлечь из любой трубопроводной системы. Достаточно лишь потянуть за сам шланг подающий аргон.

Таблица 3.2 - Спецификация

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
1	Труба 8 мм ГОСТ 17711-93	2	
2	Кислородный шланг ГОСТ 9356-75	2	
3	Латунная пробка ГОСТ 17711-93	1	
4	Винтов В2.М3х12-016 ГОСТ 17475-80	10	
5	Гайка М3 (S5).016 ГОСТ 5915-70	10	
6	Трос стальной ГОСТ 3066-80	5	Брать 2 метра, рубить по 180 мм
7	Дистанционная шайба - ГОСТ 11371-78	4	

В **четвертой главе** детально описана инструкция по эксплуатации разработанного защитного устройства, со всеми нормами и мерами безопасности.

Проверка работоспособности устройства перед работой

- перед применением защитного устройства убедиться, что оно находится в надлежащем состоянии;

- проверить состояние тросиков. При наличии признаков изнашивания тросов (истончение диаметра троса в месте его контакта с внутренней поверхностью трубы, наличие торчащих ворсинок) произвести локальный ремонт троса – залудить его поверхность оловом, либо его сменить;

- убедиться в надежном креплении концов троса в шайбовых зажимах (достаточно просто подергать за тросы). В случае вылета троса из зажима ослабить 2 гайки со стопорным кольцом в месте вылета; вставить трос обратно; затянуть гайки; повторно проверить надежность крепления троса.

- в случае раскручивания троса в месте его крепления в шайбовом зажиме заменить трос;

- проверить целостность и гибкость армированного шланга. В случае обнаружения трещин на шланге – заменить;

- проверить надежность фиксации хомутов на шланге. При недостаточной надежности хомут заменить во избежание слёта шланга с трубы;

- убедиться что ничего не мешает газу пройти путь от места соединения устройства и шланга с газом до распределительного устройства.

- в случае обнаружения затруднений в прохождении газа через устройство - разобрать его и прочистить.

В **пятой главе** кратко описана себестоимость устройства.

Таблица 5.1 - Стоимость затраченных материалов

Материал	Единица измерения	Количество	Цена, р.
Труба 12X18Н10Т 8 мм	м	1	300
Кислородный армированный шланг, диаметр 6 мм	м	1	60
Пруток латунный диаметром 24 мм	м	0,04	50
Винт М3х12	шт.	20	3
Гайка М3	шт.	20	5
Шайба усиленная М8	шт.	8	2
Трос стальной диаметром 2 мм	м	2	34
Итого:	р.		454

В **шестой главе** детально описана экологическая безопасность при сварке в среде инертных газов. Прописаны нормы охраны труда и санпин. Расписан пошаговый алгоритм при возникновении чрезвычайной ситуации и при угрозе здоровью персонала производства.

При выполнении процессов сварки, резки, наплавки, напылении и пайки металлов на работающих могут воздействовать различные вредные и опасные производственные факторы. Перечень производственных факторов приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1. – Перечень опасных и вредных производственных факторов при сварочных работах

Опасные и вредные производственные факторы в зоне пребывания рабочего	Сварка дуговая в защитном газе
1 Физические факторы	
1.1. Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы	+
1.2. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	+
1.3. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	+
1.4. Повышенная температура воздуха рабочей зоны	+
1.5. Повышенный уровень шума на рабочем месте	-
1.6. Опасный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+
1.7. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+
1.8. Повышенная яркость света	+
1.9. Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	+
1.10. Повышенный уровень инфракрасной радиации	+
2. Химические факторы	
2.1 Сварочные аэрозоли	+
3. Психологические факторы	
3.1. Физические перегрузки	+
3.2. Нервнопсихологические перегрузки	+

В **седьмой главе** проведено детальное моделирование поведение газа в свариваемом трубопроводе при использовании различных способов защиты корня сварного шва.

Для моделирования поведения газа внутри трубы использовался лист пластика, свёрнутый в рулон, для имитации трубы, и пар от электронной сигареты, т.к. он тяжелее воздуха и его можно увидеть, в отличие от аргона или CO₂.

Для начала посмотрим, как газ распределяется по трубе без каких-либо защитных устройств:



Рисунок 7.1 – распределение газа без защитных устройств

Т.к. в трубе не было никаких средств защиты, газ проходил через всю трубу без задержек. Было замечено, что на определенном удалении от источника подачи, газ начинал оседать в нижней части трубы (рисунок 7.2). Для того, чтобы газ заполнил всю трубу и вы-

теснил весь кислород необходимо подавать газ с очень большим давлением, что соответственно, приводит к несоизмеримо большому расходу газа.

Вследствие выше сказанного, была использована заглушка из ватного диска с проделанным в ней отверстием. Заглушка была размещена в непосредственной близости от зоны сварки. Но вне зоны термического влияния. При подаче газа в трубу с использованием заглушки было замечено, что зона сварки была полностью заполнена газом. Газ немного сочился через отверстие в заглушке в правой части трубы, а в левой части газ растекался по трубе.

Далее были использованы две заглушки и подающий газ шланг. Шланг был продет через заглушку, которую разместили в левой части трубы. Заглушка со шлангом также располагалась в непосредственной близости от зоны сварки. При подаче, газ распределяется в зоне сварки между заглушками и остается там. Стоит отметить, что при имитации стадии заваривания кромки давление газа внутри зоны сварки, ограниченной заглушками, возрастает, и на финальном этапе сварки может образоваться свищ.

Следующим этапом было создание модели работы комплекта защиты корня шва ТТ703. Принцип работы комплекта защиты схож с предыдущей моделью, за исключением того, что заглушки были соединены рассеивателем. В ходе моделирования выяснилось, что этот комплект подходит только для прямолинейных участков трубы. Выявлено, что при использовании комплекта на финальной стадии сварки также может образовываться свищ.

Ну и в заключении, был смоделирован процесс распределения газа через разработанное ранее устройство. Выяснилось, что устройство держится в трубе надежно, самоцентрируется, подает достаточное количество газа в зону сварки, при этом свищи не образуются, т.к. на устройстве нет никаких заглушек. Подающее устройство может применяться не только для прямолинейных участков труб, но и для криволинейных.

В **восьмой главе** разобраны результаты испытаний сваривания трубопроводов с использованием защитных методов и устройств.

Для проведения исследований была выбрана труба из нержавеющей стали марки 12Х15Г9НД.

Аустенитная сталь 12х15г9нд является недорогой заменой нержавеющей сталей 12Х18Н10Т и 08х18н10. Материал имеет оптимальное содержание хрома, никеля, меди и ряда других элементов, обеспечивающих значительную стойкость к коррозии, а также отменные показатели прочности и пластичности.

Для проведения исследований использовался сварочный инвертор FAL TIG 400 AC/DC. Использовался сервый электрод WC-20 (серый), содержат 2 % оксида церия.

Этот редкоземельный металл повышает эмиссию с улучшением первоначального запуска сварочной дуги и поддерживают ее устойчивость даже при небольшом значении тока. Это универсальные электроды, которые применяются для сварки переменным током и током положительной прямой полярности.

Для проведения исследования труба 12Х15Г9НД была разделена на отрезки равной длины, по 80мм, на ленточной пиле по металлу с использованием охлаждения. Толщина стенки 3мм, диаметр 46мм. Были зачищены кромки на образцах, снята фаска 2мм. Свариваемые детали и электрод были обезжирены. Сварка проходила на токе прямой полярности. Сила тока выставлена на 139А. Скорость сваривания 4м/мин.

Вращательное устройство регулируется через табло либо через педаль. Может поддерживать постоянную скорость вращения от 1м/мин до 30м/мин.



Рисунок 8.6 – Разрез образца с заглушкой



Рисунок 8.8 – Момент сварки с использованием разработанного устройства

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Было разработано новое устройство , которое превосходит все известные аналоги по скорости процесса сваривания и экономичности.

Проведённые исследования показали, что поддув изнутри обеспечивает защиту корня сварного шва однако, при использовании обычных заглушек расход увеличивается за счёт того, что на полную продувку трубопровода потребуется время.

Разработанное защитное устройство позволяет добиться полной защиты шва за счёт увеличения объема газа до 10л/мин, однако главным плюсом по сравнению с заглушками является тот факт, что начинать сваривание деталей можно сразу же.

Экономическая выгода в использовании защитного устройства заключается в экономии расхода газа и времени на сварку, при достижении таких же результатов качества корня сварного шва, как и при использовании заглушек.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Научные работы, опубликованные в журналах перечня ВАК РФ:

Публикации отсутствуют.

Прочие публикации:

Публикации отсутствуют.