

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Технология сварки в защитном газе проволокой сплошного
сечения с управляемым горением дуги»

Студент

Д.Х. Сташко
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.э.н., доцент Н.В. Зубкова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Аннотация

Представляется новый способ сварки плавящимся электродом в среде чистого аргона двумя источниками. Технология используется при автоматической сварке, но может быть применён при ручной дуговой. Из-за уменьшения количества кислорода в металле шва ударная вязкость и другие механические свойства не отличаются от механических свойства основного металла. Причины улучшения обсуждаются.

Способ измерения поверхностной температуры капель расплавленного металла в сварочной дуге представляется. Стоимость сварки плавящимся электродом в среде чистого аргона двумя источниками не сильно отличается от стоимости сварки неплавящимся электродом.

Выполнен анализ негативных производственных факторов, возникающих при реализации предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений и предложены меры защиты от них.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет плюс 24 тысяч рублей для данного примера. Экономический эффект реализуется через 1,7 года. Есть экономия при вооружении нового цеха.

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы объёмом 83 страницы включает в себя 43 рисунка, 22 таблицы, 25 литературных источников.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса: обсуждение проблемы сварки плавящимся электродом высокопрочных стальных конструкций и хладостойкой стали.	7
1.1 Пример проблемы: изготовление газификатора криогенной жидкости метана	8
1.2 Материал изделия	10
1.3 Настоящая технология сварки	13
1.3.1 Требования к сварочным материалам.....	13
1.3.2 Требование к аргону	14
1.3.3 Резка деталей и подготовка торцов.....	14
1.3.4 Спецификация сварных соединений.....	15
1.3.5 Требования к сборке	16
1.3.6 Требования к прихватке	17
1.3.7 Требования к сварке	17
1.3.8 Требования к термической обработке	19
1.3.9 Требования к контролю качества	19
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.....	20
2 Обзор литературы текущего исследования	22
2.1 Обзор работы исследовательской группы Уэзоно	22
2.2 Обзор работы исследовательской группы Накамура	24
2.3 Обзор работы исследовательской группы Канемару	25
2.4 Обзор работы исследовательской группы Зенитани.....	27
2.5 Обзор работы исследовательской группы Танака	28
2.6 Обзор работы исследовательской группы Катаяма.....	30
2.7 Итог обзора	32
3 Обзор техники измерения температуры металла двумя цветами.	33
3.1 Теория.....	33
3.2 Экспериментальная процедура.....	35

3.3 Калибровка.....	38
3.4 Смета погрешности.....	38
4 Описание процесса и оборудования сварки плавящимся электродом двумя источниками питания, результаты и выводы.....	39
4.1 Описание сварочного оборудования.....	39
4.2 Описание измерительных аппаратов	41
4.2.1 Наблюдение дуги	41
4.2.2 Измерение волны напряжения и тока.....	42
4.2.3 Измерение количество теплоты в капель	42
4.3 Виды экспериментов выполнили	43
4.3.1 Сварки валика на плату	44
4.3.2 Наблюдение дуги	45
4.3.3 Измерение поверхностной температуры капель	45
4.3.4 Измерение количества теплоты капель	45
4.3.5 Многослойный шов: практические результаты.....	46
4.4 Результаты экспериментов.....	47
4.4.1 Сварка валика на плату	46
4.4.2 Измерение поверхностной температуры капель	50
4.4.3 Наблюдение дуги	51
4.4.4 Измерение количества теплоты капель	53
4.4.5 Практические результаты сварки многослойного шва.....	54
4.5 Общие результаты экспериментального исследования.....	56
5 Безопасность и экологичность работы: выявить вредные и опасные факторы при сварке плавящимся электродом из одного источника питания и из двух источников питания	56
5.1 Идентификация профессиональных рисков.....	57
5.2 Методы и средства снижения профессиональных рисков	59
5.3 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	60
5.4 Обеспечение экологической безопасности технического объекта....	62
6 Расчет экономической эффективности работы.....	64

6.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений	64
6.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	66
6.3 Расчёт штучного времени	67
6.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	69
6.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии	72
6.6 Показатели экономической эффективности.....	75
Заключение.	78
Список используемой литературы и используемых источников.....	79

Введение

Сварку непокрытым плавящимся электродом невозможно производить в среде чистого аргона из-за возникновения неустойчивости горения дуги. Дуга бродит, вызывая извилистость сварного валика. Температура расплавленной капли сравнительно невысока, из-за этого поверхностное натяжение высоко. Высокое поверхностное натяжение даёт выпуклый валик с неглубоким проплавлением.

Для обыкновенной стали можно обойти эти недостатки путём добавления кислорода или углекислого газа.

Таким способом получается хороший результат без значительного снижения механических характеристик сварного шва. Но с добавлением кислорода или углекислого газа механические характеристики хладостойкой стали и высокопрочной стали снижаются из-за включения кислорода в металл. Хорошие соединения таких сталей требует малопродуктивную сварку неплавящимся электродом.

Таким образом, выбранная **тема** выпускной квалификационной работы «Технология сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения с управляемым горением дуги» актуальна и имеет промышленное значение.

Кроме того, актуальной является **цель** выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки высокопрочной стали и хладостойкой стали.

Объект исследования: улучшение сварки в промышленных условиях нержавеющей стали марки 08X18H10T.

Предмет исследования: процесс сварки полуавтоматом плавящимся электродом в среде чистого аргона.

1 Состояние вопроса: обсуждение проблемы сварки плавящимся электродом высокопрочных стальных конструкций из хладостойкой стали

Дуговая сварка плавящимся электродом производится в среде инертного газа, обеспечивающего защиту сварочной ванны вытеснением воздуха из зоны горения дуги [4]. В отличие от других способов сварки, инертный защитный газ не вступает в химическое взаимодействие с расплавленным металлом. Из-за повсеместности и дешевизны аргон широко используется в этой роли.

Чтобы производить такой способ сварки, используют полуавтоматы и автоматы. Производительность полуавтоматической сварки плавящимся электродом выше, чем процесс сварки неплавящимся электродом, поэтому сварка плавящимся электродом используется широко как в цехе, так и на месте. Тем не менее, механические характеристики сварочного соединения при выполнении данного способа высоки так же, как и при способе неплавящимся электродом.

Однако сварку плавящимся электродом нельзя выполнять в среде одного аргона из-за возникновения неустойчивости горения дуги. Можно стабилизировать отрыв капли наложением импульсов на основной сварочный ток [4]. «При сварке сталей импульсные источники используются реже, так как увеличивают стоимость полуавтомата» [4, с. 132]. Однако, «ряд алгоритмов управления переносом электродного металла с заданными параметрами предложен российскими исследователями» [5], было много попыток введения импульсного тока [3].

Но также можно стабилизировать горение дуги добавлением углекислого газа или кислорода. Однако при сварке высокопрочной стали или хладостойкой стали при добавлении активного газа ударная вязкость снижается. (Тут авторы исследования словосочетанием «высокопрочной стали» подразумевают стали класса прочности больше 950 МПа [12].) При

использовании окисляющих газов, именно двуокиси углерода или кислорода, невозможно избежать окисления поверхности шва и повышенной концентрации кислорода в сварном шве, что уменьшает прочность сварного соединения [19]. В целях высокой эффективности и высокого качества технология сварки плавящимся электродом в среде чистого аргона должна усовершенствоваться.

Нестабильность горения дуги возникает от неправильного движения катодного пятна [19], которое вызывает извилистость сварного шва [20]. Также валик формируется выпуклым, который авторы связывают к высокому поверхностному натяжению металла шва [20].

В случае многослойной сварки в среде чистого инертного газа возникает плохое сплавление между проходами из-за неустойчивости дуги. Чтобы предотвратить это, нужно шлифовать шов между проходами для удаления дефектов. Это является дополнительным шагом работы, который снижает производительности [20].

1.1 Пример проблемы: изготовление газификатора криогенной жидкости метана

Предоставляется в качестве проблемы газификатор (испаритель) сжиженного метана, представленный на рисунке 1, от которого получается газообразный метан. Газификатор, вид теплообменника, добавляет скрытую теплоту газообразования в жидкость, чтобы жидкость превращалась в газ. Такой процесс происходит при температуре фазового перехода, равной минус 161 °C [8, с. 464] в случае жидкого метана, газифицируемого при атмосферном давлении. Газификатор рёбрами воспринимает теплоту из окружающей среды.

Рассматриваемый газификатор включает в себя 70 сварных швов, которые могут достичь криогенных температур, то есть, меньше минус 40 °C. Именно: 34 сварных шва «труба-труба», 4 «труба-фланец», 16 «труба-ребро»,

8 «ребро-профиль», 4 «труба-заглушка», 4 «профиль-плита». Электрошлаковая сварка, которую можно выгодно применить для изготовления криогенных баков, не выгодно использовать в этом случае, так как все швы маленького размера.

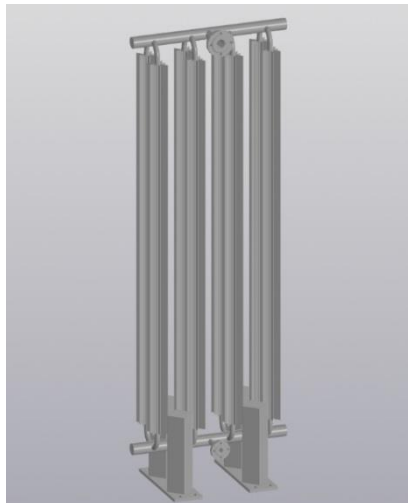


Рисунок 1 – Газификатор, диметрическая проекция

Преимуществом труб, в качестве поверхности, через которую производится теплопередача, над расширительным баком является значительная поверхность теплообмена. Газификаторы берут теплоту из окружающей среды без принудительной конвекции, поэтому трубы сравнительно маленькие и покрыты рёбрами. Вертикальные рёбра позволяют конденсирующейся на поверхности газификатора влаге отваливаться. Большое количество труб, которые шире входной трубы, позволяет жидкости в теплообменнике спокойно кипеть, а поднимающийся туман разделить на газ и жидкость. Трубы высоки, чтобы дальше осуществлять разделение и окончательную газификацию мелких капель, движущихся с потоком газа.

В числе недостатков газификатора этого вида можно выделить: 1) накопление устойчивого льда вызывает увеличение требуемой поверхности теплопередачи, 2) большие габаритные размеры и металлоёмкость, 3) высокая стоимость производства из-за малой серийности и, следовательно, ручной сварки неплавящимся электродом.

Характеристики рассматриваемого газификатора, представленного на

рисунке 2, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики рассматриваемого газификатора

Характеристика	Значение	Единицы
Внешний диаметр трубы	28	Мм
Толщина стенки	1,5	Мм
Площадь теплообменника по внутренней поверхности	1,225	м ²
Площадь теплообменника по внешней поверхности	9,811	м ²
Испаряемая среда	метан	
Источник теплоты	окружающий воздух	
Рабочее давление, избыточное	0 – 100	кПа
Длина трубы в элементе	2000	мм
Количество элементов	8	
Сухая масса	153	кг
Масса, при наполнении жидким метаном	159	кг
Материалы деталей аппарата	08X18H10T	
Норм	ГОСТ 32569-2013	
Примечание - ГОСТ 32569-2013 применяется с исключением пункта 6.4.3		

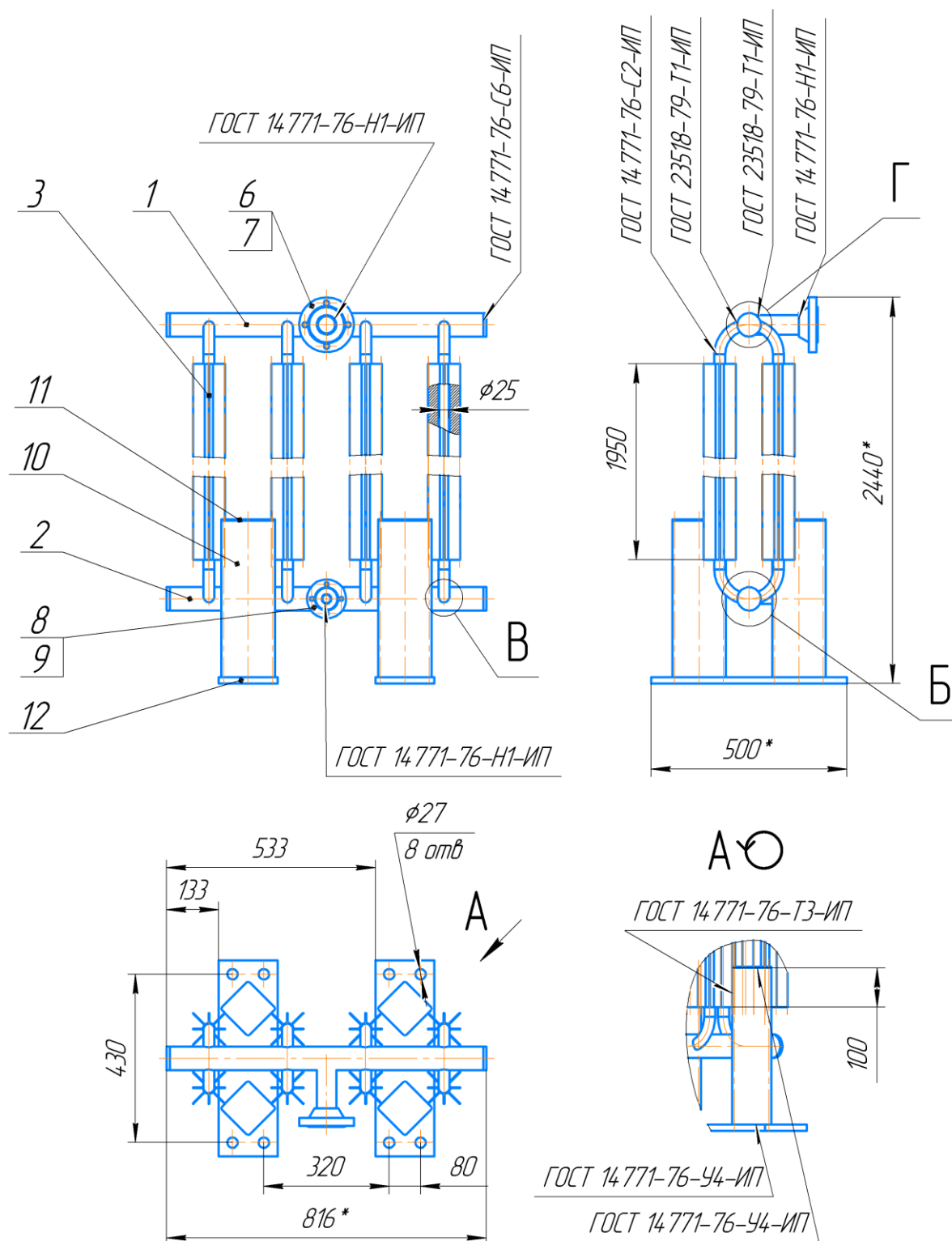
1.2 Материал изделия

Практически вся сталь испарителя может испытывать криогенные температуры, то есть, меньше минус 40 °С. Поэтому весь газификатор выполняется из стали 08X18H10T. Можно также использовать сталь марки 08X18H10, но при изготовлении «из 08X18H10 требует термической обработки во избежание недопустимого при криогенных температурах снижения пластичности и ударной вязкости» [10], поэтому выбирается сталь 08X18H10T, химический состав которой введён в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав стали 08X18H10T (ГОСТ 5632-2014)

С	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	S	P
< 0,08	< 0,08	< 2,0	17,0 – 19,0	9,0 – 11,0	0,5 – 0,7	Основа	< 0,02	< 0,04
Примечание – Все значения в процентных долях массы.								

Сталь 08X18H10T высоколегированная, коррозионностойкая. Вообще сталь 08X18H10T применяется для изготовления оборудования, работающего в контакте с агрессивными средами в химической промышленности и других



1, 2 – верхний и нижний коллекторы; 3 – элемент теплообменника, труба и рёбра;
 6, 7 – выходные труба и фланец; 8, 9 – входные труба и фланец; 10, 11, 12 – ножки из
 профиля, верхней плитки и упорной плитки

Рисунок 2 – Конструкция рассматриваемого испарителя (Выносные виды «Б», «В» и «Г» приведены в рисунках 3 и 4)

отраслях техники. Сталь марки 08X18H10T аустенитного класса, который является наиболее важным классом коррозионностойких сталей [8]. Преимущество аустенитного класса – сочетание коррозионностойкости с высокой пластичностью и высокой вязкостью. Сталь хорошо сваривается.

Допускается эксплуатация изделий из этой стали при температурах от минус 269 °С до плюс 600 °С без ограничения давления [10].

К недостаткам аустенитных сталей относятся склонность к межкристаллитной коррозии, коррозионному растрескиванию и точечной коррозии [8]. Зато при эксплуатации газификатор не применяется среда, вызывающая коррозию.

Сварочное соединение изделий из стали 08X18H10T могут выполняться с применением различных видов сварки, в том числе ручная дуговая сварка (РДС), автоматическая дуговая сварка (АДС) под флюсом и газовой защитой, аргонодуговая сварка (АрДС), контактная точечная сварка (КТС), и электрошлаковая сварка (ЭШС).

Ручную дуговую сварку криогенного изделия из стали 08X18H10T выполняют электродом Э-04X20Н9 (ОЗЛ-14А). Рекомендуется использовать и электроды Э-08X20Н9Г2Б (ЦЛ-11) [10]. Ударная вязкость шва при температуре металла –196 °С, сваренного электродами, равна 0,55 МДж/м² [10]. Ручная дуговая сварка менее производительна, чем полуавтоматическая.

Присадка из тождественного материала, 08X18H10T. Поэтому при АДС под флюсом применяют флюс АН-26 с присадкой 08X18H10T [10].

В полуавтомате присадкой является тонкая проволока. Однако проволоки марки Св-08X18H10T нет по ГОСТ 2246-70. Можно использовать проволоку марки Св-06X19H10T.

Контактную точечную сварку можно применять, чтобы приварить рёбра на трубу. Однако, влага может проникнуть пространство между точками сварки.

Циклы замораживания и оттаивания могут оторвать рёбра. Поэтому КТС не применяется.

Электрошлаковая сварка больше подходит для длинных швов в открытых пространствах. Сложность применения ЭШС в этом случае вызывает её исключение.

Ответственные соединения малосерийного производства часто выполняют неплавящимся вольфрамовым электродом. Ударная вязкость шва при температуре минус 196 °С, сваренного неплавящимся электродом, равна 1,00 Дж/м² [10].

Это значение значительно больше, чем вышеупомянутая ударная вязкость, полученная при использовании ручной дуговой сварка покрытым электродом. Однако, сварка неплавящимся электродом менее производительный, чем любой способ.

1.3 Настоящая технология сварки

Выбранный способ соединить детали газификатора – полуавтоматическая сварка плавящимся электродом под защитным газом двумя источниками питания.

1.3.1 Требования к сварочным материалам

Плавящимся электродом при полуавтоматической сварке является проволока. Выбрана проволока марки Св-06Х19Н9Т ГОСТ 2246-70, химический состав которой приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав проволоки марки Св-06Х19Н9Т (ГОСТ 2246-70)

С	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	S	P
< 0,08	0,4 – 1,0	1,0 – 2,0	18,0 – 20,0	8,0 – 10,0	0,5 – 1,0	Основа	< 0,015	< 0,03
Примечание - Все значения в процентных долях массы.								

Сварочная проволока сплошного сечения должна храниться в условиях, исключающих её загрязнение или коррозию [6]. Перед

употреблением проволока должна быть проконтролирована путём внешнего осмотра.

В газификаторе толщины стенок варьируются от 1,0 мм до 3,0 мм. Поэтому выбирается проволока диаметром 0,8 мм. Параметры режима сварки приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения параметров режима сварки

Наименование параметра	Значение параметра
Диаметр проволоки	0,8 мм
Род, полярность тока	Постоянный ток обратной полярности
Количество слоёв	1 – 3
Сила сварочного тока, для всех положений	Первичный ток: 70 – 85 А, вторичный: 50 А
Скорость подачи проволоки	3 – 5 м / мин
Примечание - Сила тока определена предварительно, так как этот способ сварки с двумя источниками рассматривается впервые.	

1.3.2 Требование к аргону

По ГОСТ 32569-2013 газ аргон либо высшего, либо первого сорта, который содержит не менее 99,987 % аргона, можно использовать для сварки нержавеющей стали криогенного оборудования. Спецификация подходящего аргона по ГОСТ 10157-2016.

Аргон для сварки разрешается хранить в баллонах на открытой огражденной площадке под навесом [6].

1.3.3 Резка деталей и подготовка торцов

Перед сборкой под сварку ответственное лицо должно проверить на деталях маркировку, клейма, сертификаты завода-изготовителя. Детали без маркировки, клеймения, сертификата не допускаются в производство.

Обеспечивается минимальное количество отходов и максимальное использование материала при разметке. Тем не менее при разметке

технологический припуск, который зависит от марки материала, операции обработки и размеров заготовок, учитывается.

Перпендикулярность торцов труб относительно их оси должна быть меньше 0,5 мм [2].

Подрезка труб и подготовка кромок выполняется механическим способом. Можно использовать плазменную или воздушно-дуговую резку с последующей обработкой кромки труб наждачным INOX кругом. Толщина удаленного материала не менее 0,5 мм.

Необходимо зачистить до металлического блеска участки поверхности труб на расстояние не менее 20 мм с наружной стороны трубы, и не менее 10 мм с внутренней. Обезжировать при необходимости. Детали с заусенцами, вырывами, острыми углами и резкими переходами не допускается.

1.3.4 Спецификация сварных соединений

Гнутые трубы с прямыми трубами обменивающих теплоту элементов соединяются стыковым швом. Толщина стенок обеих труб этого соединения 1,5 мм.

По ГОСТ 14771-76 при способах сварки ИНп (в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом) и ИП (в инертных газах и их смесях с углекислом газом и кислородом плавящимся электродом) можно использовать С1-6 и С28, чтобы соединить детали с толщиной стенки меньше 3,0 мм. В данном случае нет отбортовки кромок (С1, С28, С3), и нет подкладки (С4, С5, С6). Принимается решение использовать сварной шов С2 без скоса кромок.

Соединения гнутых труб с трубами коллекторов – тавровое соединение под углом. Выбирается соединение Т1 по ГОСТ 23518-79 из сравнительно небольшой стенки. Угол β дважды достигает максимума, которые показаны на выносном элементе «Б» на рисунке 3, и одного минимума, показанного на выносном элементе «В». Так как минимум нарушает условие соединения Т1

$175^\circ < \beta < 91^\circ$ только в маленькой области, можно применить шов Т1 ГОСТ 23518-79. Подобным образом показан максимальный угол β соединения выходной трубы с коллекторной трубой на выносном элементе «Г» на рисунке 4.

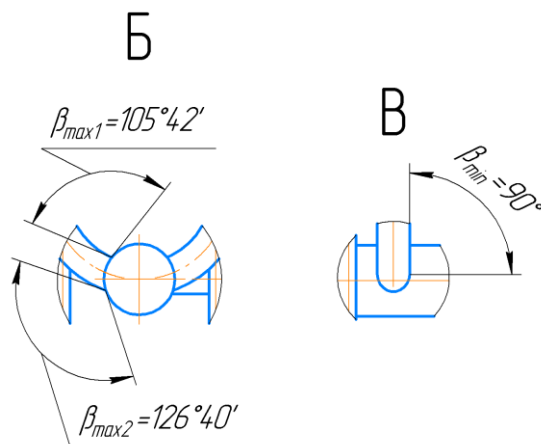


Рисунок 3 – Выносные элементы «Б» и «В», определяющие минимальное и максимальные значения угла β соединения гнутой трубы с коллектором (см. рисунок 2)

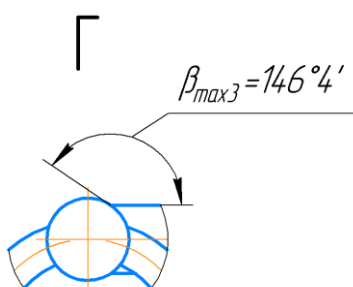


Рисунок 4 – Выносной элемент «Г», определяющий максимальное значение угла β соединения коллектора с выходной трубой; подобно выносному элементу «В», минимальное значение этого угла равно 90° (см. рисунок 2)

Диаметр входной трубы меньше, чем диаметр выходной трубы, следовательно проверку можно не производить. Кромки не скашивать.

Остальные соединения определяются подобным способом.

1.3.5 Требования к сборке

Необходимо использовать верстаки и сборочные стенды и приспособления при сборке газификатора. Приспособления обеспечивают

расположение деталей с заданной точностью. Необходимо избегать принудительный силовой подгонки деталей, так как это может вызывать наклёп и напряжение.

Центровка труб, показанная по осям на рисунка 2, должна быть соблюдена. При стыковке труб под сварку смещение их осей не должно превышать 0,45 мм [2, пункт 12.1.23].

У собранных газификаторов отклонение от параллельности между коллекторами, которое измеряется вдоль их длины коллекторов (800 мм), не должно быть больше $\pm 1,0$ мм.

1.3.6 Требования к прихватке

Сварочная работа, в том числе прихватка, должна проводиться при температуре окружающего воздуха не ниже 0 °С, чтобы минимизировать конденсации влага на поверхности, и минимизировать введение водорода в металл шва.

При стыковке труб под сварку делают две прихватки длиной от 4 до 6 мм. Шлак удаляется, а прихватки проверяются на отсутствие пор и трещин. Требования к прихватке такие же как к основному шву. При обнаружении дефектов прихватки полностью удаляют и переваривают.

При тавровом соединении труб под сварку ставят две прихватки длиной от 4 до 6 мм. Шлак удаляется, а прихватки проверяются на отсутствие пор и трещин. При обнаружении дефектов прихватки полностью удаляют, и прихватки переваривают.

Прихватка должна выполняться сварщиками, имеющими квалификацию, требуемую для сварки данных швов [7, пункт 4-5-5].

1.3.7 Требования к сварке

Осуществлять сварку металлических конструкций из стали 08X18H10T

дугой на постоянном токе обратной полярности. При этом способе сварки двумя источниками питания используется режим сварки по таблице 4.

Чтобы уменьшить перегрев и получить сварные соединения с максимальной коррозионной стойкостью, необходимо применять минимальный ток и максимальную скорость перемещения электрода. Водить электрод без поперечных колебаний.

Геометрия стыкового соединения по ГОСТ 14771-76 приведена на рисунке 5, нахлёсточного ГОСТ 14771-76 – на рисунке 6, а таврового ГОСТ 23518-79 – на рисунке 7.

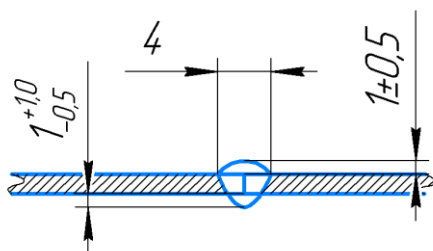


Рисунок 5 – Стыковое соединение трубы теплообменного элемента на изгибающую трубу коллектора, С2 по ГОСТ 14771-76

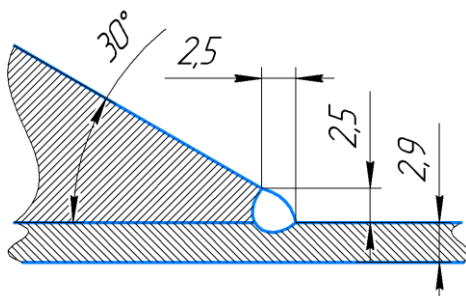


Рисунок 6 – Нахлёсточное соединение труб на заднюю часть фланца, Н1 по ГОСТ 14771-76

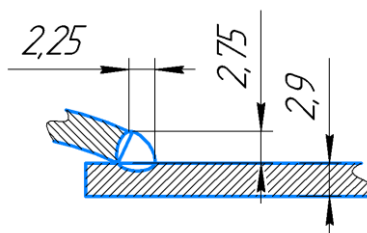


Рисунок 7 – Тавровое под углом соединение труб на коллектор, Т1 по ГОСТ 23518-79

Промышленное изготовление выполнять серийно выпускаемыми источниками питания. Сварочное оборудование должно быть укомплектовано в соответствии с паспортами. Монтаж и наладку сварочного аппарата выполнять по инструкциям в паспорте.

При подключении инвертора (преобразователя) к сети питания следует убедиться, что напряжение не отклоняется от диапазона, установленного в паспорте.

Дугу следует зажечь в разделке шва или на наплавленном металле.

При наложении сварных швов выполнять тщательную зачистку выполненного шва, удаляя шлак и проверяя его на отсутствие дефектов, таких как трещины и поры. При обнаружении дефекта полностью удаляется область дефекта, и повторно проваривается.

При окончании сварки выполнять очистку сварных швов и прилегающего участка основного металла от шлака, брызг и окалины.

1.3.8 Требования к термической обработке

По ГОСТ 32569 пункт 12.2 термической обработка не применяется.

1.3.9 Требования к контролю качества

Высокое качество сварных соединений гарантируется при проведении:

- пооперационного контроля,
- визуального контроля,
- радиографического контроля.

Пооперационный контроль осуществляется самим производителем работ в течение сборки и сварки. В контроль входит проверка режима сварки, проверка соответствия выполняемых работ проектной документации, государственным стандартам и технологическим требованиям.

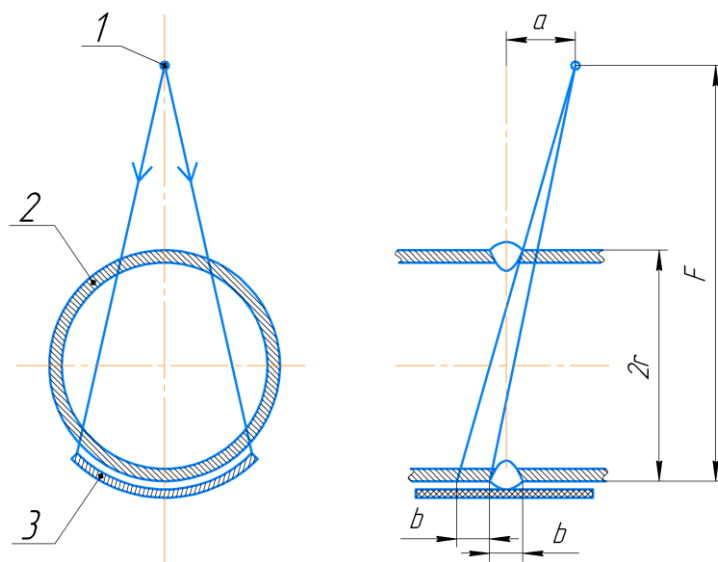
Визуально-измерительный контроль сварки производится самым

сварщиком, бригадами, техническими работниками, и работниками отделения технического контроля. Контроль производится средствами увеличения и измерительным инструментом.

Радиографический контроль проводится специально обученным персоналом промышленной лаборатории. Лаборатория должна иметь необходимую лицензию Госгортехнадзора, и должна быть оснащена современным оборудованием и нормативной документацией.

По ГОСТ 12.1.007 метан находится в 4 классе опасности. По таблице 5.1 ГОСТ 32569 класс трубопровода ПБ, так как проводит сжиженный углеводородный газ под давлением от 0,08 МПа вакуум до 2,5 МПа и с температурой до плюс 300 °С. По таблице 12.2 ГОСТ 32569 включения (поры) в соединениях труб толщиной до 3 мм должны иметь ширину меньше 0,5 мм и длину меньше 1,0 мм. Эти требования удовлетворяются при чувствительности радиографического контроля 2 класса, по которому поры шириной меньше 0,3 мм, и длиной меньше 0,6 мм не отображаются [1].

Схема радиографического контроля приведена на рисунке 8:



1 – источник излучения, 2 – контролируемый стык, 3 – кассета с плёнкой

Рисунок 8 – Схема радиографии стыка труб (таким способом отображается весь круг)

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Во введении выполнен краткий обзор состояния вопроса и доказательство актуальности темы выпускной квалификационной работы. Сформулирована цель выпускной квалификационной работы.

Обыкновенная технология сварки изделия из хладостойкой стали или из высокопрочной стали с применением полуавтомата или автомата плавящимся электродом в среде чистого аргона имеет следующие недостатки:

- малая проплавляемость сварочного металла,
- выпуклость валика, плохая смачиваемость;
- плохое проплавление при многослойной сварке;
- извилистость валика.

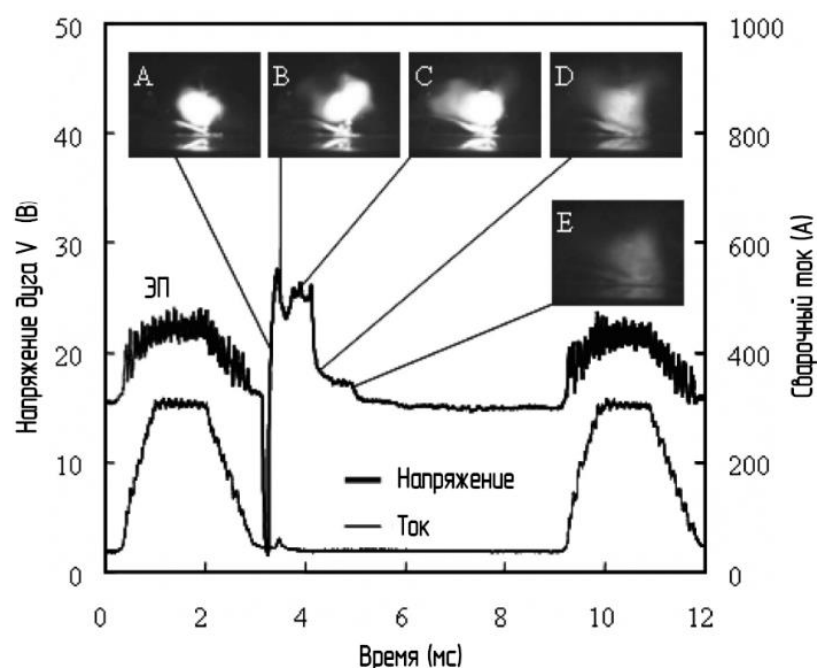
Для достижения поставленной цели следует решить, как можно управлять горением дуги, повышать температуру капли, и устранить брожение катодного пятна. Оценку экологичности предлагаемого технического решения предполагается выполнить в соответствующем разделе оценочного блока выпускной квалификационной работы. Оценка эффективности внедрения предлагаемого решения в промышленное производство будет выполнена в экономическом разделе оценочного блока выпускной квалификационной работы.

2 Обзор литературы текущего исследования

Обзор литературы даёт понимание того, сколько работы уже сделано усовершенствовать сварку в чистом защитном газе плавящимся электродом, и какие направления изучаются.

2.1 Обзор работы исследовательской группы Уэзоно

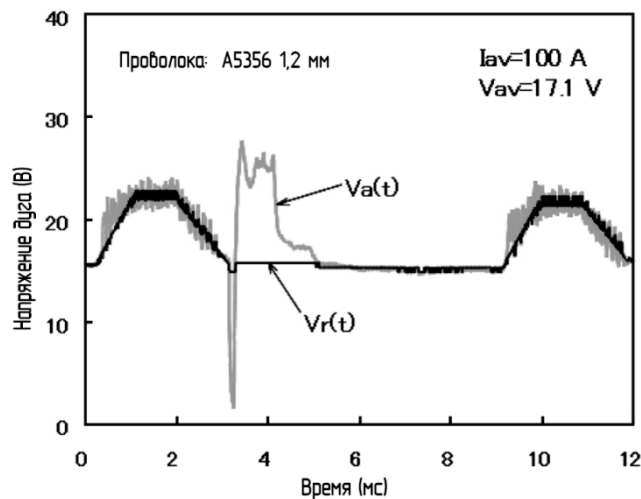
Уэзоно и Тонг изучали неправильное движение катодного пятна, и заметили, что соответствует к высокому аномальному напряжению (смотрите рисунок 9) [22]. Они применили цифровой фильтр, держащий форму волны напряжения постоянной. Их испытательное оборудование состоит из импульсного источника питания.



ЭП – подачи электрического импульса от источника питания.

Рисунок 9 – Аномальное напряжение после мгновенного короткого замыкания [22, рис. 3]

Фильтр действовал в периоде после подачи импульса (рисунок 10). Получился стабильный валик и более глубокое проплавление (рисунок 11).



Волна напряжения $V_a(t)$ – без фильтрации, а $V_r(t)$ – регулируемого, то есть, с фильтрацией. I_{av} – среднее значение тока. V_{av} – среднее значение напряжения. Номинальный сварочный ток – 100 А, номинальное сварочное напряжение – 17,1 В.

Рисунок 10 – Устранения аномального напряжения с помощью цифровой фильтрации [22, рис. 5]

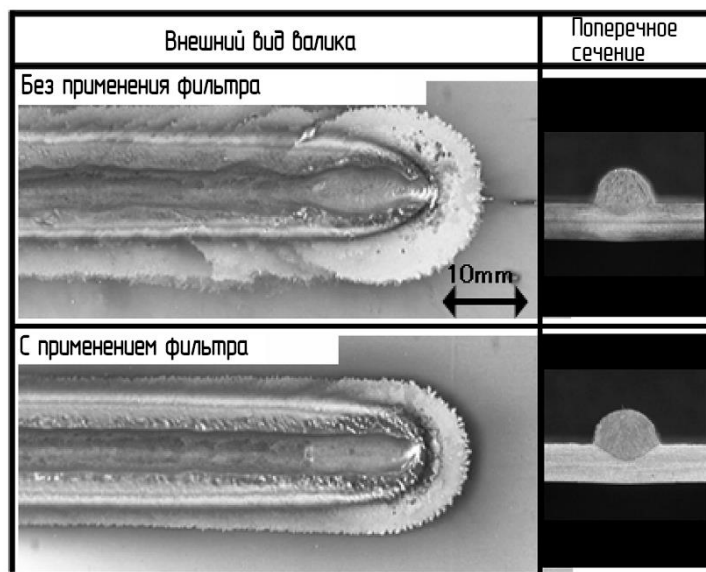


Рисунок 11 – Результаты сварки нержавеющей стали согласно [22, рис. 8]

Можно делать вывод, что жёсткий контроль напряжения стабилизирует горения дуги.

К недостаткам этого подхода можно отнести стоимость цифрового фильтра и необходимость настроить параметры цифрового фильтра для каждого материала. Смачиваемость не увеличивается [12].

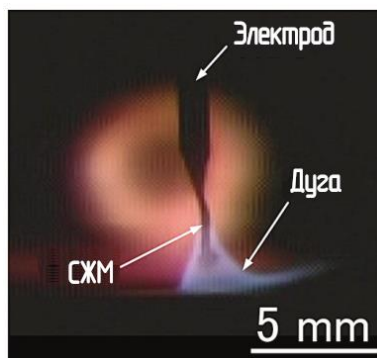
2.2 Обзор работы исследовательской группы Накамура

Исследовательская группа Накамура развила соосную двухслойную проволоку, чтобы варить сталь с 9 % никеля в среде чистого аргона [23]. Докладывают, что расстояние между концом проволоки и основным металлом неравномерно колеблется (смотрите рисунок 12), вызывая большие колебания тока и напряжения.

Внутренний стержень отличается от внешнего слоя новой проволоки.

Они увидели, что калий при концентрации больше 10 частей на миллион сокращает длину жидкого столба расплавленного металла, стабилизирующий поведение расплавления металла, с результирующим улучшением зависящих от времени волн напряжения и тока.

Отличные швы получаются в среде чистого аргона (смотрите рисунок 13).

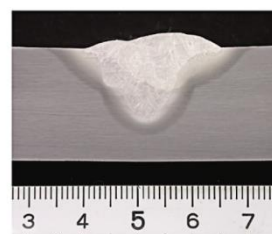


СЖМ – столб жидкого металла.

Рисунок 12 – Аномальное движение столб жидкого металла [23, рис. 1]



А) Внешний вид валика

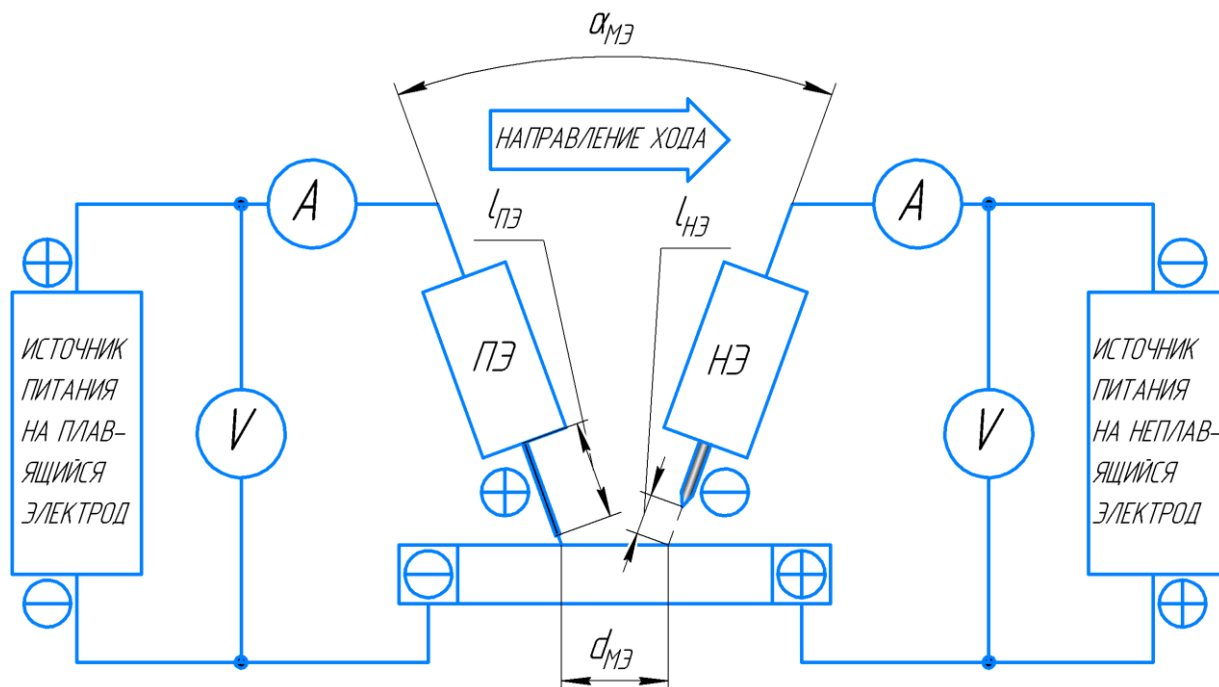


Б) Поперечное сечение

Рисунок 13 – Валик, результат сварки с новой проволокой при чистом аргене [23, рис. 13]

2.3 Обзор работы исследовательской группы Канемару

Исследовательская группа Канемару попыталась стабилизировать сварку при чистом аргоне добавлением другого источника теплоты за счёт тока из неплавящегося электрода [19]. В результате катодное пятно не двигается хаотически, сварка стабильно производится. Чтобы сварить шов этим способом, требуется время в диапазоне от 17 до 44% стандартной сварки неплавящимся электродом. Схема оборудования введена на рисунке 14. Для сравнения вид валика в среде чистого аргона представляется на рисунке 15, а результат улучшения представлен на рисунке 16.



Измеряют токи (А) и напряжения (V) питания на плавящийся (ПЭ) и неплавящийся (НЭ) электроды. Ток на плавящийся электрод, как обычно, обратной полярностью, а неплавящийся электрод - прямой полярностью. Важные параметры сварки: $\alpha_{МЭ}$ – межэлектродный угол; $d_{МЭ}$ – межэлектродное расстояние; $l_{ПЭ}$ – длина плавящейся проволоки вне сопла; $l_{НЭ}$ – длина дуги неплавящегося электрода.

Рисунок 14 – Схема испытательного оборудования плавящегося и неплавящегося электродов [19, рис. 1]

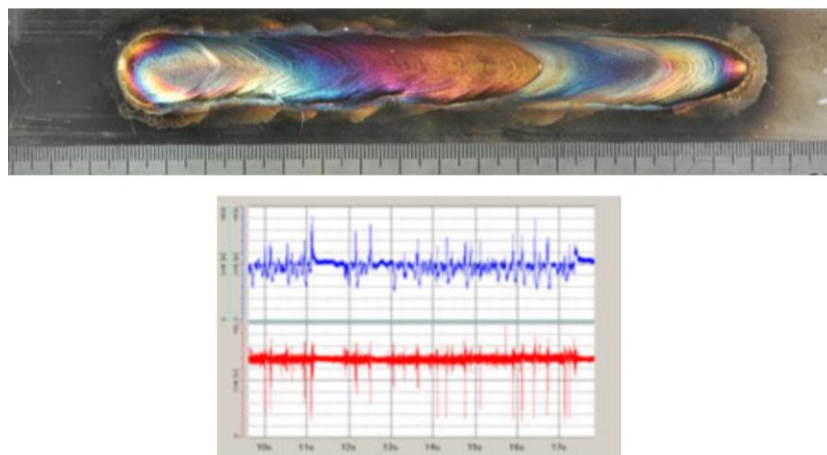
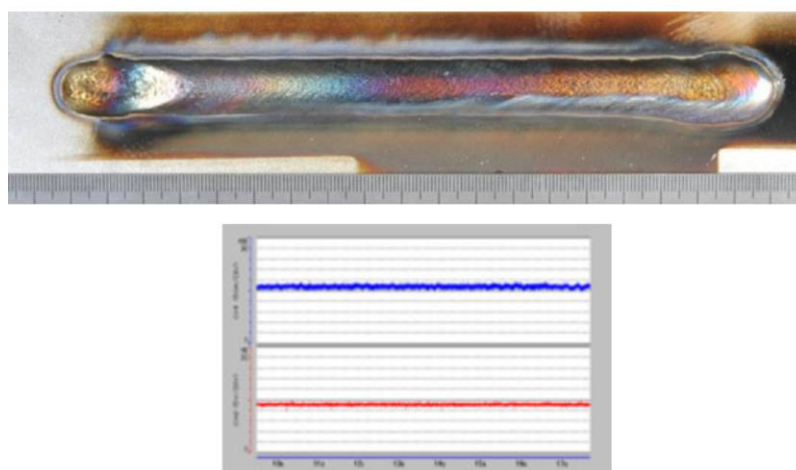


Рисунок 15 – Результат сварки по схеме исследовательской группы Канемару без тока на неплавящийся электрод [19, рис. 3]



Волны тока и напряжения стабилизировались, по сравнению с рисунком 15.

Рисунок 16 – Результат сварки по схеме исследовательской группы Канемару с током на неплавящийся электрод [19, рис. 3]

Считают, что этот процесс стабилизирует дугу увеличением термоэмиссионного нагрева поверхности сварочной ванны из-за тока неплавящегося электрода, а также отталкивания двух дуг электромагнитической силой [19].

Видно с рисунка 14, много физических параметров мешает использованию этого процесса как ручной вариант. Также, держатель с двумя электродами требовал бы очень ловких сварщиков. По статье Аоки смачиваемость не увеличивается [12].

2.4 Обзор работы исследовательской группы Зенитани

Эта исследовательская группа изучала сварку при чистом аргоне и нашла, что на конце проволоки образовывался удлинённый столб расплавленного металла, а поведение столба было нестабильным и столб колебался. При смешивании кислорода длина столба расплавленного металла укорачивается, колебания подавляются, дуга стабилизируется. Представлено, что удлинение столба жидкого металла влияет на стабильность дуги. Они решили убавить количество кислорода, пока не стабилизируется движение дуги. Проектировали новое сопло, по которому подаётся газ вдоль проволоки (смотрите рисунок 17).

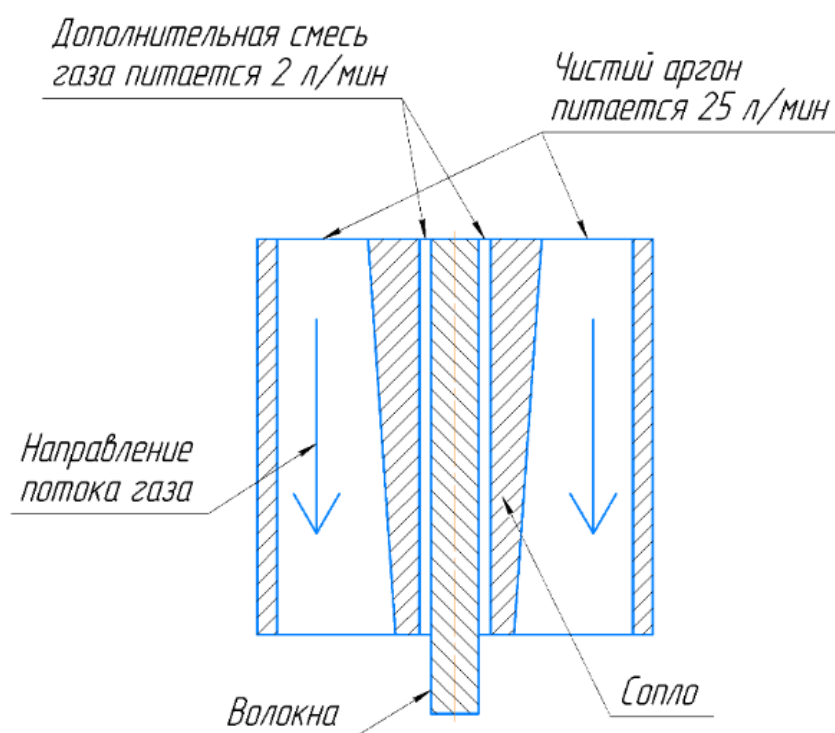
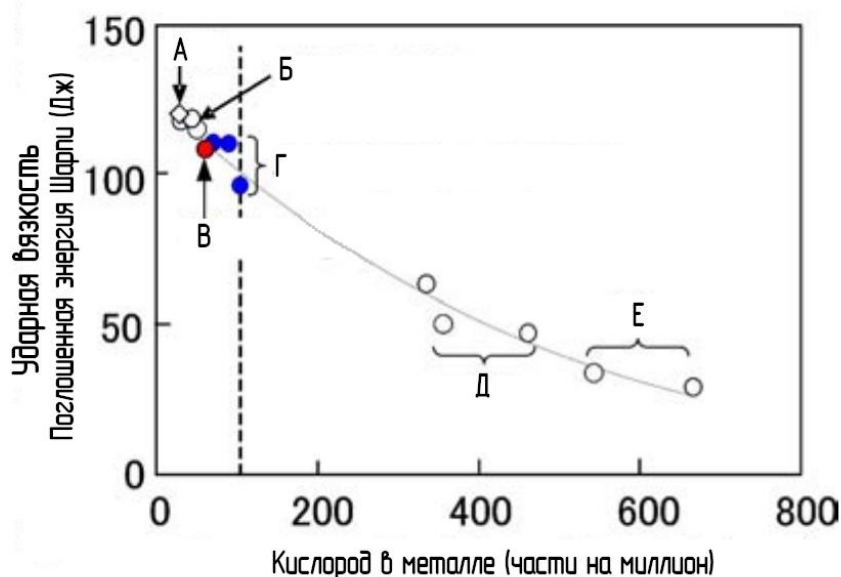


Рисунок 17 – Новое сопло проектировала группа Зенитани, чтобы вводить дополнительную смесь кислорода с аргонem вдоль проволоки [21, рис. 8]

При использовании нового сопла с маленьким количеством кислорода, менее 1 %, стабилизировалась дуга, подобно поведению дуги в среде аргона с кислородом 2 %. Характеристики сварного металла приблизились к тем из

процесса неплавящимся электродом (смотрите рисунок 18). Снизили количество растворяемого кислорода в металле валика от 260 частей на миллион до 100 частей на миллион.

По мнению Аоки смачиваемость не увеличивается [12].



Пункт «А» – сварка неплавящимся электродом в среде чистого аргона; «Б» – сварка плавящимся электродом в среде чистого аргона; «В» – сварка плавящимся электродом с новым соплом группы Зенитани под смесью с уменьшаемым количеством кислорода; «Г» – сварка плавящимся электродом с новым соплом группы Зенитани под смесью с уменьшаемым количеством углекислого газа; «Д» – сварка плавящимся электродом в среде активного газа; «Е» – сварка в среде углекислого газа.

Рисунок 18 – Результат сварки нового сопла, проектной группы Зенитани: график ударной вязкости (поглощённых энергий Шарпи) от количества кислорода в металле для разных способов сварки [21, рис. 13]

2.5 Обзор работы исследовательской группы Танака

Так как все газы при комнатной температуре отличные диэлектрики, необходимо производить достаточно заражённых частиц, как электроны и ионы для того, чтобы делать объём газов проводящим [11]. Ионизация газов при сварке осуществляется газовым разрядом, который требует много энергии. Возможно повышать удельную теплоту объёма аргона ионизацией, так как ионизация повышает число степеней свободы газа. Теплообмен

уменьшается таким способом, который называется «явлением сужения теплообмена» [11]. В своей очереди данное явление сужает возможные пути дуги и уменьшает движение катодного пятна.

Фотографии явления дуги с зависимыми от времени волнами напряжения и тока для обычной сварки плавящимся электродом и для сварки плавящимся электродом в среде чистого ионизированного, плазменного, аргона представлены на рисунках 19 и 20. Результирующий валик плазменной сварки на рисунке 21.

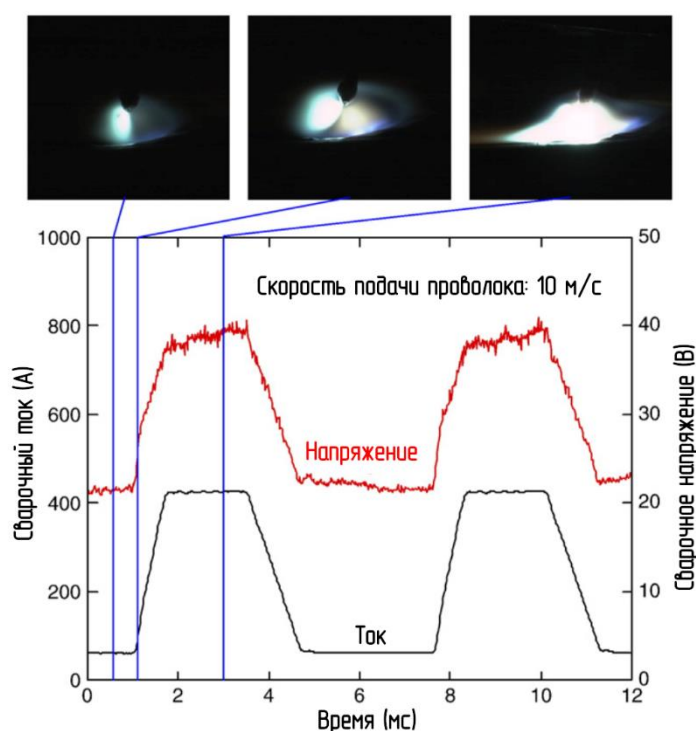


Рисунок 19 – Появления дуги и зависимые от времени волны напряжения и тока для обычной сварки плавящимся электродом [11, рис. 4]

Можно делать вывод, что стабильное горение зависит от хорошего ионизируемого объёма газа.

Смачиваемость не увеличивается [12].

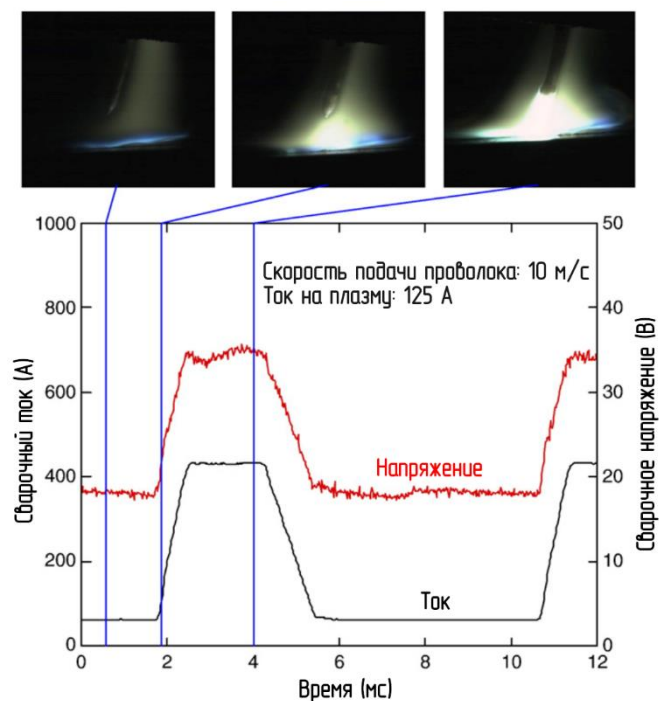


Рисунок 20 – Появления дуги и зависимые от времени волны напряжения и тока для сварки плавящимся электродом под чистым ионизированным аргоном [11, рис. 5]

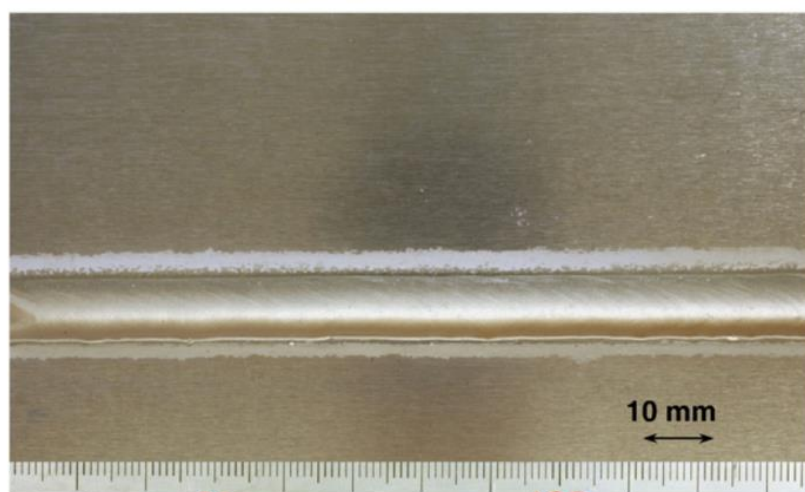


Рисунок 21 – Внешний вид валика для сплава алюминия А5052, российский аналог АМг2.5 [11, рис. 6]

2.6 Обзор работы исследовательской группы Катаяма

Группа Катаяма проектировали новое сопло, при которой сокращается расстояние между соплом и поверхностью сварного металла [15]. Способ –

сварка плавящимся электродом, но в среде плазмы чистого аргона. Сократили расстояние 33 % от 15 мм до 10 мм (смотрите рисунок 22). Получились хорошие валики с хорошей смачиваемостью (смотрите рисунок 23).

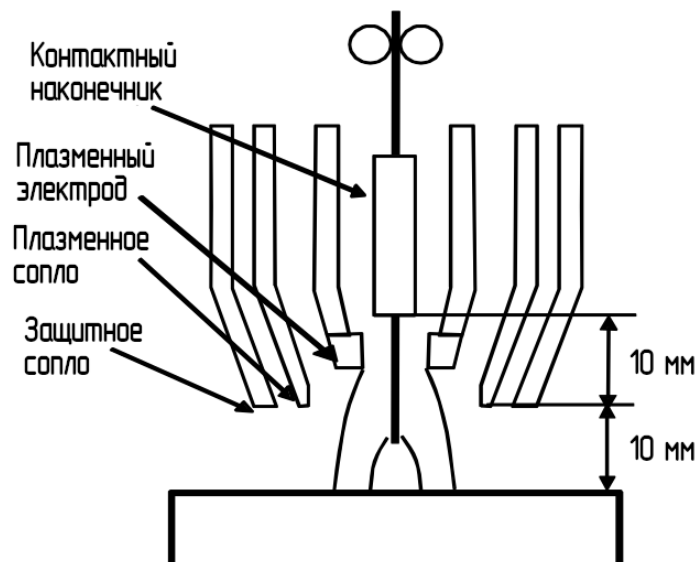


Рисунок 22 – Новое сопло проектировала группа Катаяма, чтобы сократить расстояние между соплом и свариваемым металлом [15, рис. 2]



А) Обыкновенным соплом



Б) Новым соплом

Рисунок 23 – Сравнение валиков, произведённых обыкновенным соплом (А) и новым соплом (Б) [15, рис. 8]

Можно делать вывод, что приближение сопла увеличивает введение теплоты в основной металл.

Глубина проплавления не увеличилась. Такой способ увеличивает смачиваемость от подогрева плазмой.

2.7 Итог обзора

При предыдущих попытках получилась стабильность дуги при сварке в среде чистого аргона, однако уменьшение выпуклости и глубокое проплавление не получились. Выпуклость возникает от высокого поверхностного натяжения, которое в своей очереди возникает от недостаточного введения теплоты [12]. Однако, как раз температура повышается, капля улетает из конца проволоки, ограничивая дальнейшее введение теплоты в каплю. Иначе говоря, есть точное отношение между сварочным током и скоростью подачи проволоки. Исследовательская группа Катаяма при плазменной сварке смогла подогревать поверхность основного металла, вследствие чего увеличилась смачиваемость, но глубина проплавления не увеличилась.

Улучшенная смачиваемость, улучшенная стабильность дуги и глубокое проплавление не дались в предыдущих попытках [12]. Поэтому исследовательская группа Сето и Аоки развила новый способ осуществить сварку плавящимся электродом.

3 Обзор техники измерения температуры металла двумя цветами

В этой главе обсуждается упрощённый подход исследовательской группы Мамата, и улучшенный подход, предложенный группой Ямазаки, который использован при изучении сварки двумя источниками группой Сето и Аоки.

Температура капли – важная характеристика, от которой зависит поведение сварки и её результирующие явления, такие как, глубина и форма проплавления, или скорость формирования дыма в течение сварки [13]. Есть несколько методов измерения температуры капли, например, прямое измерение температуры термпарой, измерение излучения термической пирометрией и измерение энергии калориметрией. Такие методы имеют недостатки, например, измерение калориметрией даёт знание о средней температуре массы капель [13]. Возможность наблюдать каждую каплю и распространение температуры вдоль поверхности капли даёт больше данных о связи между температурой капли и результирующим валиком.

3.1 Теория

В основе метода измерения температуры металла двух цветов можно назвать оптической пирометрией, или точнее, непрямым измерением температуры посредством измерения интенсивностей излучения по двум длинам волн, в видимой или ближней видимой частях электромагнитического спектра. По термодинамике интенсивность излучения абсолютного чёрного тела $B(\lambda, T)$ задаётся формулой Планка [13]:

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)} - 1} \cdot (1)$$

где λ – длина волны данного излучения от чёрного тела;

T – температура чёрного тела;

h – постоянная Планка;

c – скорость света;

k_B – постоянная Больцмана.

В эксперименте, изучавшем этот способ измерения температуры, исследовательская группа Мамата использовала фотокамеру с тремя датчиками, при котором один более чувствительный к красному цвету, другой – к зелёному цвету, а третий – к синему. Далее капля излучает как серое тело, то есть, коэффициент излучения не равен единице, а её излучение воздействует на данные несовершенные детекторы с передаточными функциями, поэтому теоретическая интенсивность излучения задаётся [13]:

$$I_K^{\text{теор}}(T) = \sum_{\lambda=0}^{\infty} Q_K(\lambda) \epsilon B(\lambda, T), \quad (2)$$

$$I_3^{\text{теор}}(T) = \sum_{\lambda=0}^{\infty} Q_3(\lambda) \epsilon B(\lambda, T), \quad (3)$$

$$I_C^{\text{теор}}(T) = \sum_{\lambda=0}^{\infty} Q_C(\lambda) \epsilon B(\lambda, T). \quad (4)$$

где Q – передаточная функция данного датчика, то есть, функция спектральной светочувствительности;

ϵ – коэффициент излучения капли;

индексы К, 3 и С обозначают датчики красный, зеленый и синий, соответственно.

Передаточные функции употребляемой видеокамеры представлены на рисунке 3.1 [13].

Частные $I_K^{\text{теор}}/I_C^{\text{теор}}$, $I_3^{\text{теор}}/I_C^{\text{теор}}$, и $I_K^{\text{теор}}/I_3^{\text{теор}}$, зависят только от температуры при постоянном значении. Для используемой фотокамеры результирующие кривые представлены на рисунке 24 [13].

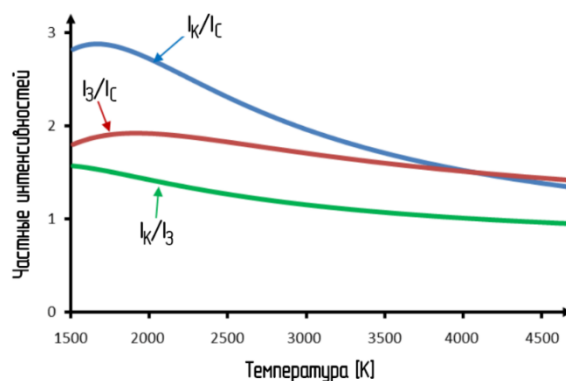


Рисунок 24 – Спектральная светочувствительность трех датчиков, $Q_K(\lambda)$, $Q_3(\lambda)$ и $Q_C(\lambda)$ [13, рис. 2]

Исследовательская группа Мамата решила использовать только частную $I_K^{\text{теор}}/I_3^{\text{теор}}$ в их изучении переноса металла при сварке плавящимся электродом в среде чистого аргона потому, что только частная $I_K^{\text{теор}}/I_3^{\text{теор}}$ – монотонно убывающая функция (смотрите рисунок 25). Также думали, что коэффициент в формулах 2 и 3 должны быть подобны, так как расстояние вершин их функции, как показаны на рисунке 24, всего 50 нм. Дальше, исследовательская группа откалибровала прибор измерения температуры вольфрамовой ленточной лампой высокой стабильности.

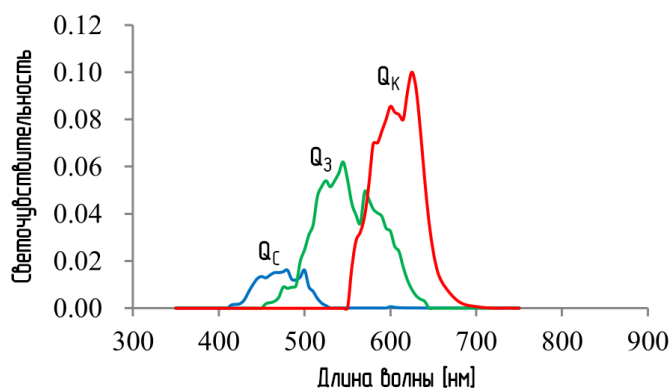


Рисунок 25 – Частные интенсивности для используемой фотокамеры [13, рис. 3]

3.2 Экспериментальная процедура

Исследовательская группа Мамата использовала простую систему измерения температуры поверхности капель, план которой предоставлен на

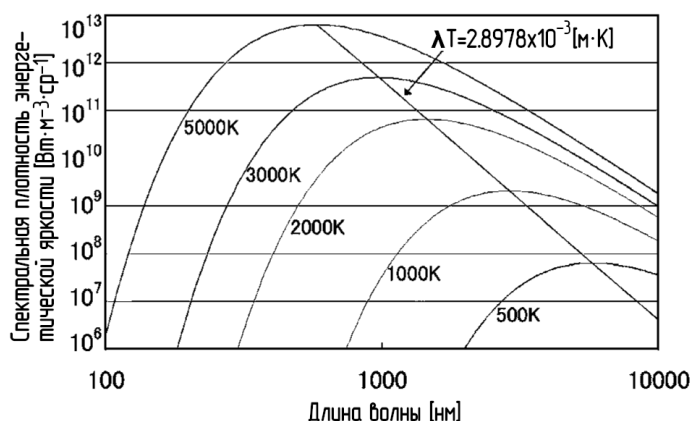
рисунке 26 [13]. Их система упрощённый вариант, в которой простая видеокамера употребляется в качестве датчика термометра. С другой стороны, исследовательская группа Сето, которая изучала сварку двумя источниками, использовала более сложный вариант исследовательской группы Ямазаки.



Употребляется простая фотокамера в качестве термометра.

Рисунок 26 – План изучения переноса металла исследовательской группой Мамата [13, рис. 1]

Исследовательская группа Ямазаки развивали способ более аккуратно. Во-первых, сделали и изучали график абсолютной интенсивности излучения (смотрите рисунок 27) [24]. Из этого графика можно видеть, что свет определённой длины волны излучается больше всего при определённой температуре.



В диапазоне 900 – 1000 нм больше одного порядка величины даётся от 2000 К до 3000 К

Рисунок 27 – Спектральная плотность интенсивности яркости зависит от температуры для данной длины волны [24, рис. 1]

Температура расплавленного металла измеряется примерно больше 2000 К. В этом температурном диапазоне лучистая энергия достигает максимума около 1000 нм, а лучистая энергия резко уменьшается в ультрафиолетовой области. Поэтому предпочтительно измерять слабое тепловое излучение расплавленного металла. Выбирается 950 нм и 980 нм в ближней инфракрасной области в качестве длин волн измерения.

План устройства, использованный для изучения сварки двумя источниками, приведён на рисунке 28. Использовали интерференционные фильтры, чтобы улучшить коэффициент помех, а также, чтобы фильтровать по длине волн. Оба датчика – фотокамеры, дающие два изображения капли.

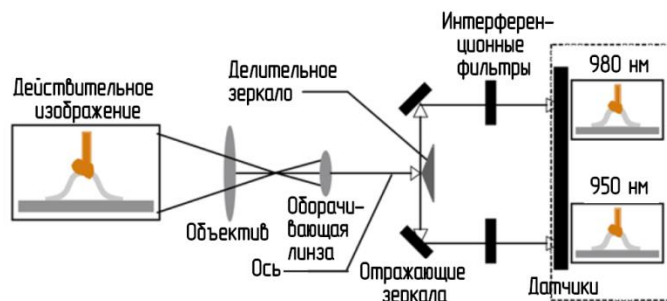


Рисунок 28 – План термометра, измеряющего температуры двумя цветами, употреблялись группа Ямазаки [24, рис. 2] и группа Сето [20, рис. 1]

Данные из датчиков, то есть, два результирующих изображения, точно выравнивали, чтобы зафиксировать геометрическое отношение между пикселями.

Частное каждого относительного пикселя между изображениями, данными из двух датчиков, представляет температуру на поверхности капли. Значения температур по изображению определяют цвет по схеме расположения температур. Такая схема на рисунке 29.

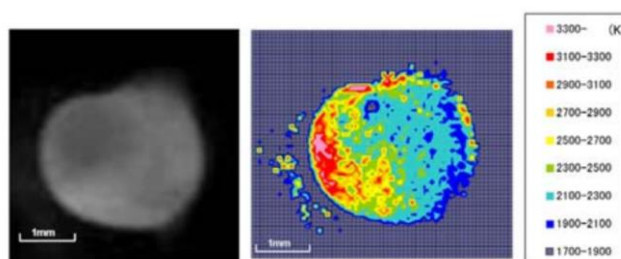


Рисунок 29 – Схема расположения температур [24, рис. 8]

3.3 Калибровка

Чтобы калибровать, использовали излучение от стандартного источника света, то есть, от вольфрамовой лампы, которая откалибрована органом по аккредитации JCSS, Japan Calibration Service System (計量法校正事業者登録制度, Система регистрации калибровочной компании по закону измерений). Вольфрамовая лампа освещает по температуре 3203 К при токе 5 А. Используя откалиброванный инфракрасный градусник ジャパ ンセンサ ー FTZ6 (градусник тип FTZ6 из компании «Джапан сенсаа»), чтобы измерить действительную температуру вольфрамовой лампы, откалибровали новый лабораторный градусник.

3.4 Смета погрешности

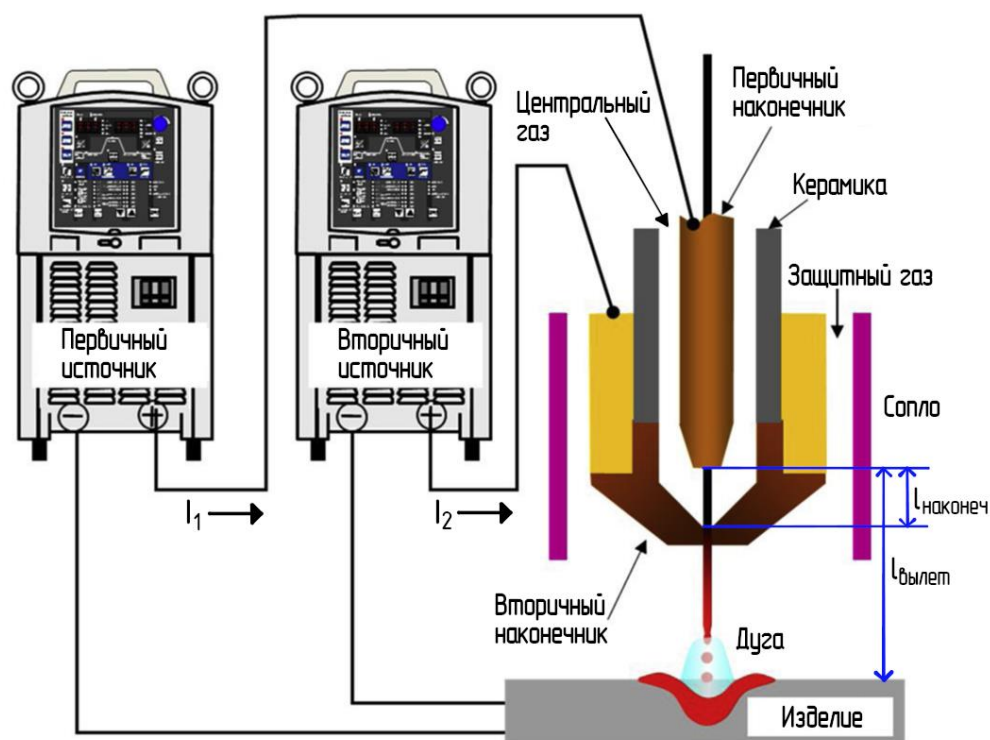
Проверили откалиброванный лабораторный градусник излучением от поверхности неплавящегося вольфрамового электрода. Чтобы измерить температуру поверхности, выключили ток на электрод, а измерили температуру электрода на 2 мс после выключения тока. Датчики собрали данные при частоте 500 снимков в секунду. Данные результаты незначительно отклонились от хорошо известных результатов.

Сравнили свои результаты с результатами из исследовательской группы Хайдара [14], [24], а измерили разницу всего 100 К у конца электрода при температуре больше 3000 К. Поэтому оценивают, что погрешность измерения по новому способу всего $\pm 5\%$.

4 Описание процесса и оборудования сварки плавящимся электродом двумя источниками питания, результаты и выводы

4.1 Описание сварочного оборудования

Схема системы сварки плавящимся электродом двумя источниками питания в среде чистого инертного газа¹ представлена на рисунке 30 [12]. Первичный источник подаёт постоянное напряжение, а вторичный источник подаёт постоянный ток. Оба источника связаны с обратной полярностью: положительные на наконечниках, а отрицательные на свариваемом металле.



Защитный газ – 100% аргона. I_1 – первичный ток; I_2 – вторичный ток

Рисунок 30 – Схема системы сварки плавящимся электродом двумя источниками питания в среде чистого инертного газа

Оба источника модели DP-500 из японской компании Daihen. Характеристики приведены в таблице 5. Они модифицированы иметь связь

¹ В англоязычной литературе обозначается «duplex current feeding-metal inert gas welding», сокращением «DCF-MIGW».

между аппаратами, которая сварочные аппараты синхронизируется. Эта связь осуществилась сетью контроллеров CAN (Controller Area Network) [25].

Таблица 5 – Характеристики цифрового импульсного сварочного инвертера DP-500 из японской компании Daihen

Характеристика	Значение	Единицы
Напряжение сети	200 – 220	В
Частота сети	50 – 60	Гц
Количество фаз сети	3	
Номинальный входной ток	74 – 81	А
Мощность	16 280	Вт
Диапазон выходного тока	30 – 500	А
Диапазон выходного напряжения	12 – 45	В
Продолжительность включения при 500 А	60	%
Продолжительность включения при 350 А	100	%
Скорость подачи проволоки	0 – 22	м / мин

Горелка, модель PLM-500 из компании «ТВі», модифицирована, чтобы включить дополнительный наружный ток газа [25]. Горелка представлена на рисунке 31, а модификация на рисунке 32.



Рисунок 31 – Горелка

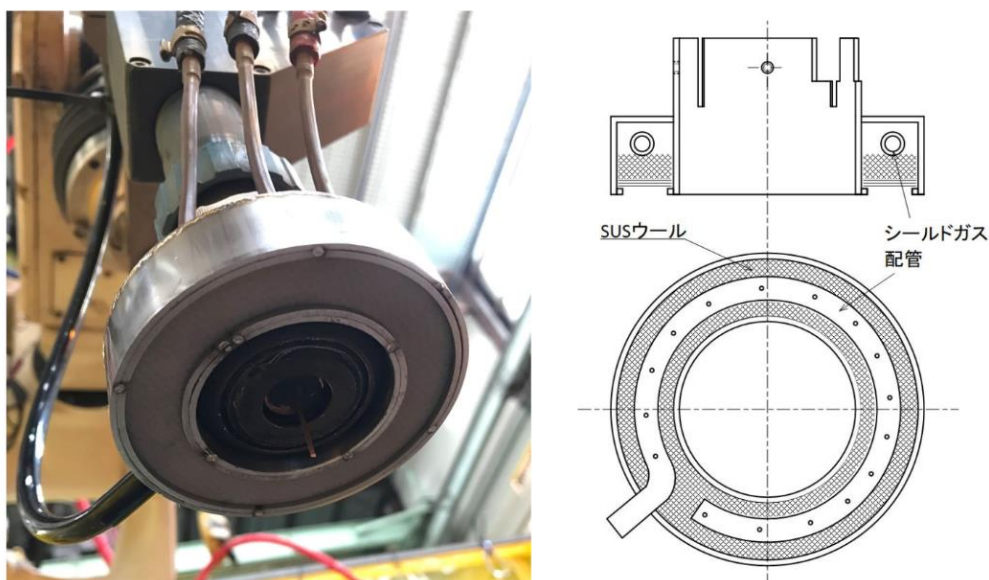


Рисунок 32 – Модификация горелки – добавление дополнительного тока защитного газа вокруг горелки

Расстояние между первичным и вторичным наконечниками – всего 12 мм. Горелка питается тремя потоками газа: центральный поток, защитный поток и наружный поток, позволяющий регулировать эти потоки самостоятельно. Однако, 100 % аргоновый газ использовался в этих экспериментах. Сварочный робот, модель RA010N из компании «Кавасаки», управлял горелкой по заданной программе.

4.2 Описание измерительных аппаратов

Чтобы собирать данных о температуре капель использовалась техника измерения температуры металла двумя цветами, как описалась в главе 3. Тут описывается более простые измерительные устройства.

4.2.1 Наблюдение дуги

Форма дуги и передача металла наблюдаются видеокамерой высокой скорости компании «Photron», модели FASTCAM-ultima1024 4KC под телескопическим объективом Micro-NIKKOR 200 мм компании «Nikon».

Освещение из металлогалогенной лампы HVC-SL компании «Photron». Разрешение образа 1024×512 . Выдержка затвора – $1/32000$ с, а частота кадров 1000 Гц. Такие параметры позволяют наблюдению процессов формирования, выращивания, и срывания капли в дуги.

4.2.2 Измерение волны напряжения и тока

Регистратор данных MEMORY HICODER 8855 компании «Hioki» производит собрание и запись волны напряжения и тока, зависящие от времени. Измерение тока осуществляется электроизмерительными клещами CLAMP HIGHTESTER 3290-10 компании «Hioki». Частота регистрации 1000 Гц.

4.2.3 Измерение количество теплоты в капель

Собрали данные о количестве теплоты в каплях. К этой цели использовали калориметр, как показан на рисунке 33 [12]. Калориметр состоит из сосуда Дьюара, покрытого теплоизоляцией, в котором расположены водяная ванна, медный тигель, термпары, и магнитная вертушка. Медный тигель подхватывает капли. Магнитная вертушка, перемешивая, уравнивает температуры воды.

В качестве катода использовали водоохлаждаемый дырочный катод, показан на рисунке 34. Отверстие позволяет отъёмным каплям проходить в медный тигель. В медном тигле накапливается капли. Их теплота переводится в воду. После четырёх минут, время стабилизации, измерили температуры воды, массу накопившихся капель, и вычислили теплоту на единицу массы накопившихся капель.

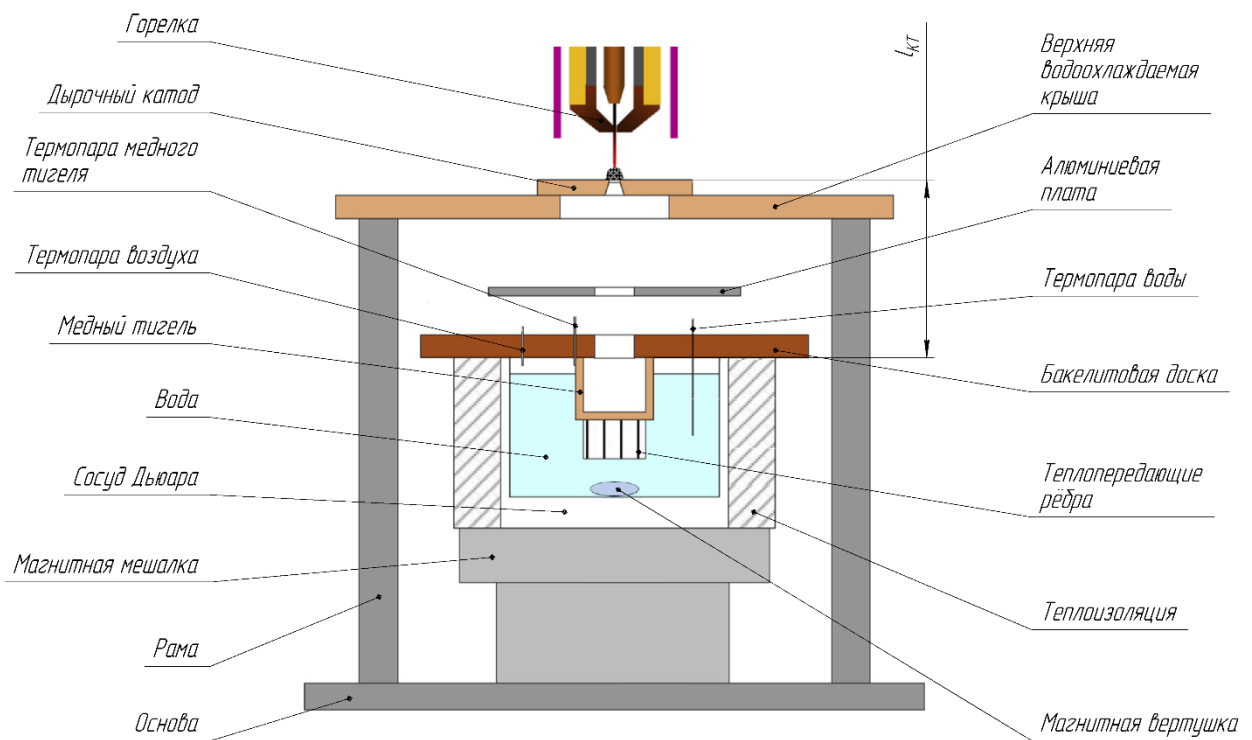


Рисунок 33 – Калориметр

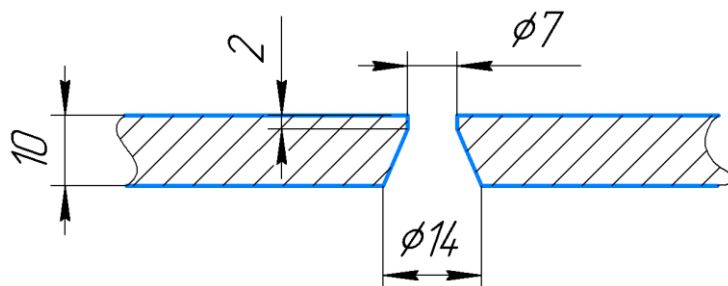


Рисунок 34 – Дыро́чный катод, сечение

4.3 Виды экспериментов выполнили

Учёные провели четыре вида эксперимента своим новым видом сварки двумя питателями. Во всех экспериментах: использовалась проволока диаметром 1,2 мм сплошного сечения JIS Z 3312 G 49 AP 3 M 16 MG-S50 компании «Kobelco». Скорость подачи проволоки составляла 8 м/мин. Расстояние от второго наконечника до основного металла 15 мм, поэтому

расстояние от первичного наконечника до основного металла $l_{\text{вылет}} = 27$ мм (смотрите рисунок 30). Основное значение тока на первичный наконечник 51 А с пиковым значением тока 422 А.

Химический состав проволоки приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Химический состав проволоки, используемой в экспериментах [16]

C	Si	Mn	P	S	Cu	Fe
$\leq 0,12$	0,50 – 1,00	1,20 – 1,60	$\leq 0,025$	$\leq 0,025$	$\leq 0,50$	Основа
Примечание – Состав стали подобен российской марке 12ГС.						

Сравнивали с обычным способом сварки плавящимся электродом при условиях:

- использовалась та же самая проволока;
- скорость подачи проволоки та же самая;
- нет вторичного источника питания, то есть, $I_2 = 0$;
- расстояние от наконечника до основного металла 27 мм;
- первичный источник тот же самый модель DP-500 компании Daihen;
- другая горелка, именно модель ROBO WH W 500 Binzel, у которого нет второго наконечника.

4.3.1 Сварки валика на плату

Цель этого эксперимента – понимать зависимость тока, оценить внешний вид валика, оценить проплавление. Попытались при значениях вторичного тока от 25 А до 150 А с шагом 25 А. Платы из стали марки JIS SM490A толщины 12 мм. Химический состав стали марки JIS SM490A приведен в таблице 7. Шероховатость поверхности груба, чтобы оценить смачиваемость: поверхность была шлифована перед экспериментом. В таблице 8 приведены условия эксперимента.

Таблица 7 – Химический состав стали марки JIS SM490A, используемой в экспериментах [18]

C	Si	Mn	P	S	Fe
≤ 0,22	≤ 0,55	≤ 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035	Основа
Примечание - Состав стали подобен российской марке 15ГС.					

Таблица 8 – Условия эксперимента «валика на плату»

Условие	Значение	Единицы
Скорость подачи проволоки	8	м / мин
Скорость движения горелки	30	см / мин
Напряжение при сварке	28,5	В
Поток защитного газа	25	л / мин
Расстояние от первичного наконечника до платы	27	мм

4.3.2 Наблюдение дуги

Цель этого эксперимента – наблюдать дугу и переноса металла. Эксперимент производится при эксперименте «сварки валика на плату». Данные собирались видеокамерой высокой скорости, описанной в абзаце 4.2.1.

4.3.3 Измерение поверхностной температуры капель

Цель этого эксперимента – сравнить поверхностные температуры капель при сварке двумя источниками с температурами капель при обычной сварке. Эксперимент проводится при условиях эксперимента сварки валика на плату. Данные собраны техникой измерения температуры металла двумя цветами, описанной в главе 3.

4.3.4 Измерение количества теплоты капель

Цель этого эксперимента – сравнить количества теплоты в каплях при

разных значениях вторичного тока, а поддерживать наблюдения эксперимента «измерение поверхностной температуры капель». Расстояние $l_{\text{кт}}$ (смотрите рисунок 33) от верхней поверхности катода до верхней кромки медного тигля 130 мм, чтобы избежать влияние дуговой плазмы. Чтобы обеспечивать перенос теплоты из капель в воду, измерение производится 4 минуты после сварки. В таблице 9 приведены условия эксперимента.

Чтобы оценить увеличение теплоты в каплях, наряду с калориметрическими измерениями измерили поверхностную температуру капель по пункту 4.3.3.

Таблица 9 – Условия эксперимента «измерение количества теплоты капель».

Условие	Значение	Единицы
Скорость подачи проволоки	8	м / мин
Время сварки	5	с
Напряжение при сварке	27,5 – 28,5	В
Поток защитного газа	30	л / мин
Расстояние от первичного наконечника до платы	27	мм

4.3.5 Многослойный шов: практические результаты

Цель этого эксперимента – оценить успех сваривать многослойный шов. Трёхслойную сварку производят, чтобы проверить эффективность нового способа сварки. Манипуляция горелки соответствует ширине валика. Длина шва 200 мм. В таблице 10 приведены условия эксперимента.

4.4 Результаты экспериментов

4.4.1 Сварка валика на плату

Первый результат – первичный ток уменьшается, как вторичный ток и общий ток увеличиваются. Отношение практически линейное, как показано на рисунке 35. Аоки приписывает уменьшение первичного тока к

увеличению температуры проволоки и увеличению скорости расплавления. Такое явление наблюдалось группой Ни в эксперименте при искусственном подогреве проволоки [17].

Таблица 10 – Условия эксперимента «многослойный шов»

Условие	Значение	Единицы
Скорость подачи проволоки	8	м / мин
Скорость движения горелки	Первый валик: 30 Второй валик: 25 Третий валик: 20	см / мин
Вторичный ток	100	А
Напряжение при сварке	22 – 25	В
Поток защитного газа	30	л / мин
Расстояние от первичного наконечника до платы	27	мм

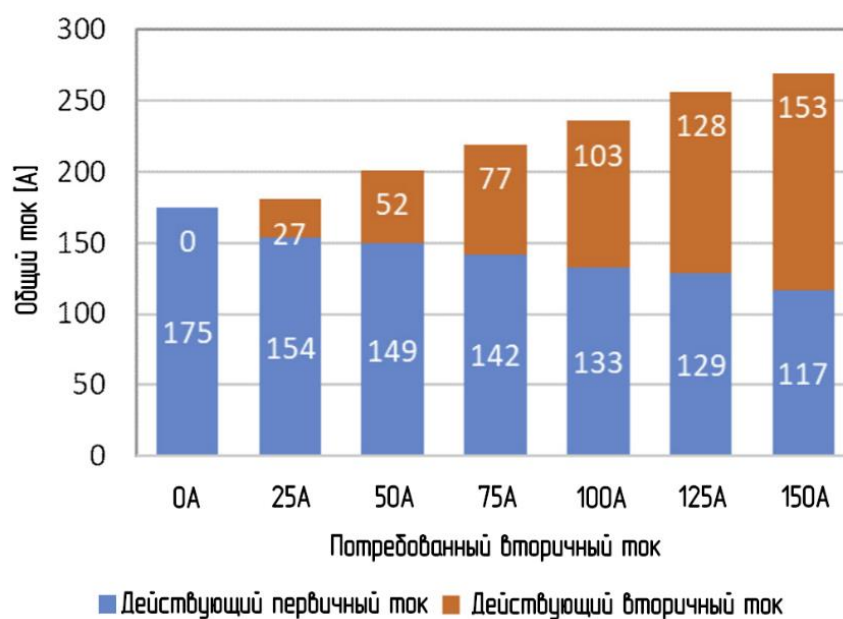
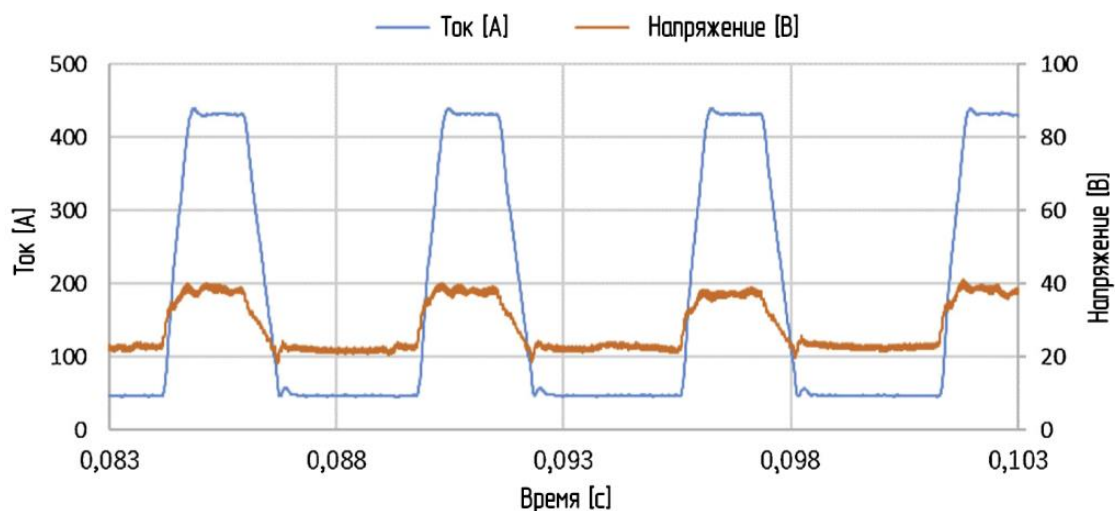


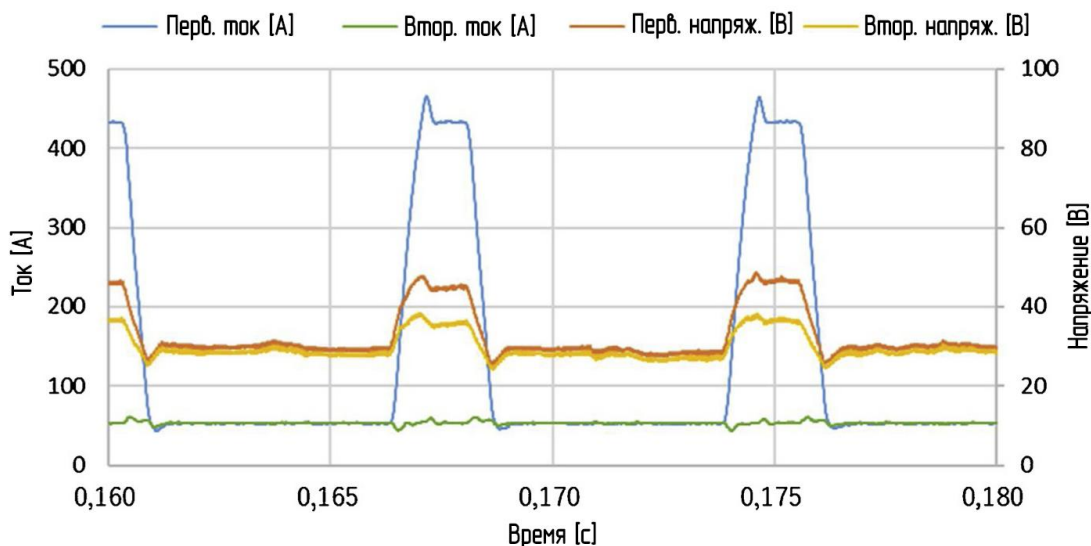
Рисунок 35 – Зависимость первичного тока и общего тока от вторичного тока [12]

Второй результат – увеличение периода основного тока первичного источника питания уменьшает среднее значение первичного тока. Волны тока и напряжения, зависящие от времени, представлены на рисунке 36 для обыкновенной сварки, и на рисунке 37 для сварки двумя источниками питания.



Параметры эксплуатации по таблице 8 с значением вторичного тока 0 А

Рисунок 36 – Волны, зависящие от времени, тока и напряжения для обычного сварки одним источником [12]

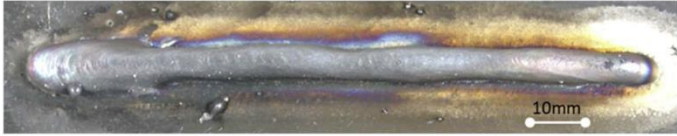
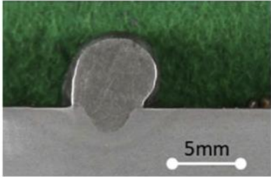
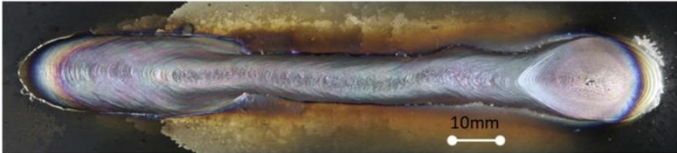
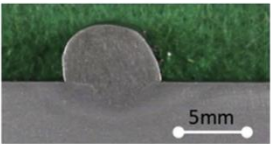
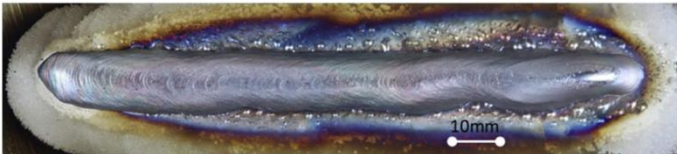
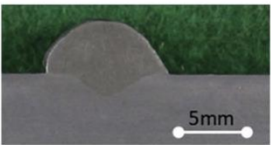
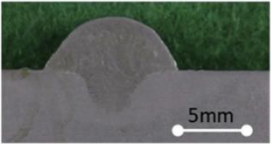


Параметры эксперимента по таблице 8 с значением вторичного тока 50 А

Рисунок 37 – Волны, зависящие от времени, тока и напряжения для сварки двумя источниками [12]

Причиной увеличения периода основного тока является внутренняя подсистема в источнике, которая обеспечивает соотношение периода с средним значением тока. Тем меньше среднее значение тока, чем длиннее период [12].

Третий результат – внешний вид валика и вид сечения валика. Представлен результат на рисунке 38. Глубина провара становится глубже, а

Вторичный ток	Внешний вид валика	Сечение
0 А, как обычная сварка		
50 А		
100 А		
150 А		

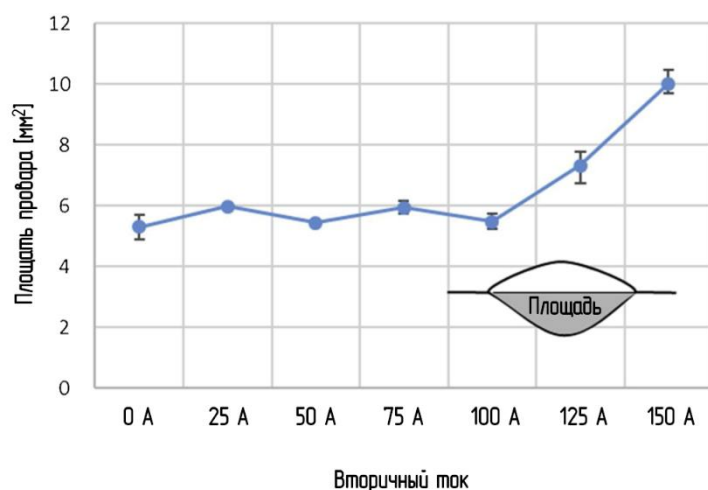
Эксперимент «сварка валика на плату» параметрами по таблице 8.

Рисунок 38 – Внешний вид валика и сечение валика при сварке двумя источниками питания [12]

выпуклость валика уменьшается, добавлением вторичного тока. При значении вторичного тока $I_2 = 100$ А валик извилист из-за вариации длины столба дуги и блуждания катодного пятна.

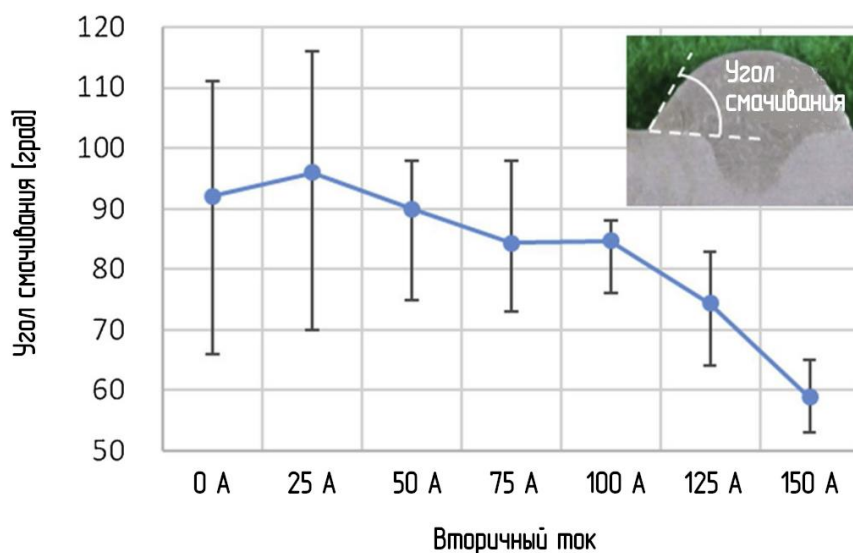
Наблюдали площадь провара и угол смачивания, чтобы количественно оценить глубину провара и форму валика. Результаты представлены на рисунках 39 и 40. При превышении вторичного тока 100 А площадь провара не изменяется.

Зависимость угол смачивания от значения вторичного тока приведена на рисунке 40. Угол смачивания определяется углом перехода шва к основному металлу. Смачиваемость оценивается углом смачивания. При сварке плавящимся электродом в чистом аргоне отсутствие кислорода в расплавленном металле вызывает повышение поверхностного натяжения,



Каждая точка – среднее значение измерений трёх сечений валика.

Рисунок 39 – Зависимость площади провара от вторичного тока [12]



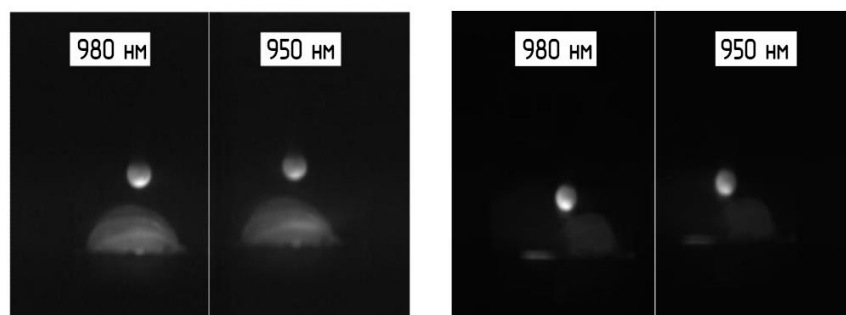
Каждая точка – среднее значение измерений шести сечений валика.

Рисунок 40 – Зависимость угла смачивания от вторичного тока [12]

которое в свою очередь уменьшает смачиваемость. При сварке двумя источниками энергия из высокого вторичного тока увеличивает температуру и уменьшает поверхностное натяжение, а смачиваемость увеличивается.

4.4.2 Измерение поверхностной температуры капель

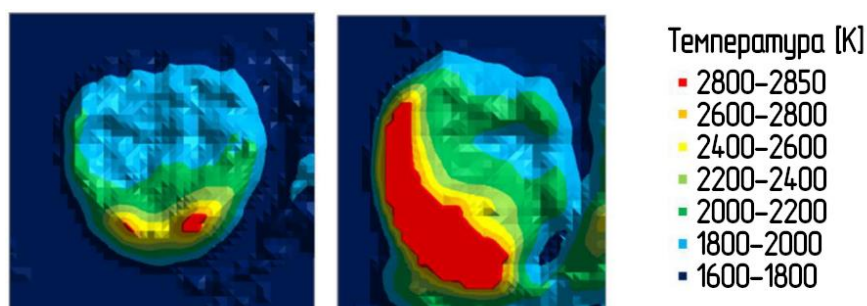
На рисунке 41 приведены спектроскопические образы капель. Из таких



Левая пара фотографии при обычной сварке, а правая пара фотографии при сварке двумя источниками.

Рисунок 41 – Исходные данные для вычисления распространения температур поверхностей [20]

данных дается распространение температур, которые приведены на рисунке 42 [20]. При обычной сварке температуры в диапазоне с температуры плавления до 2000 К широко распространены, но при сварке двумя источниками температуры больше 2200 К широко распространены. Средняя температура на поверхности капли при обычной сварке – 1870 К, а на поверхности при сварке двумя источниками – 2160 К, увеличение приблизительно 300 К.



Слева при обычной сварке, и справа при сварке двумя источниками.

Рисунок 42 – Результат вычисления распределения поверхностных температур капель [20]

4.4.3 Наблюдение дуги

Примерные фотографии форм дуги представлены на рисунке 43.

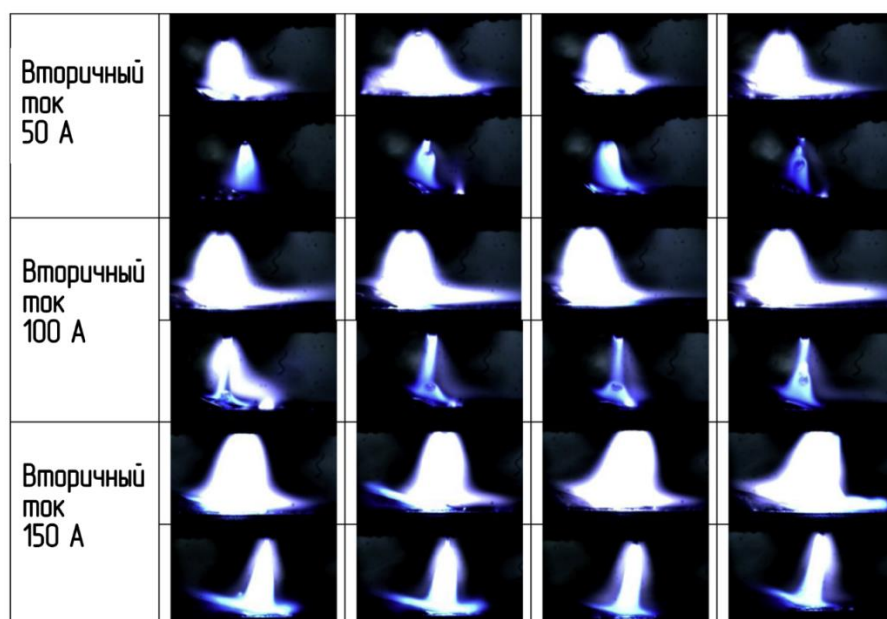


Рисунок 43 – Примерные фотографии форм дуги, снялись видеокамерой высокой скорости [12]

Фотографии при основном значении первичного тока снялись 0,001 с перед наступлением пикового значения. В таблице 11 приведена статистика 10 измерений углов дуги при основном значении первичного тока. Определяется значение 0° тем, как дуга перпендикулярна основному металлу.

Таблица 11 – Статистические результаты измерений угла дуги при основном значении первичного тока [12]

Вторичный ток [А]	Угол дуги [град.]		
	Средний	Диапазон	Среднеквадратическое отклонение
50	3,2	23,9	7,0
100	-6,7	9,5	2,8
150	-8,0	4,4	1,2

Положительный угол определяется углом на переднее направление, а отрицательный угол – назад. Самый главный момент – направление дуги стабильно при значении вторичного тока 150 А, даже при основном значении первичного тока.

4.4.4 Измерение количества теплоты капель

На рисунке 44 представляются результаты измерений количества теплоты капель на единицу массы.

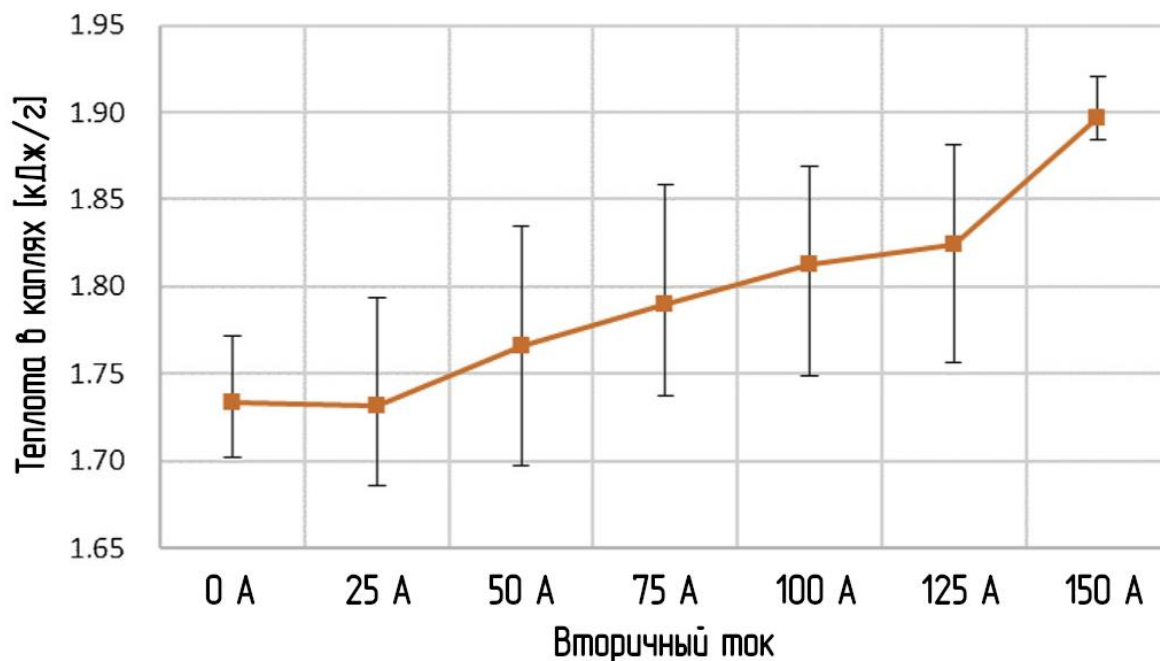


Рисунок 44 – Зависимость количества теплоты капель на единицу массы от вторичного тока [12]

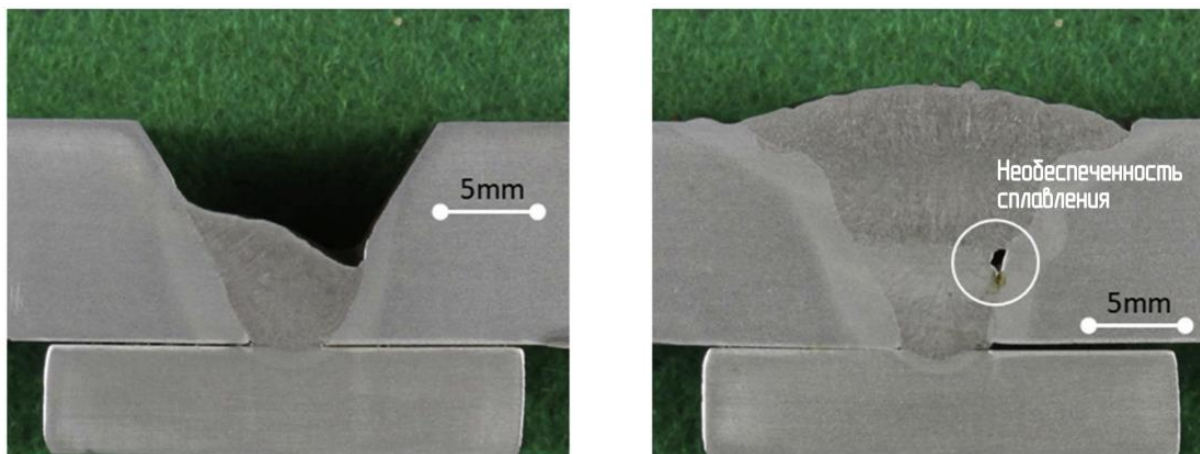
Верхние фотографии каждого случая снялись при пиковом значении первичного тока, а нижние фотографии – при основном значении первичного тока. Направление сварки слева направо.

Есть положительное соотношение количества теплоты от значения вторичного тока. Результаты находятся в хорошем соотношении с измерениями поверхностных температур капель.

Положительное соотношение количества теплоты в каплях от вторичного тока обуславливает увеличение провара и уменьшение выпуклости при сварке двумя источниками.

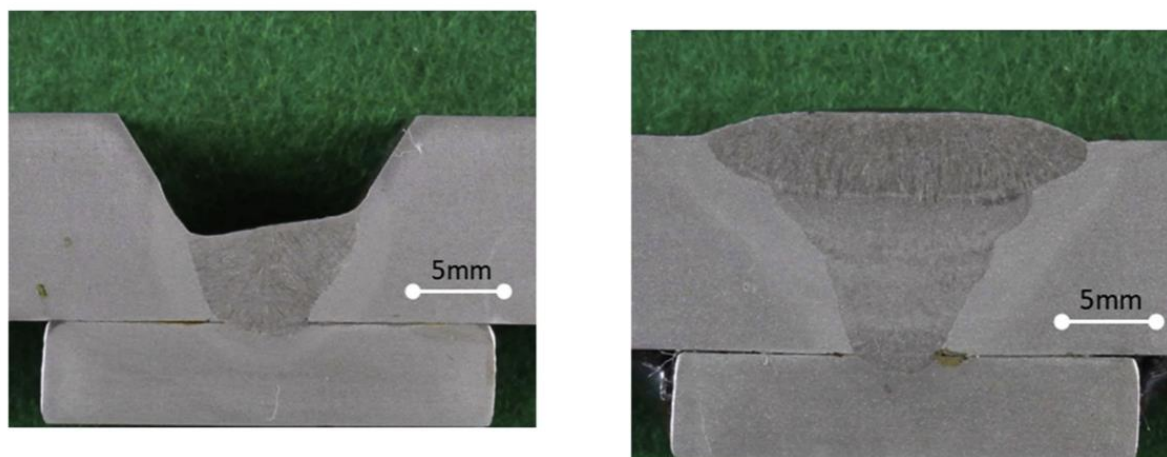
4.4.5 Практические результаты сварки многослойного шва

На рисунке 45 и 46 приведены сечения швов. При сварке двумя источниками питания улучшается смачивание и сплавление. Считается, что результат обуславливается увеличением количества теплоты.



Слева после первого прохода, а справа после облицовочного

Рисунок 45 – Сечение многослойного шва при обычной сварке [12]



Слева после первого прохода, а справа после облицовочного. Устранена необеспеченность сплавления, которая находится на рисунке 45.

Рисунок 46 – Сечение многослойного шва при сварке двумя источниками [12]

4.5 Общие результаты экспериментального исследования

Развитый новый способ сварки плавящимся электродом в среде чистого аргона, при котором можно регулировать скорость подачи проволоки и общий ток независимо друг от друга. Сварка плавящимся электродом двумя источниками питания:

- даёт возможность вводить больше тока, чем при обычной сварке;
- придаёт каплям больше теплоты;
- стабилизирует поход дуги.

Эти характеристики улучшают форму валика и глубину провара от увеличения количества теплоты. Решаемые проблемы, представлены в пункте 1.4, именно:

- проплавляемость сварочного металла увеличивается (смотрите рисунок 39),
- выпуклость валика уменьшается и смачиваемость увеличивается (смотрите рисунок 40),
- увеличивается проплавление при многослойной сварке (смотрите рисунки 45 и 46),
- извилистость валика уменьшается (смотрите рисунок 38).

Всё это результат добавления вторичного тока.

5 Безопасность и экологичность работы: выявить вредные и опасные факторы при сварке плавящимся электродом из одного источника питания и из двух источников питания

Настоящая выпускная квалификационная работа стремится улучшить способ сварки плавящимся электродом путём добавления вторичного источника питания. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы выявляются опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартных средств и мероприятий. Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций (смотрите таблицу 12). Первая операция - очистка поверхностей деталей. Вторая операция - разметка и механическая резка. Третья операция - сборка и прихватка. Четвёртая операция – сварка. Пятая операция - контроль качества. Вообще трубы малой толщины должны быть хорошо упакованы, чтобы исключить правку.

Для выполнения первой операции применяются: переносная пескоструйная установка DMSG-100 или DMSG-160, абразив, очищающий до степени SA-3, сжатый воздух.

Для выполнения второй операции применяются: металлическая линейка 1000 мм, рулетка металлическая 5 м, угольник, чертилка, ленточнопильный станок JET HVBS.

Для выполнения третьей операции применяются: сборочное приспособление, трубки, два полуавтомата Daihen DP-500, аргон, сварочная проволока Св-06Х19Н9Т.

Таблица 12 – Технология изготовления газификатора

Технологическая операция	Должность работника, выполняющего технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1) Очистка поверхности деталей	Слесарь-сборщик	Переносная пескоструйная установка DSMG-100 или DSMG-160	1) Абразив, очищающий до степени SA-3 2) Сжатый воздух
2) Разметка и механическая резка	Слесарь-сборщик, электросварщик	1) Металлическая линейка 1000 мм 2) Рулетка металлическая 5 м 3) Угольник 4) Чертилка 5) Ленточнопильный станок	Маркер по металлу
3) Сборка и прихватка	Электросварщик	1) Сборочное приспособление 2) Струбцины 3) Два полуавтомата DP-500	1) Проволока 2) Абразивный круг 3) Аргон
4) Сварка	Электросварщик	1) Сборочное приспособление 2) Струбцины 3) Два полуавтомата DP-500	1) Проволока 2) Абразивный круг 3) Аргон
5) Контроль качества	Дефектоскопист	1) Набор визуально-измерительного контроля 2) Радиографическая станция, источник излучения АРИНА-7	1) Универсальный шаблон сварщика УШС-3 2) Карманная лупа ЛАП-4 3) Фотографическая лента

Для выполнения четвёртой операции применяются: сборочное приспособление, струбцины, два полуавтомата Daihen DP-500, аргон, сварочная проволока Св-06Х19Н9Т.

Для выполнения пятой операции применяются: универсальный шаблон сварщика УШС-3; карманная лупа ЛАП-4; источник рентгеновского излучения АРИНА-7; фотографическая лента.

При обзоре сварки одним источником и сварки двумя источниками не нашлись значительной разницы в технологическом процессе изготовления.

5.1 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в

соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса (смотрите таблицу 13).

Таблица 13 – Идентификация профессиональных рисков

Операция	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источниками опасного или вредного фактора
1) Очистка поверхности проката	- Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны.	Переносная пескоструйная установка DBS 100 или DBS 200
2) разметка и механическая резка	- Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	- Ленточнопильный станок JET HVBS; - линейка металлическая; - угольник; - заготовки
3) сборка с прихваткой	- Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение; - световое излучение; - взрыв баллонов	- Универсальная сварочная оснастка; - трубки; - угольник; - линейка; - сварочный источник питания; - зачистная машинка; - сварочная дуга; - сварочный аэрозоль; - нагретые края изделия; - аргон в баллонах
4) сварка	- Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение; - световое излучение; - взрыв баллонов	- Универсальная сварочная оснастка; - трубки; - угольник; - линейка; - сварочный источник питания; - зачистная машинка; - сварочная дуга; - сварочный аэрозоль; - нагретые края изделия; - аргон в баллонах
5) контроль качества	- Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - рентгеновское излучение	- набор визуально-измерительного контроля; - источник рентгеновского излучения

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

5.2 Методы и средства снижения профессиональных рисков

В таблице 14 приведены методы и средства для снижения профессиональных рисков.

Таблица 14 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Опасный или вредный фактор, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1	2	3
1) Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда

Продолжение таблицы 14

1	2	3
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня 8) световое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	1) Спецодежда 2) Сварочная маска
9) рентгеновское излучение	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	-

5.3 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е», горение горящих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением [9, статья 8]. Анализ опасных факторов такого пожара (смотрите таблицу 15) позволяет сформулировать технические предложения (смотрите таблицу 16).

Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий (смотрите таблицу 17).

Таблица 15 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сборки и сварка
Наименование оборудования	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счёт воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением «Е»
Наименование основных опасных факторов пожара	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 16 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения

Таблица 17 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Участок для сборки и сварки (механизированная и автоматическая сварка)
Перечень мероприятий	- инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания; - деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.
Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности	На участке необходимо иметь: - первичные средства пожаротушения в достаточном количестве; - защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

5.4 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию (смотрите таблицу 18) этих негативных факторов и предложить меры защиты (смотрите таблицу 19) от этих факторов.

Таблица 18 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Сборка и сварка
Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции
Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы
Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.
Факторы, негативно влияющие на литосферу	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор, как бытовой, так и производственный.

Таблица 19 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и сварки рассматриваемого изделия.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки ёмкости цистерны с применением механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

6 Расчет экономической эффективности работы

6.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений

В настоящей выпускной квалификационной работе предложена новая технология сварки в среде чистого газа. Технология предусматривает последовательное выполнение операций: очистка поверхности проката, разметка и механическая резка, сборка с прихваткой, сварка и зачистка, контроль качества. Только третья и четвёртая операции выполняются новой технологией.

При выполнении базовой технологии сварки применяется сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе чистого аргона с прутами Св-06Х19Н10Т. При выполнении прихваток и сварных швов в проектной технологии предложена сварка плавящимся электродом двумя источниками в среде чистого аргона и проволокой Св-06Х19Н10Т.

Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ с наилучшими механическими свойствами. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Таким образом, в настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям (смотрите таблицу 20). Вычисление стоимости оборудования $C_{об}$, которое используется для выполнения операций технологического процесса, представляется в таблице 21.

Таблица 20 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	P_p		5	5
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	C_q	Р/ч	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$		1,23	1,00
<i>Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы</i>				
Доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
Отчислений на дополнительную заработную плату	K_d		1,88	1,88
Отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Выполнения нормы	$K_{вн}$		1,10	1,10
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$C_{об}$	Р	452 204	487 505
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	14,45	42,56
<i>Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование</i>				
Норма амортизации оборудования	H_a	%	21,5	21,5
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{тз}$	%	5	5
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}, K_{дем}$	%	3	5
Стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$C_{эз}$	Р/кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД		0,85	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	$S_{об}$	м ²	500	500
<i>Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади</i>				
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эпл}$	Р/(м ² ·год)	2000	2000
Цена производственных площадей	$C_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации производственных площадей	$H_{а.пл.}$	%	5	5
Коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{пл}$		3	3
<i>Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади</i>				
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$		1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов	$K_{зав}$		1,15	1,15
Коэффициента эффективности капитальных вложений	E_n		0,33	0,33

Таблица 21 – Вычисление стоимости оборудования $C_{об}$, которое используется для выполнения операций технологического процесса.

Требуемое оборудование	Технологический процесс	
	Базовый	Проектный
Оборудование для технологических процессов 1,2,5 (смотрите таблицу 5.1)	100 000 Р	100 000 Р
Сварочная горелка Esab TXH-401W HD 4M OKC50	21 579 Р	
Сварочный аппарат Esab TIG 2200i	281 625 Р	
Машина заточки MANOHR WAG40 Шторм	49 000 Р	
Сварочный аппарат Daihen DP-500, две единицы		378 462 Р
Сварочная горелка TBi-250		9043 Р
Итого, $C_{об}$	452 204 Р	487 505 Р

Исходные стоимости взяты из открытых источников в интернете 23.05.2021. Цена сварочного аппарата Daihen DP-500 вычислена из цены на японском рынке 280 000 ¥. Стоимости обмена валюта и растаможки не учтены.

6.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных (смотрите таблицу 20): суммарное число рабочих дней в календарном году $D_p = 247$ дней, длительность рабочей смены $T_{см} = 8$ ч, количество предпраздничных дней $D_{п} = 4$ дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни $T_{п} = 1$ ч, принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен $K_{см} = 1$. Таким образом рассчитывается фонд времени по зависимости:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} \cdot (5)$$

Расчёты, выполненные согласно уравнению 5 после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_H = (247 \cdot 8 - 4 \cdot 1) \cdot 1 = 1972 \text{ ч.}$$

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени $B = 15\%$:

$$F_3 = F_H \cdot (1 - B/100). (6)$$

Расчёты, выполненные согласно уравнению 6 после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_3 = 1972 \cdot (1 - 15/100) = 1676 \text{ ч.} (7)$$

6.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время $t_{шт}$ является суммой затрат времени: машинного времени $t_{маш}$ для выполнения основных операций технологического процесса; вспомогательного времени $t_{всп}$ для выполнения вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса; времени обслуживания $t_{обсл}$ для текущего и мелкого ремонта оборудования; времени $t_{отд}$ на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного времени $t_{пз}$:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз}. (8)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно уравнению 8, составит:

$$t_{шт,баз} = 8,95 \text{ ч} \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 15,7 \text{ ч.}$$

$$t_{шт,проектн} = 8,00 \text{ ч} \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 14,0 \text{ ч.}$$

Годовая программа Π_{Γ} выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно уравнению 6 эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$ и согласно уравнению 8 штучного времени $t_{\text{шт}}$:

$$\Pi_{\Gamma} = F_{\text{э}}/t_{\text{шт}}. (9)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно уравнению 9 после подстановки численных значений:

$$\Pi_{\Gamma, \text{баз}} = 1676/15,7 = 106 \text{ газификаторов за год};$$

$$\Pi_{\Gamma, \text{проектн}} = 1676/14,0 = 119 \text{ газификаторов за год}.$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 25$ газификаторов в год.

При этом необходимое количество $n_{\text{расч}}$ оборудования для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса вычисляется с учётом коэффициента $K_{\text{вн}}$ выполнения нормы (для базового и проектного варианта технологий принимаем $K_{\text{вн}} = 1,10$):

$$n_{\text{расч}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma}}{F_{\text{э}} \cdot K_{\text{вн}}}. (10)$$

Требуемое количество оборудования $n_{\text{расч}}$ для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно уравнению (10), составляет:

$$n_{\text{расч, баз}} = \frac{15,7 \cdot 25}{1676 \cdot 1,10} = 0,213, \quad n_{\text{расч, проект}} = \frac{14 \cdot 25}{1676 \cdot 1,10} = 0,190.$$

Необходимое количество оборудования $n_{\text{пр}}$, которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно уравнению (10) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии $n_{\text{пр}} = 1$. Коэффициент $K_{\text{загруз}}$ загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_{\text{загруз}} = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}}. \#(11)$$

Значения коэффициентов загрузки $K_{\text{загруз}}$ для базового и проектного вариантов технологии составляют:

$$K_{\text{загруз, баз}} = 0,213/1 = 0,213, \quad K_{\text{загруз, проект}} = 0,190/1 = 0,190.$$

6.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

Выполнение дуговой сварки предусматривает расходование сварочных материалов. При ручной дуговой сварке расходным материалов будут сварочные штучные электроды. При механизированной сварке в среде защитных газов проволокой сплошного сечения расходными материалами будут защитный газ и сварочная проволока.

Затраты M на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов H_p , цены материалов C_m и коэффициента $K_{тз}$ транспортно-заготовительных расходов:

$$M = \left(\sum_i C_{mi} \cdot H_{pi} \right) \cdot \left(1 + \frac{K_{тз}}{100} \right). \quad (12)$$

Затраты на материалы, рассчитанные согласно уравнению 12 для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_{\text{баз}} = \left(\frac{4125}{5 \text{ кг}} \cdot 0,547 \text{ кг} + \frac{1170 \text{ ₺}}{12 \text{ 000 л}} \cdot 1776 \text{ л} \right) \cdot 1,05 = 655,66 ,$$

$$M_{\text{проект}} = \left(\frac{346 \text{ ₺}}{1 \text{ кг}} \cdot 0,547 \text{ кг} + \frac{1170 \text{ ₺}}{12 \text{ 000 л}} \cdot 444 \text{ л} \right) \cdot 1,05 = 244,18 .$$

Объём основной заработной платы $З_{\text{осн}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени $t_{\text{шт}}$, часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$ и коэффициента $K_{\text{д}}$ доплат:

$$З_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (13)$$

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу 13 составляет:

$$З_{\text{осн,баз}} = 15,7 \cdot 200 \cdot 1,88 = 5903,2 ,$$

$$З_{\text{осн,проект}} = 14,0 \cdot 200 \cdot 1,88 = 5264 .$$

Объём дополнительной заработной платы $З_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии,

рассчитаем с учётом основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{доп}}$ дополнительных доплат ($K_{\text{доп}} = 12\%$):

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} / 100. (14)$$

Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно уравнению 14 после подстановки значений составляет:

$$Z_{\text{доп,баз}} = 5903,2 \cdot 12 / 100 = 708,39 ,$$

$$Z_{\text{доп,проект}} = 5264 \cdot 12 / 100 = 631,68 .$$

Фонд заработной платы ФЗП вычисляется как сумма основной $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной $Z_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\text{ФЗП}_{\text{баз}} = 5903,2 + 708,39 = 6611,59 ,$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проект}} = 5264 + 631,68 = 5895,68 .$$

Объём отчислений $O_{\text{сн}}$ из фонда заработной платы на социальные нужды определяем с учётом коэффициента $K_{\text{сн}}$ отчислений на социальные нужды:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100. (15)$$

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в формуле 15 соответствующих значений:

$$O_{\text{сн,баз}} = 6611,59 \cdot 34 / 100 = 2247,95 ,$$

$$O_{\text{сн,проект}} = 5895,68 \cdot 34 / 100 = 2004,54 .$$

Затраты $Z_{\text{об}}$ на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат $A_{\text{об}}$ на амортизацию и $P_{\text{эз}}$ на электрическую энергию:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{эз}}. (16)$$

Величина $A_{\text{об}}$ амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования $C_{\text{об}}$, нормы амортизации $H_{\text{а}}$, машинного времени $t_{\text{маш}}$, и

эффективного фонда времени F_3 с использованием зависимости:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. (17)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в формуле 17 соответствующих значений, составляет:

$$A_{об,баз} = 452\,204 \cdot 21,5 \cdot 8,95 / 1676,2 / 100 = 519,13,$$

$$A_{об,проект} = 487\,405 \cdot 21,5 \cdot 8,00 / 1676,2 / 100 = 500,25.$$

Расходы $P_{э}$ на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования $M_{уст}$, цены электрической энергии $C_{э}$ для предприятий, машинного времени $t_{маш}$ и КПД оборудования:

$$P_{э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{э}}{КПД}. (18)$$

Рассчитанные после подстановки в формуле 18 соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{э,баз} = 14,45 \cdot 8,95 \cdot 3,02 / 0,85 = 459,5,$$

$$P_{э,проект} = 42,56 \cdot 8,00 \cdot 3,02 / 0,85 = 1209,71.$$

Рассчитанные после подстановки в формуле 16 соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$Z_{об,баз} = 519,13 + 459,5 = 978,63,$$

$$Z_{об,проект} = 500,25 + 1209,71 = 1709,96.$$

Технологическая себестоимость $C_{тех}$ рассчитывается как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{сн}$ и затрат на оборудование $Z_{об}$:

$$C_{тех} = M + \Phi ЗП + O_{сн} + Z_{об}. (19)$$

Рассчитанная после подстановки в формуле 19 соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному

вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{тех, баз}} = 655,66 + 6611,59 + 2247,95 + 978,63 = 10\,493,83,$$

$$C_{\text{тех, проект}} = 244,18 + 5895,68 + 2004,54 + 1709,96 = 9854,36.$$

Цеховая себестоимость $C_{\text{цех}}$ рассчитывается с учётом технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{цех}}$ цеховых расходов:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + K_{\text{цех}} \cdot Z_{\text{осн}}. \quad (20)$$

Рассчитанная после подстановки в формуле 20 соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{цех, баз}} = 10\,493,83 + 1,5 \cdot 5903,2 = 10\,493,83 + 8854,8 = 19\,348,63,$$

$$C_{\text{цех, проект}} = 9854,36 + 1,5 \cdot 5264 = 9854,36 + 7896 = 17\,750,36.$$

Заводская себестоимость $C_{\text{зав}}$ рассчитывается с учётом цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{зав}}$ заводских расходов:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + K_{\text{зав}} Z_{\text{осн}}. \quad (21)$$

Рассчитанная после подстановки в формуле 21 соответствующих значений заводская себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{зав, баз}} = 19\,348,63 + 1,15 \cdot 5903,2 = 19\,348,63 + 6788,68 = 26\,137,31,$$

$$C_{\text{зав, проект}} = 17\,750,36 + 1,15 \cdot 5264 = 17\,750,36 + 6053,6 = 23\,803,96.$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблице 22.

6.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты $K_{\text{общ, баз}}$ для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования $Ц_{\text{об, баз}}$,

коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{загруз, баз}}$ рассчитанного для базового варианта согласно уравнению 11,

Таблица 22 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки. Все значения в единицах рублей.

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, Р	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	M	656	244
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	6612	5896
3. Отчисления на социальной нужды	$O_{\text{сн}}$	2248	2005
4. Затраты на оборудование	$З_{\text{об}}$	979	1710
5. Технологическая себестоимость	$C_{\text{тех}}$	10 494	9854
6. Цеховые расходы	$P_{\text{цех}}$	8855	7896
7. Цеховая себестоимость	$C_{\text{цех}}$	19 349	17 750
8. Заводские расходы	$P_{\text{зав}}$	6789	6054
9. Заводская себестоимость	$C_{\text{зав}}$	26 137	23 804

$$K_{\text{общ, баз}} = C_{\text{об, баз}} \cdot K_{\text{загруз, баз}} \cdot (22)$$

Остаточную стоимость $C_{\text{об, баз}}$ оборудования для базового варианта рассчитаем с учётом рыночной стоимости оборудования $C_{\text{рыноч}}$, срока службы оборудования $T_{\text{сл}}$ уже 4 года и нормы амортизации H_a оборудования:

$$C_{\text{об, баз}} = C_{\text{рыноч}} - (C_{\text{рыноч}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (23)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в формуле (23) соответствующих значений, составляет:

$$C_{\text{об, баз}} = 452\,204 - (452\,204 \cdot 4 \cdot 21,5 / 100) = 63\,308,56 ,$$

$$K_{\text{общ, баз}} = 1 \cdot 63\,308,56 \cdot 0,213 = 13\,484,73 .$$

Капитальные затраты $K_{\text{общ, проект}}$ для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование $K_{\text{об, проект}}$ вложений в производственные площади $K_{\text{пл, проект}}$, сопутствующих вложений $K_{\text{соп, проект}}$:

$$K_{\text{общ, проект}} = K_{\text{об, проект}} + K_{\text{пл, проект}} + K_{\text{соп, проект}} \cdot (24)$$

Капитальные вложения $K_{\text{об, проект}}$ в оборудование для выполнения

операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования $\Pi_{об,проект}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{загруз,проект}$ по проектному варианту:

$$K_{об,проект} = \Pi_{об,проект} \cdot K_{тз} \cdot K_{загруз,проект} \cdot (25)$$

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в формуле 25 соответствующих значений составляет:

$$K_{об,проект} = 487\,505 \cdot 1,05 \cdot 0,190 = 97\,257,25.$$

Сопутствующие капитальные вложения $K_{соп}$ по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж $P_{дем}$ базового оборудования и расходов на монтаж P проектного оборудования:

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{мон}. (26)$$

Расходы на демонтаж $P_{дем}$ и монтаж $P_{мон}$ рассчитываем с учётом стоимости оборудования $\Pi_{об,баз}$ и $\Pi_{об,проект}$ по базовому и проектному вариантам, коэффициентов $K_{дем}$ и $K_{мон}$ на демонтаж и монтаж оборудования:

$$P_{дем} = \Pi_{об,баз} \cdot K_{дем}, (27)$$

$$P_{мон} = \Pi_{об,проект} \cdot K_{мон}. (28)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в уравнениях 26, 27 и 28 соответствующих значений:

$$P_{дем} = 63\,308,56 \cdot 0,05 = 3165,43,$$

$$P_{мон} = 487\,405 \cdot 0,03 = 14\,625,15,$$

$$K_{соп} = 14\,625,15 + 3165,43 = 17\,790,58.$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в уравнении 24 соответствующих значений:

$$K_{общ,проект} = 97\,257,25 + 17\,790,58 = 115\,047,8.$$

Дополнительные капитальные вложения $K_{доп}$ рассчитываем исходя из капитальных затрат $K_{общ,проект}$ и $K_{общ,баз}$ для проектного и базового вариантов технологии:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ,проект}} - K_{\text{общ,баз}}, (29)$$

$$K_{\text{доп}} = 115\,047,8 - 13\,484,73 = 101\,563,1.$$

Величину удельных капитальных вложений $K_{\text{уд}}$ рассчитываем с учётом годовой программы $\Pi_{\text{г}}$:

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ}}}{\Pi_{\text{г}}}. (30)$$

После подстановки в уравнение 30 соответствующих значений:

$$K_{\text{уд,баз}} = 13\,484,73/25 = 539,39 \text{ р/ед.},$$

$$K_{\text{уд,проект}} = 115\,047,8/25 = 4601,92 \text{ р/ед.}$$

6.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости $t_{\text{шт}}$ при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени $t_{\text{шт,баз}}$ и $t_{\text{шт,проект}}$ по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{шт,баз}} - t_{\text{шт,проект}}}{t_{\text{шт,баз}}} \cdot 100\%. (31)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно уравнению 31 составило:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{15,7 - 14,00}{15,7} \cdot 100\% = 11\%.$$

Расчёт повышения производительности труда $\Pi_{\text{т}}$ при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости $t_{\text{шт}}$:

$$\Pi_{\text{т}} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}}. (32)$$

Расчётное повышение производительности труда согласно (32) составило:

$$\Pi_{\text{т}} = \frac{100 \cdot 11}{100 - 11} = 12\%.$$

Расчёт снижения технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$ при внедрении в производство проектной технологии выполняется по формуле:

$$\Delta C_{\text{тех}} = \frac{C_{\text{тех,баз}} - C_{\text{тех,проект}}}{C_{\text{тех,баз}}} \cdot 100\%. \quad (33)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно уравнению 19 составило:

$$\Delta C_{\text{тех}} = \frac{10\,493,83 - 9854,36}{10\,493,83} \cdot 100\% = 6,1\%.$$

Расчёт условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$, равна ожидаемой прибили $\Pi_{\text{рож}}$, которая может быть получена при принятии проектной технологии, выполним следующим образом:

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = \Pi_{\text{рож}} = (C_{\text{зав,баз}} - C_{\text{зав,проект}}) \cdot \Pi_{\text{г}}. \quad (34)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в уравнении 34 соответствующих значений составила:

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (26\,137,31 - 23\,803,96) \cdot 25 = 58\,333,75.$$

Срок окупаемости $T_{\text{ок}}$ дополнительных капитальных вложений определим следующим образом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\mathcal{E}_{\text{уг}}} \cdot \# \quad (35)$$

Срок окупаемости после подстановки в уравнении 35 соответствующих значений составил:

$$T_{\text{ок}} = \frac{101\,563,1}{58\,333,75} = 1,7 \text{ год.}$$

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{г}}$, получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}}. \quad (36)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в уравнении 36 соответствующих значений составил:

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = 58\,333,75 - 0,33 \cdot 101\,563,1 = +24\,817,93.$$

Выводы по экономическому разделу

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется сварка неплавящимся электродом в среде чистого аргона. Недостатки применения сварки неплавящимся электродом: малая производительность выполнения сварочных работ, повышенный расход аргона.

Проектный вариант технологии предполагает использование сварки двумя источниками в среде чистого аргона проволокой сплошного сечения. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Однако в течение стройки газификатора мало времени делится на сварочную работу.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 11%, повышение производительности труда на 12%, уменьшение технологической себестоимости на 6,1%.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 58 тыс. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет +24 тыс. рублей, так как коэффициент эффективности капитальных вложений высок, всего 0,33. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 1,7 года. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о неплохой экономической эффективности проектной технологии. При открытии нового цеха без оборудования можно внедрить эту новую технологию.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварки высокопрочной стали и хладостойкой стали.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется либо сварка неплавящимся электродом в среде чистого аргона либо сварка плавящимся электродом в среде сварочной смеси в соотношении аргона 94% и кислорода 6%. Недостатки применения сварки неплавящимся электродом в среде чистого аргона:

- трудозатратность способа выполнения сварочных работ;
- повышенный расход аргона до 6 раз из-за длинного времени выполнить работ.

Недостатками применения сварки плавящимся электродом в среде сварочной смеси аргона 94% и кислорода 6% является ухудшение механических свойств сварного шва.

Рассматривается альтернативный способ сварки плавящимся электродом в среде чистого аргона. Таким способом можно достичь наилучших механических свойств сварного шва и качественной работы.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет плюс 24 тыс. рублей в условиях цеха с уже существующим оборудованием.

Срок окупаемости капитальных затрат составляет 1,7 года. Возможность рассмотрения при вооружении нового цеха.

Список используемой литературы и используемых источников

1. ГОСТ 23055-78, Контроль неразрушающий, сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля. – Москва, 1978. – 8 с.
2. ГОСТ 32569, Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химических опасных производствах. – Москва, 2015. – 131 с.
3. Крампит Н., Крампит А. Способ и устройство для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2014. № 2. С. 114 – 121.
4. Куликов В. Технология сварки плавлением и термической резки : учебник. М. : ИНФРА-М, 2016. 463 с.
5. Лебедев В. Тенденции развития механизированной сварки с управлением переносом электродного металла. // Автоматическая сварка. 2010. № 10. С. 45–53.
6. РД 34.15.132-96, Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов. / под ред. С. Якобсон. М., 2001. 54 с.
7. Сигалов Л. Сборник правил и руководящих материалов по котлонадзору. 4-е, переработанное и дополненное. М. : Недра, 1977. 576 с.
8. Справочник по конструкционным материалам / Б. Арзамасов, Т. Соловьева, С. Герасимов [и др.] ; под ред. Б. Арзамасов, Т. Соловьева. М. : МГТУ, 2006. 640 с.
9. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 28.07.2008 № 123 (ред. от 30.04.2021). URL : <http://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-22.07.2008-N-123-FZ> (дата обращения: 19.05.2021).
10. Ульянин Е., Сорокина Н. Стали и сплавы для криогенной техники. М. : Металлургия, 1984. 208 с.

11. Characteristic of ionized gas metal arc processing. / M. Tanaka [и др.] // Surface Coating Technology. 2008. Т. 202. С. 5251–5254.
12. Development of novel MIG welding process with duplex current feeding / A. Aoki [и др.] // Journal of Manufacturing Processes. 2019. Т. 47, № 2019. С. 74–82.
13. Droplet temperature measurement in metal inert gas welding process by using two color temperature measurement method / S. Mamat [и др.] // Quarterly Journal of the Japan Welding Society. 2017. Т. 35, № 2. С. 160s–164s.
14. Haidar J., Farmer A. Surface temperature measurements for tungsten-based cathodes of high-current free-burning arcs // Journal of Physics D: Applied Physics. 1995. Т. 28, № 10. С. 2089–2094.
15. Katayama T., Tashiro S., Tanaka M. Improvement of bead formation of plasma MIG welding in pure argon atmosphere // Quarterly Journal of the Japan Welding Society. 2011. Т. 29. С. 39s–42s.
16. Kobelco Welding Handbook. Welding Consumables and Processes. Токио: 2009. 401 с.
17. Ni J., Gao H. Effect of wire temperature on the weld formation in GMAW // Advanced Materials Research. 2019. Т. 652–654. С. 2289–2292.
18. SM490A: Chemical composition, standards and properties [Электронный ресурс]. URL: http://steeljis.com/jis_steel_datasheet.php?name_id=334 (дата обращения: 22.05.2021).
19. Study for TIG–MIG hybrid welding process / S. Kanemaru [и др.] // Weld World. 2014. Т. 58. С. 11–18.
20. Wilson D. V., Tromans T. K. Effect of strain aging on fatigue damage in low-carbon steel // Acta Metallurgica. 1970. vol. 18. P. 1197–1208.
21. 微量酸素軸流局部添加による Ar-MIG アーク溶接特性 / 銭谷 哲 [и др.] // 溶接学会論文集. 2007. Т. 25, № 1. С. 187–195.
22. 上園 敏郎, 全 紅軍. デジタルフィルタリング処理溶接電源の

MIG 溶接への適用 // 溶接学会誌. 2007. T. 76, № 4. C. 243–246.

23. 中村 照美, 平岡 和雄. 純 Ar 中での GMA 溶接を可能とする
共金系 9 % Ni 鋼用同軸複層ワイヤ // 溶接学会論文集. 2012. T. 30, № 3. C.
254–261.

24. 赤外線二色放射測温法による GMA 溶接の溶滴温度測定 / 山崎
圭 [и др.] // 溶接学会論文集. 2008. T. 26, № 3. C. 214–219.

25. 青木, 篤人. 二段給電式ミグ溶接の溶接プロセスの解明と実
用化に 関する研究: дис. ... канд. / 青木, 篤人. – 大阪府吹田市山田丘 2 –
1 : 大阪大学大学院工学研究科, 06.2020.