

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

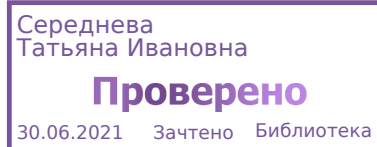
На правах рукописи

Колчин Денис Петрович

**Разработка устройства и отработка режимов автоматической сварки
трубопроводов нефтеперерабатывающего комплекса**

Направление подготовки
15.04.01 «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ



2021

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» на кафедре «Технология сварочного и металлургического производства»

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Технология
сварочного и металлургического
производства»

Бахматов Павел Вячеславович

Научный консультант

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Промышленная электроника»

Фролов Алексей Валерьевич

Рецензент

кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник ИМиМ
ДВО РАН

Жилин Сергей Геннадьевич

Защита диссертации состоится «24»июня 2021 г. в 10:00 часов на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, 27, учебный корпус 2, аудитория 221.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте <https://knastu.ru/page/1519> и на кафедре «Технология сварочного и металлургического производства» ФГБОУ ВО «КНАГУ».

Автореферат разослан 16 июня 2021 г.

Секретарь ГЭК,
к.т.н., доцент

О.Н. Клешина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Нефтепереработка сложный процесс, связанный со множеством, порой уникальных, процедур воздействия на продукт и его транспортировкой. В качестве транспорта нефтепродуктов служат технологические трубопроводы от надежности которых зависит безопасность и эффективность работы отрасли. В условиях ООО «РН-Комсомольский НПЗ» основным способом создания неразъемных соединений технологических трубопроводов служит ручная дуговая сварка покрытыми электродами, при этом качество сварных соединений обуславливается человеческим фактором. Кроме того, электроды имеют определенную длину и сварщику необходимо вести процесс с остановками для смены электрода, что неблагоприятно влияет как на термический цикл сварки, так и на вероятность образования дефектов (например, стартовые поры, местные несплавления). Автоматизация процедуры сварки технологических трубопроводов нефтеперерабатывающего комплекса необходима и требует решение целого ряда организационных вопросов: улучшение качества сборочных работ, разработку специализированных автоматических (роботизированных) устройств, создание систем управления и слежения за формированием шва.

Основная проблема автоматизации процедуры сварки заключается в том, что в настоящий момент не существует нормативной документации, регламентирующей вид траектории и конкретные (точные) режимы сварки для определенных типов сварных соединений и номенклатуры свариваемых материалов и толщин, а существующие в практике мирового машиностроения автоматические установки, реализуют несложные поперечные колебательные движения сварочной горелки при постоянной линейной скорости сварки, способствующие получению зигзагообразной траектории (ёлочка), и не способны управлять режимами сварки в конкретной области этой траектории.

Так же возможно удаление пористости в сварных швах увеличением времени существования сварочной ванны при прямолинейном перемещении сварочной горелки, путем регулирования скорости сварки и силы сварочного тока, но отражается на увеличении ширины шва, зоны термического влияния и приводит к снижению механических свойств до недопустимого уровня (σ_b снижается более чем на 15% от основного металла).

Сварка тонколистовых соединений на весу с постоянным режимом сварки (скорость сварки, сила тока, дуговой зазор, скорость подачи проволоки во время сварки неизменны) осложнена прогревом зоны термического влияния и образованием прожога.

При создании многопроходных неразъемных соединений с разделкой кромок, выполняемых дуговой сваркой, также требуется различная траектория перемещения сварочной горелки и вариативность режимов сварки в зависимости от номера прохода. В этом случае конкретной доктрины, регламентирующей необходимость и достаточность траекторий и режимов сварки (техники сварки) не существует, даже для широко используемых низкоуглеродистых сталей.

Исследования по осцилляции режимов сварки расширят область теоретических знаний, позволят унифицировать требования к траекториям и энерговлложению в сварочную дугу, достаточного для плавления основного и присадочного материала и минимизирующего остаточные напряжения. Поэтому задача разработки систем, программного обеспечения и оборудования для

совместного управления, как траекторией, так и энерговыделением сварочной дуги при формировании сварного шва, исследование эффективности их применения является весьма актуальной.

В работе рассматривается вопрос создания системы и оборудования для автоматической сварки с многокоординатным управлением перемещения горелки, импульсной подачей проволоки и режимами сварки, а также разработки программного комплекса, как инструмента обеспечивающего возможность применения уникальных сварочных траекторий, способствующих снижению порообразования и достижению равнопрочности сварного соединения с основным металлом.

Решение этих вопросов позволит реализацию научных исследований в области влияния техники и технологии формирования сварных швов на качество и экономическую эффективность создания соединений и, безусловно, требует коллаборации специалистов различных отраслей науки и техники: сварки, электроники, материаловедения и др.

Цель работы: разработка автоматизированной установки TIG сварки, обладающей комплексом интеллектуального управления параметрами формообразования неразъемного соединения.

Для реализации цели работы поставлены следующие задачи:

- разработка элементов компоновочной схемы автоматической установки, включающей: сварочный вращатель, механизмы перемещения сварочной горелки, источник питания и механизм подачи сварочной проволоки;
- разработка принципиальных и электрических схем управления механизмами и режимами сварки;
- создание управляющих программ;
- отработка режимов сварки на конкретном образце.

Объект исследования – технология выполнения сварного соединения

Предмет исследования – стыковые соединения трубопроводов, полученных автоматической (роботизированной) сваркой в среде инертных газов с применением программного управления траекторией перемещения дуги, подачи сварочной проволоки и режимами сварки.

Научная новизна:

- разработан комплекс автоматической сварки тел вращения (труб) дающий возможность осцилляции основными параметрами сварки: траектории перемещения дуги, подачи сварочной проволоки и режимами сварки;
- создан программный продукт управления осцилляцией, являющийся инструментом в проведении масштабных исследований по выявлению закономерностей влияния техники выполнения сварного соединения на структуру и свойства металла шва, деформации и напряжения зоны термического влияния, размерную точность изделий.

Обоснованность и достоверность полученных результатов основывается на использовании поверенного комплекса контрольно-измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований, использованием нормированных методик определения физико-механических свойств и макро- и микроструктурных параметров, а также соответствием полученных результатов экспериментальных данных фундаментальным положениям.

Практическая значимость. Применение разработанного устройства и программного продукта позволяет выбирать траекторию движения дуги, назначать

режим сварки в конкретной точке этой траектории, создавать управляющий G-код и проводить автоматическую дуговую сварку тел вращения (труб). Управление осцилляцией, как энергетическими параметрами режима сварки, так и траектории перемещения горелки способствует дозированному вводу тепла и присадочного материала в сварочную ванну, поэтому минимизирует сварочные напряжения, а вместе с ним и деформации в сварном соединении.

Личный вклад автора. Соискатель активно участвовал в процессе проектирования и изготовления сварочной установки, отработке режимов сварки, в подготовке и написании научных публикаций.

Основные положения, выносимые на защиту:

- компоновочные, принципиальные и электрические схемы элементов устройства автоматической сварки;
- программный продукт управления осцилляцией;
- результаты апробации работы установки

Апробация результатов работы. Результаты диссертационной работы были представлены на 4 Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований», Комсомольск-на-Амуре (апрель 2021 г.).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 2 проектах: гранте Хабкрая и внутреннем НИР ФГБОУ ВО «КнАГУ».

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка литературы, приложений. Диссертация содержит 95 страниц, 41 рисунок, 5 таблиц; список литературы, состоящий из 128 наименований, 1 приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, объект и предмет, сформулированы цели и задачи работы, используемые методы исследования, показана научная новизна.

В первой главе представлен литературный обзор и анализ роли тепловых процессов и основных механизмов формирования зернистой микроструктуры при аргонодуговой сварке металлов.

Во второй главе рассмотрены аспекты разработки устройства автоматической сварки трубопроводов нефтеперерабатывающего комплекса. Разработанное устройство (рис. 1) включает следующие элементы: модернизированный сварочный вращатель M211080, механизм подачи сварочной проволоки, сварочную горелку Kemppi TTS 220 4M, источник питания сварки Kemppi MinarcTig Evo 200, шкаф управления, тележку для размещения сварочного оборудования. Управление осцилляцией осуществляется через программу MACH3 посредством G-кодов, генерирующихся разработанным приложением.

Вращение свариваемой заготовки выполняется шаговым электродвигателем 1 через штатный редуктор. Поперечные перемещения сварочного сопла выполняются линейным электроприводом 2. Вертикальные перемещения сварочной горелки выполняются с помощью линейного электропривода 3. Сварочная горелка 4 закрепляется на кронштейне 5. На этом же кронштейне крепится направляющий канал подачи сварочной проволоки 6.

Спроектированная установка позволяет сваривать трубные заготовки в автоматическом режиме по заранее составленной программе с неограниченным количеством проходов и неограниченным количеством траекторий. Параметры установки:

- дискретность перемещения сварочного сопла поперёк трубы – $0,01^\circ$, что при диаметре трубы 60 мм соответствует расстоянию 0,005 мм;
- дискретность перемещения сварочного сопла вдоль трубы – 0,003 мм;
- дискретность перемещения сварочного сопла по вертикали – 0,05 мм;
- скорость перемещения по оси X – (0...1,6) об/мин, что при диаметре трубы 60 мм соответствует (0...300) мм/мин;
- скорость перемещения по оси Y – (0...3000) мм/мин;
- скорость перемещения по оси Z – (0...3000) мм/мин;
- диапазон регулирования сварочного тока – (30...200) А.

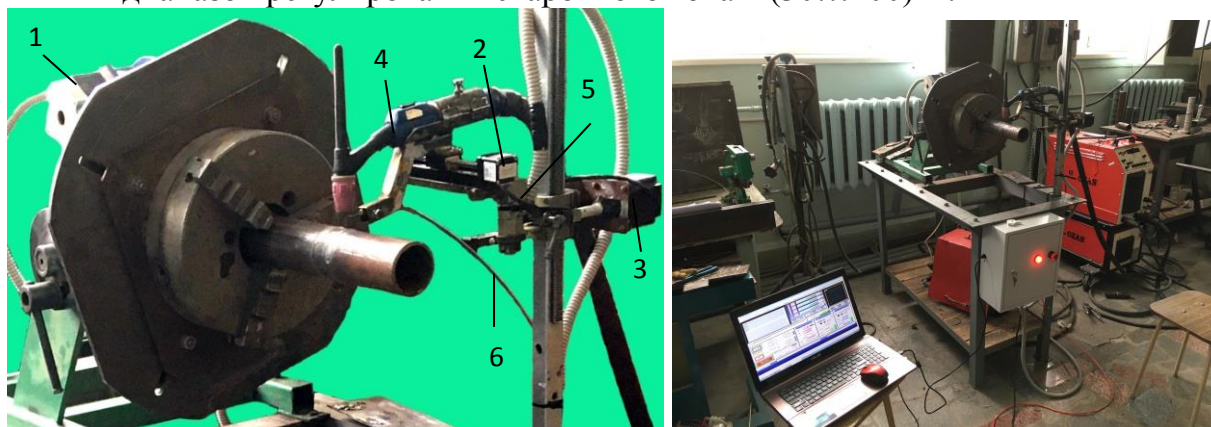


Рисунок 1 - Внешний вид установки автоматической сварки тел вращения

Для аргодуговой сварки необходимо введение присадочного материала в зону действия дуги, возбуждаемой между неплавящимся вольфрамовым электродом и изделием. Таким образом, оплавление сварочной проволоки происходит косвенным нагревом и от способа ее введения может определяться качество сварного шва. Способов введения сварочной проволоки много: перед дугой, после дуги, под различным углом к оси электрода, с постоянной скоростью и импульсно. Последний способ наиболее эффективен, так как позволяет сбрасывать расплавленную каплю с торца проволоки в сварочную ванну.

Разработанное устройство для подачи сварочной проволоки (рис. 2) размещено в металлическом корпусе и имеет следующие блоки и элементы: блок питания (а); катушка с проволокой (б); электродвигатель постоянного тока (в); привод (г); управляющая схема (д)



Рисунок 2 - Общий вид, состав и интерфейс устройства подачи проволоки

Устройство снабжено (рис. 3) жидкокристаллическим экраном (1), кнопкой выбора параметров настройки (2), клавишей запуска программы «Режим работа» (3), кнопкой запуска режима наладки (4), индикаторной лампочкой (5). Кнопка 2 имеет два функционала: при нажатии можно выбрать необходимый режим, а при вращении задать значение параметра.

Перед наладкой необходимо убедиться, что устройство не находится в режиме работы, клавиша 3 включена в положение «Наладка» и на экране 1 отображен символ «СТОП».



При нажатии кнопки 4 на дисплее 1 появляется надпись «Наладка», свидетельствующая началу режима ввода или корректировки параметров. Настройка режима сопровождается пульсацией индикаторной лампочки 5 желтым цветом.

При нажатии кнопки 2 появляется возможность выбора параметра работы подающего устройства в установленной последовательности (при вращении кнопки 2 по часовой стрелке): задержка, пр. импульс, об. импульс, макс. ток, мин. ток, ном. напр., макс. напр., пр. импульс, об. импульс, реверс, фронт, режим.

При повторном нажатии кнопки 2 становятся доступные параметры режима (значение устанавливается поворотом кнопки 2).

Параметр «задержка» необходим для импульсной подачи проволоки.

Прямой и обратный импульс в меню отображаются дважды, так как характеризуется как по величине (скорости подачи проволоки), так и времени.

Параметры «Максимальный и минимальный ток»

Параметры «Номинальное и максимальное напряжение»

Параметр «Реверс»

Параметр «Фронт»

Параметр выбирается как непрерывный, так и импульсный.

После выбора необходимого режима нажатие кнопки 4 приводит установку в готовность. Индикаторная лампочка выключается. Подающее устройство приводится в действие переводом клавиши 3 в положение «работа». В этом режиме индикаторная лампочка пульсирует зеленым цветом. На жидкокристаллическом экране появляется индикация режима «Работа» и установленные параметры.



При возникновении в ходе работы аварийной ситуации индикаторная лампочка пульсирует красным цветом.

Устройство позволяет управлять движением сварочной проволоки тремя видами: непрерывная подача, подача импульсами (прямолинейная с задержкой и возвратно-поступательная).

Скорость подачи во всех видах регулируется напряжением, подающимся на обмотку двигателя. Напряжение выбирается в % от номинального, выдаваемого источником питания. Такой подход позволяет адаптировать устройство для работы с различными источниками питания, либо подающими устройствами. В устройстве предусмотрен фронт нарастания напряжения для стабильной работы двигателя (рис. 3).

Система управления подачей сварочной проволоки обеспечивает подачу проволоки по различным алгоритмам. Система позволяет регулировать: длительность прямого хода (t1), длительность обратного хода (t2), скорость подачи

в прямом направлении ($V1$), скорость подачи в обратном направлении ($V2$). При этом скорость $V2$ может быть любого знака, то есть система может подавать проволоку с реверсом и без реверса. Также регулируется длительность паузы (t_p) и ускорение/замедление (a).

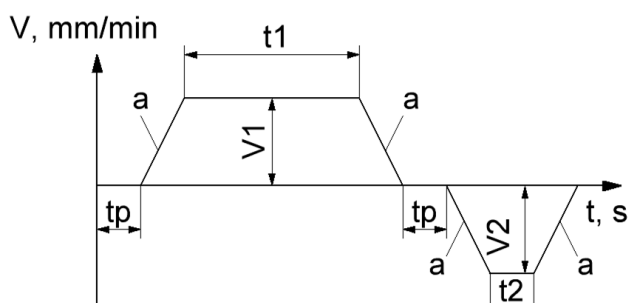


Рисунок 3 -Циклограмма работы устройства подачи сварочной проволоки

В конструкцию установки входит сварочный вращатель, штатно снабженный двигателем постоянного тока препятствующий возможности возвратно-поступательного движения и безынерционного точного управления.

В ходе модернизации проделаны следующие работы:

- заменен штатный электропривод постоянного тока на шаговый, спроектирован и изготовлен переходник для адаптации двигателя (рис. 4);
- разработана электрическая схема блока управления вращателем (рис. 5);
- разработана печатная плата блока управления сварочным вращателем.

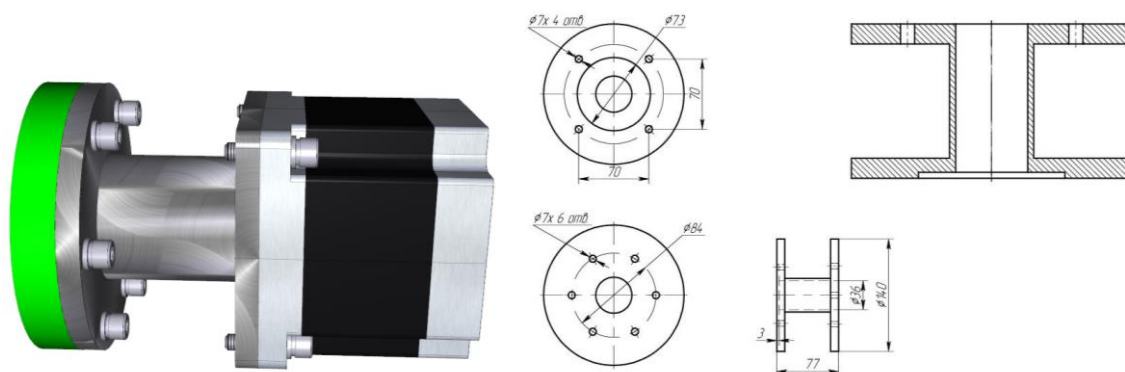


Рисунок 4 - Шаговый электродвигатель с переходником

Схема управления сварочной установкой (рис. 6) состоит из платы управления 2. Эта плата получает сигналы управления по USB-интерфейсу от персонального компьютера 1 или от автономного блока управления, совместимого с системой Mach-3. Информация о выходе сварочного сопла за допустимые пределы фиксируется датчиками 3. Датчики аварийных событий 4 сигнализируют о необходимости остановки. Датчики положения сварочной горелки 5 показывают место положения сварочной горелки относительно сварочного шва. Плата управления 2 выдаёт сигналы управления на драйверы шаговых моторов 6, 7, 8 в виде команд «Шаг» и «Направление». Драйверы управляют вращением шаговых электродвигателей приводов 11, 12, 13. Для управления источником сварочного тока 14 применяется плата управления 9. Плата получает команды «Включить/выключить ток» и ШИМ сигнал величины тока. Плата преобразует сигналы в цифровой сигнал «Включить/Отключить ток», «Включить/Отключить режим Minilog», и в аналоговый сигнал потенциометра. Управление подачей сварочной проволоки осуществляется платой управления 10 с собственными

органами управления режимами. Для синхронизации работы плата принимает сигнала «Старт/Стоп». Плата управляет мотором постоянного тока механизма подачи сварочной проволоки 15.

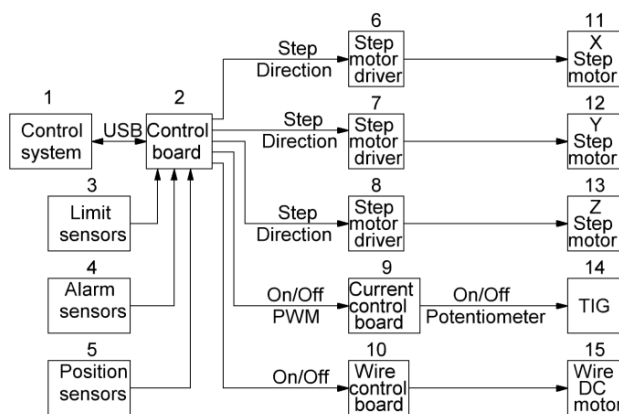
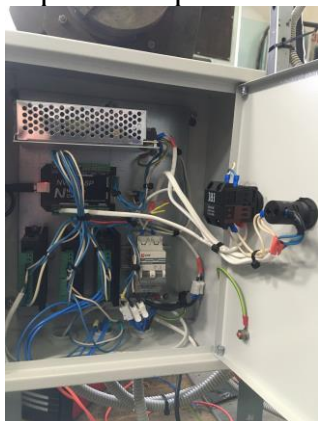


Рисунок 5 - Внешний вид шкафа управления (а) и функциональная схема блока управления (б) установкой автоматической сварки

Схема управления источником сварочного тока (рис. 6) гальванически изолирует сигнал управления «On/Off» с помощью оптопары U1 и транзисторного ключа SW1. Формирование аналогового сигнала управления током осуществляется схемой на переключаемом конденсаторе. Схема содержит гальваническую развязку U2, двухпозиционный ключ SW2, SW3 и переключаемый конденсатор в виде фильтра нижних частот Z1.

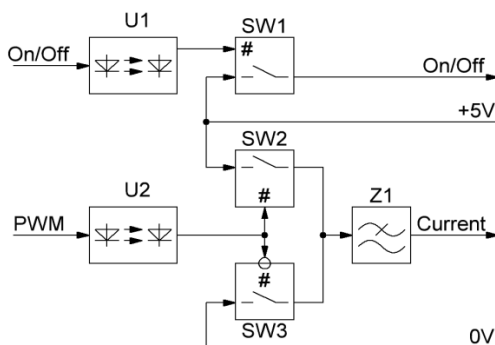


Рисунок 6 -Схема блока управления источником сварочного тока

Приложение позволяет выполнять сварку с любой траекторией перемещения сварочной горелки, рекомендованной для сварщиков. Интерфейс разрабатываемого приложения и траектории, возможные для выполнения приведены на рис. 7.

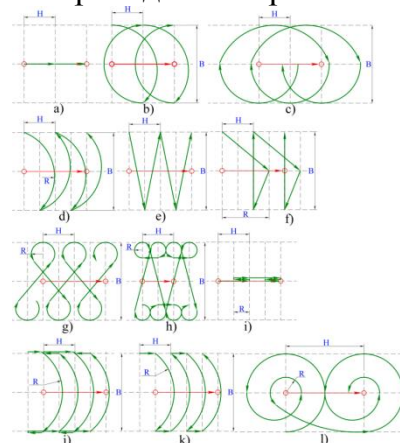
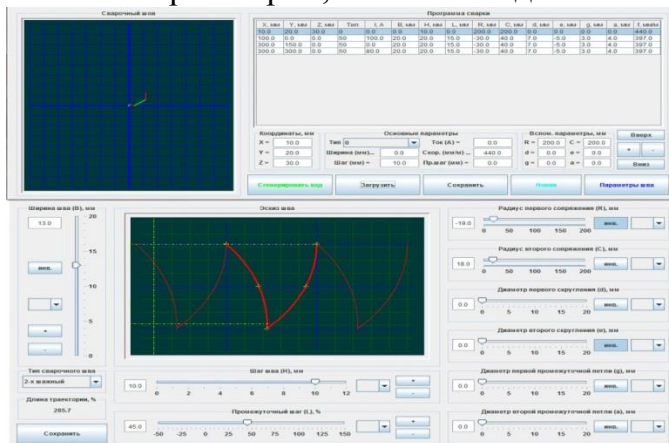


Рисунок 7 Интерфейс разрабатываемого приложения и схемы движения сварочного сопла под управлением G-кодов

В третьей главе представлены результаты апробации работы устройства. Сварку образцов выполняли на разработанной установке. В качестве образцов использовали два патрубка из хромоникелевой нержавеющей стали 12X18H10T диаметром 57 мм толщиной 3 мм, длиной 100 мм. В качестве источника питания используется сварочный аппарат Kemppi MinarcTig Evo 200 и горелка КЕМППИ ТТС 220 4М. Защитный газ – аргон высшего сорта по ГОСТ 10157-2016. Диаметр вольфрамового электрода WC20 - 2 мм. Присадочная проволока Св04Х19Н9 (ER 308 LSi), диаметром 0,8 мм. Тип соединения С17 по ГОСТ 16037-80. Расположение оси вольфрамового электрода горелки перпендикулярное к оси шва. Сварка односторонняя, двухпроходная в нижнем положении. Дуговой зазор 2,5-3,0 мм. Корневой валик осуществляется без колебательных движений, а облицовочный с наложением поперечных колебательных движений горелки с импульсной подачей проволоки. Для управления сварочным процессом используется ноутбук с программой Mach 3. Для сварки рассматриваемых образцов использовались программы, соответствующие G-коды

Визуально-измерительный контроль проводили по РД03-606-03 с использованием универсального шаблона сварщика УШС-3 с целью определения соответствия размеров шва требованиям ГОСТ 16037-80 соединению С17, наличия внешних дефектов, регламентированных СТ ЦКБА 025-2006 и ГОСТ 32569-2013.

Испытания на статическое растяжение выполняли на универсальной испытательной машине INSTRON 3382 на образцах типа XII по ГОСТ 6996 – 66 с построением диаграммы растяжения. Размер образцов: длина – 125 мм и толщина 3 мм, рабочая область 50 мм (рис. 3.4). Усиление шва с образцов снято. При проведении испытаний на растяжение образцов из нержавеющей стали 12X18H10T, определялись следующие механические характеристики: предел прочности (σ_b , МПа), относительное удлинение (δ , %) и сужение (ψ , %), модуль упругости на растяжение (E, ГПа). Скорость нагружения составляла 2 мм/мин. Испытания на ударный изгиб проводили на маятниковом копере JB-W300, используя образцы с наличием усиления. На удар использовались два образца с размерами: длина 125 мм, ширина 13 мм и толщина 3 мм. Исследование микроструктуры поперечного сечения шва (рис. 3.6) требует пробоподготовку, которую проводили на шлифовально-полировальном станке марки EcoMet 250 с полуавтоматической насадкой AutoMet 250. Химическое травление образцов производили в растворе: глицерин – 4 части, соляная кислота – 4 части, азотная кислота – 3 части, подбор времени травления от 1 до 5 мин. Исследование микроструктуры осуществляли на металлографическом микроскопе Nikon MA200, используя для объемного просмотра кратность 100, а для частичного исследования конкретных зон сварного шва кратность 400. Измерение микротвердости проводили на микротвердомере Shimadzu HNV-2T на образцах для микроструктурного исследования, с проставлением точек в интервале 200 мкм по средней линии образца, захватывая области основного металла, ЗТВ и металла шва. Нагрузка 245,2 мН (или же по шкале твердости Виккерса HV0,025) с временем выдержки в 10 секунд. Полученные значения микротвердости перенесли на график в программе Excel.

Фрактография изломов образцов после растяжения проводилась на растровом электронном микроскопе Hitachi S-3400N. Для проведения фрактографии образцы подвергали очистке спиртом в ультразвуковой ванне BST-200.

После образования неразъемного соединения произведена визуальная оценка. Отклонений не обнаружено.

Относительное удлинение образцов 1 и 2 после испытания на статическое растяжение составило 10 мм (8%) и 25 мм (20%) соответственно. Разрыв образца 1 произошёл по сварному шву, соседствующему с губками, образца № 2 произошёл по основному металлу. Работа удара была равна для первого образца 80 Дж, для второго – 81 Дж. Ударная вязкость образцов 1 и 2 составила 4,87 Дж/см², 4,65 Дж/см² угол загиба – 60° и 61° соответственно.

Исследования микроструктуры металла полученного сварного соединения образцов 1 и 2 (рис. 8) характерны для двухпроходного одностороннего шва, выполненного при совмещении поперечного колебания сварочной горелкой и линейного перемещения сварочной ванны. При этом наблюдается эффект самоотпуска металла шва, существенное уменьшение ЗТВ в области удаленной от точки ввода тепла и отсутствие в ней дендритной структуры. В структуре замкового захода сварочной дугой наблюдается два валика в облицовочном слое шва.



Рисунок 8 – Микроструктура сварного соединения образца 1 и 2

Изменение микротвердости по поперечному сечению образцов 1 и 2 представлены на рис. 9. В образце 1 снижение микротвердости слева характерно зоне самоотпуска и рекристаллизации области шва, удаленной от зоны действия дуги. Вместе с тем в левой части шва наблюдается увеличение микротвердости, характерной дендритной структуре металла. Аналогичные области можно выделить и в распределении микротвердости в металле образца 2.

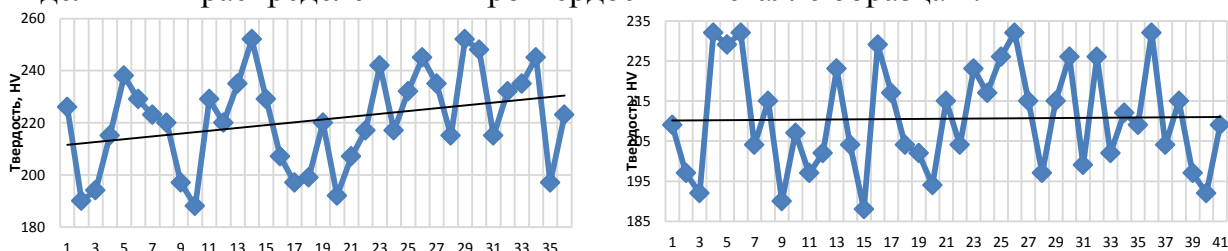


Рисунок 9 – Микротвердость сварного соединения образца 1 2

Фрактография излома после разрушения образца 1 (рис. 10) демонстрирует смешанный характер излома, видны участки как вязкого разрушения, характеризующегося ямками, так и хрупкого, в котором наблюдаются гладкие поверхности с артефактами зарождающихся микропор.

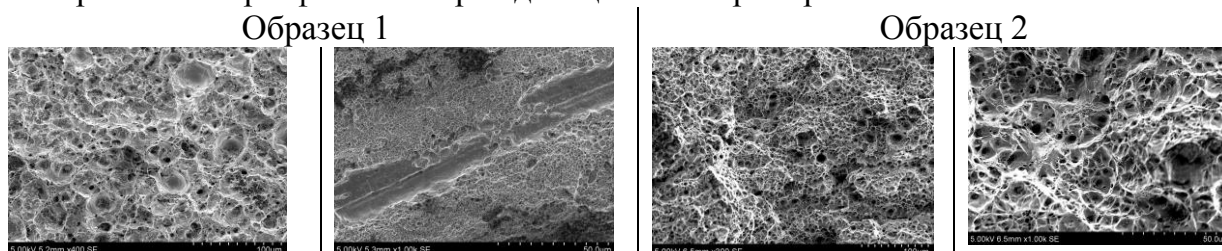


Рисунок 10 – Фрактограммы излома образцов

Ямочный рисунок излома образца 2 после проведения испытаний на статическое растяжение при комнатной температуре характерен для вязкого разрушения.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ литературы показывает, что микроструктура материала отражает все кинетические процессы кристаллизации, полиморфных и структурных превращений при производстве самого материала, технологии обработки изделия и его эксплуатации. Микроструктура количественно и качественно оценивается набором показателей, отражающих разную степень чувствительности к структурным изменениям.

2. Обеспечение существующих сварочных комплексов под управлением систем с ЧПУ программным обеспечением, позволяющим управлять как траекторией сварочной горелки, так и регулировать тепловложение, практически в каждой точке траектории горелки, является важной научной и практической задачей.

3. В процессе работы спроектирована и изготовлена установка автоматической дуговой TIG сварки тел вращения с программным управлением траекторией сварочной горелки, подачей сварочной проволоки (в том числе и импульсной), режимами сварки.

4. Разработана программа-приложение, генерирующая управляющие G-коды в зависимости от выбранной траектории движения сварочной горелки и дающая возможность дозированного введения тепловой энергии практически в каждой точке траектории.

5. Проведенная апробация работы установки показывает ее готовность к выполнению полномасштабных исследований по осцилляции как перемещением сварочной горелкой, проволокой так и энергетическими параметрами сварки. Полученные сварные соединения в полной мере удовлетворяют ГОСТ 16037-80 по размерам, СТ ЦКБА 025-2006 и ГОСТ 32569-2013 по механическим свойствам и микроструктуре.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Заявка на краевой конкурс предоставление грантов в форме субсидий из краевого бюджета на реализацию в 2021 году проектов в области научных исследований в направлении естественных и технических наук и на поддержку функционирования центров коллективного пользования научно-технологическим оборудованием, экспериментального производства и инжиниринга проекта на тему «Разработка программного комплекса управления осцилляцией при автоматической сварке/наплавке ответственных конструкций»

2. Отчет о научно-исследовательской работе в соответствии с СТО Н.002- 2018 «Положение о выполнении научно-исследовательских работ за счёт средств ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» «Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочного/наплавочного валика (в том числе и в применении аддитивных технологий) на установке автоматической сварки в защитных газах» Приказ 170-О от 04.06.2020 г.