

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 кафедры)

05.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Технология сварки кольцевых швов трубопровода диаметром 200 мм
из алюминиевых сплавов

Студент	<u>Д.С. Кузьмин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>Г.М. Короткова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>А.Г. Егоров</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>И.В. Краснопевцева</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>П.А. Корчагин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

Цель настоящей работы – повышение производительности и качества при сварке трубопровода из алюминиевого сплава за счет подбора современных технологий сварки. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Выбран способ сварки
2. Разработан технологический процесс сварки трубопровода
3. Подобрано оборудование для реализации разработанного технологического процесса
4. Предусмотрены мероприятия для защиты жизни и здоровья производственного персонала.
5. Произведена экономическая оценка мероприятий технического характера, разработанных в проекте.

Пояснительная записка содержит 71 стр., 12 рисунков, 6 таблиц.

Анализ способов сварки показал, что наиболее эффективно для трубопровода диаметром 200 мм применение нагрева сжатой дугой и переменного тока с разнополярными импульсами. Такая технология реализуется на оборудовании фирмы Fronius. Разработана технология сварки соединений. Подобрано соответствующее оборудование фирмы Fronius - источник питания MW450, плазменный модуль FPM, механизм подачи присадочной проволоки KD 4000, система перемещения плазмотрона, система управления процессом сварки FPA 2003-Plasma.

Для защиты персонала от вредных факторов предложены соответствующие технические и организационные мероприятия.

Проведена экономическая оценка проекта.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ исходных данных и известных технических решений	7
1.1 Базовая технология сварки алюминиевого трубопровода.....	7
1.2 Анализ свойств материала трубопровода.....	9
1.3 Анализ современных способов дуговой сварки алюминия.....	11
1.4 Задачи бакалаврской работы.....	17
2 Разработка проектной технологии	19
2.1 Выбор способа плазменной сварки алюминиевых трубопроводов.....	19
2.2 Выбор вспомогательных сварочных материалов	30
2.3 Разработка технологии сварки алюминиевого трубопровода.....	33
3 Оборудование для реализации разработанного технологического процесса	36
4 Безопасность и экологичность рассматриваемого объекта	38
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.	38
4.2 Риски, сопровождающие технологию сварки труб алюминиевого трубопровода.	38
4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков	40
4.4. Мероприятия по пожарной безопасности участка сварки.....	41
4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.....	43
Заключение по разделу	45
5 Экономическая эффективность проекта.....	46
5.1 Исходные данные для экономического обоснования	47
сравниваемых вариантов	47
5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса.....	48
5.3 Расчет затрат на новое оборудование	49

5.4 Расчет технологической себестоимости	52
5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений.....	61
Выводы по разделу.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	64

ВВЕДЕНИЕ

Некоторые производства требуют сжатых газов высокой чистоты. В частности чистый воздух требуется на предприятиях фармацевтической, приборостроительной электронной промышленности. Помимо многоступенчатой системы фильтрации для подачи воздуха в помещения и зоны требуются трубопроводы из алюминия, реже из нержавеющей стали.

В настоящее время на рынке представлена широкая гамма алюминиевых трубопроводов, причем, для соединения труб между собой предлагается механическое крепление. В целом, к достоинствам таких систем следует отнести легкость монтажа. Сборка при помощи фитингов обеспечивает высокую герметичность соединения, не требуются тяжелые и неповоротливые инструменты. С учетом широкого ассортимента фитингов, переходников, тройников, угловых соединений клипс возможно создание любой требуемой конфигурации трубопровода.

Однако максимальный внутренний диаметр труб и соединительных элементов для таких трубопроводов составляет 150 мм. Расчеты трубопровода показали, что обеспечить требуемую пропускную способность может алюминиевая труба диаметром 200 мм. Таким образом, разработка технологии соединения компонентов алюминиевого трубопровода диаметром 200 мм является актуальной.

Вообще, соединение алюминиевых деталей сваркой возможно самыми разными способами. Возможна сварка штучными электродами, такими, как ОЗА-1, ОЗА-2. Учитывая, что получение сваркой соединений из алюминия и его сплавов затруднено, в первую очередь, наличие на поверхности алюминия плотной и прочной пленки оксида, в состав штучных электродов вводят хлористые и фтористые соли щелочных и щелочно-земельных металлов. Данные вещества обеспечивают удаление пленки оксидов.

Также сваривают алюминий дуговой сваркой под флюсом и по слою флюса, газопламенной и контактной сваркой.

Однако наибольшее распространение, особенно при сварке алюминия

малых толщин, получил способ сварки неплавящимся электродом в среде аргона. В настоящее время разработаны технологии механизированной и автоматизированной сварки алюминия неплавящимся электродом в среде аргона.

Таким образом, определим цель настоящей работы следующим образом – повышение производительности и качества при сварке трубопровода из алюминиевого сплава за счет подбора современных технологий сварки.

1 Анализ исходных данных и известных технических решений

1.1 Базовая технология сварки алюминиевого трубопровода

Первая операция базового технологического процесса входной контроль:

- 1) проверка сопроводительной документации (сертификаты, паспорта) на листовую алюминий;
- 2) проверка качества сварочных материалов;
- 3) проверка состояния сварочного оборудования и инструмента;
- 4) проверка квалификации работников и соответствия выполняемым работам, проверка проведения необходимых инструктажей, наличие у работников соответствующих удостоверений и других разрешающих документов.

Вторая операция сварки алюминиевого трубопровода – подготовительная. Важным является подготовка присадочной проволоки. Присадочную проволоку травить в течение 1 мин. раствором едкого натра и натрия фтористого в воде, промыть водой, нейтрализовать 1-3 мин. в 25% растворе азотной кислоты, промыть и просушить.

К сварке приступать не позднее чем через 24 часа после операций травления присадочной проволоки и обезжиривания и травления деталей. Непосредственно перед сваркой необходимо зачистить свариваемые участки металлической щеткой.

Затем места сварки необходимо очистить от загрязнений и от окисной пленки алюминия. Пленку окислов алюминия до сварки полностью удалить невозможно, так как алюминий на воздухе снова мгновенно окисляется, но толщина образующейся при этом пленки меньше.

Четвертая операция базовой технологии – обезжиривание. Рекомендуется проводить используя технический ацетон и ветошь. После обезжиривания производим травление шва и околошовной зоны на

расстояние 20 мм. Травление проводить в следующей последовательности. Нанести 7-10% раствор едкого натра, выдержать 5-10 минут, промыть холодной водой, обработать 20% раствором азотной кислоты, тщательно промыть в проточной горячей, затем холодной воде, сушить горячим воздухом.

Следующая операция – прихватка. Собирают трубы. Проводят контроль величины зазора. Проверяют несоосность. Затем производят прихватку ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в аргоне по методу TIG.

В качестве технологического оборудования на операции прихватки применяют сварочный инвертор Сварог TIG 250. Прихватки должны быть равномерно распределены по всему периметру стыка.



Рисунок 1.2 – Сварочный инвертор Сварог TIG 250.

При сварке прихваток используют проволоку АМГ-3 диаметром 3 мм.

Ток переменный, сила тока $I_{св}=90-150$ А. $U_d=30-37$ В. $Q_{зг}=7-8$ л/мин. Расход аргона составляет 8-10 л/мин.

При операционном контроле к качеству прихваток предъявляются такие же требования, как и к сварному шву. Прихватки, имеющие недопустимые дефекты, обнаруженные при визуальном контроле, следует удалять механическим способом.

Затем производят сварку кольцевого шва на следующих режимах: $I_{св}=160-190$ А, $U_d=30-37$ В. $Q_{зг}=7-8$ л/мин. При сварке в потолочном положении сила тока уменьшается, $I_{св}=120-150$ А. Уменьшение силы тока осуществляет сварщик. На ВД-306 М для обеспечения таких манипуляций сварщика.

1.2 Анализ свойств материала трубопровода

Температура плавления алюминия 660°C . Алюминий имеет ГЦК-решетку с периодами $\alpha = 0,4041$ нм. Наиболее важной особенностью алюминия является плотность- $2,7$ г/см³ против $7,8$ г/см³ для железа и $8,94$ г/см³ для меди. Алюминий обладает высокой электрической проводимостью, составляющей 65 % проводимости меди.

Алюминий обладает высокой коррозионной стойкостью, вследствие образования тонкой прочной пленки Al_2O_3 . Чем чище алюминий, тем выше коррозионная стойкость.

Технический алюминий ввиду низкой прочности применяют для изготовления конструкций и деталей не несущих нагрузки, когда требуется высокая пластичность, хорошая свариваемость, сопротивление коррозии и высокие теплопроводность и электрическая проводимость

Механические свойства отожженного алюминия высокой чистоты и технического алюминия приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Механические свойства отожженного алюминия высокой чистоты и технического алюминия

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
------------------	----------------------	--------------	------------

Механические свойства отожженного алюминия высокой чистоты			
50	15	-	50
Механические свойства технического алюминия (АДМ)			
80	30	35	-

Наибольшее распространение получили сплавы. Сплавы алюминия, обладая хорошей технологичностью во всех стадиях передела, малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, при достаточной прочности, пластичности и вязкости нашли широкое применение в авиации, судостроении, автостроении, строительстве и других отраслях народного хозяйства.

Все сплавы алюминия можно разделить на деформируемые, предназначенные для получения полуфабрикатов (листов, плит, прутков, профилей, труб и т.л.), а также поковок и штамповых заготовок путем прокатки, прессованияковки и штамповки и литейные, предназначенные для фасонного литья.

Деформируемые сплавы по способности упрочняться термической обработкой подразделяют на сплавы, не упрочняемые термической обработкой, и сплавы, упрочняемой термической обработкой. Сплав АМгЗ, из которого выполнено изделие, относится к деформируемым сплавам и термообработкой не упрочняется.

Химический состав сплава АМгЗ приведен в таблице 1.2.

Механические свойства приведены в таблице 1.3.

Физические свойства сплава приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.2 - Химический состав в % материала АМгЗ, Аl основа

Fe	Si	Mn	Ti	Cu	Mg	Zn	Примесей
до 0,5	0,5-0,8	0,3-0,6	до 0,1	до 0,1	3,2-3,8	до 0,2	Каждая 0,05, всего 0,1

Таблица 1.3 - Механические свойства при T=20°C материала АМГЗ

Сортамент	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	КСУ	НВ 10^{-1}
-	МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	МПа
Лист отожжен.	230	120	25		400	45

Таблица 1.4 - Физические свойства материала АМГЗ

T	E 10^{-5}	$\alpha 10^6$	λ	ρ	C	R 10^9
Град.	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	0,71			2670		49,6
100		23,5	151		880	

Примечания:

T - Температура, при которой получены данные свойства , [Град];

E - Модуль упругости первого рода , [МПа];

α - Коэффициент температурного (линейного) расширения
(диапазон 20° - T) , [1/Град];

ρ - Плотность материала , [кг/м³];

C - Удельная теплоемкость материала (диапазон 20° - T), [Дж/(кг·град)];

R - Удельное электросопротивление, [Ом·м/мм²].

1.3 Анализ современных способов дуговой сварки алюминия

Лазерно-плазменная сварка алюминиевых сплавов. Лазерный луч, будучи электрически нейтральным, хорошо может сочетаться со сварочной дугой плавящегося и неплавящегося электродов при горении в общую ванну. Лазерный луч одинаково хорошо сочетается в гибридных сварочных процессах со сжатой дугой неплавящегося электрода, горящей как на постоянном токе при обратной полярности, так и на разнополярном

асимметричном токе. Гибридная лазерно-плазменная сварка алюминиевых сплавов позволяет сократить ширину шва, увеличить глубину проплавления и скорость сварки по сравнению с обычной плазменно-дуговой сваркой [28, 29].

Плазменно-дуговая сварка с использованием порошка в качестве присадочного материала. При плазменно-дуговой сварке алюминиевых сплавов как постоянным, так и разнополярным током традиционно использовали в качестве присадочного материала проволоку из алюминиевых сплавов. Учеными немецких университетов городов Хемниц и Ильменау было предложено использовать при плазменно-дуговой сварке алюминиевых сплавов в качестве присадочного материала алюминиевый порошок [30]. Применение алюминиевого порошка при плазменно-дуговой сварке имеет ряд преимуществ, а именно — исключаются помехи от направляющих присадочной проволоки при перемещении «рук» роботов, появляется возможность в широком диапазоне выбирать химический состав присадочного материала, возможность быстрой смены направления сварки без разворота плазмотрона с закрепленной системой подачи проволоки. Основным недостатком использования алюминиевого порошка в качестве присадочного материала является большая поверхность, покрытая оксидной пленой по сравнению с присадочной проволокой. Наличие разветвленной поверхности, покрытой оксидной пленой, ограничивало применение данного способа сварки для соединения деталей толщиной менее 2 мм. При малых значениях сварочного тока оксидная пленка эффективно не разрушается в дуге. В данный момент ведутся исследования по возможности повышения мощности дуги за счет применения гелийсодержащих смесей [31].

Двухсторонняя плазменно-дуговая сварка и сварка неплавящимся электродом. Американскими учеными было предложено совместное использование для сварки алюминиевых сплавов плазмотрона и горелки неплавящегося электрода, рисунок 1.1. По такой схеме подключения вместо кабеля массы к изделию подводят горелку неплавящегося электрода [32]. На

изделие одновременно с разных сторон воздействует сжатая дуга неплавящегося электрода и свободно расширяющаяся дуга неплавящегося электрода, питающихся от одного источника питания. Такое совместное горение дуг увеличивает напряжение обоих дуг, увеличивает глубину проплавления, а также повышает стабильность существования сквозного канала при сварке в режиме сквозного проплавления плазменной дуги [33].

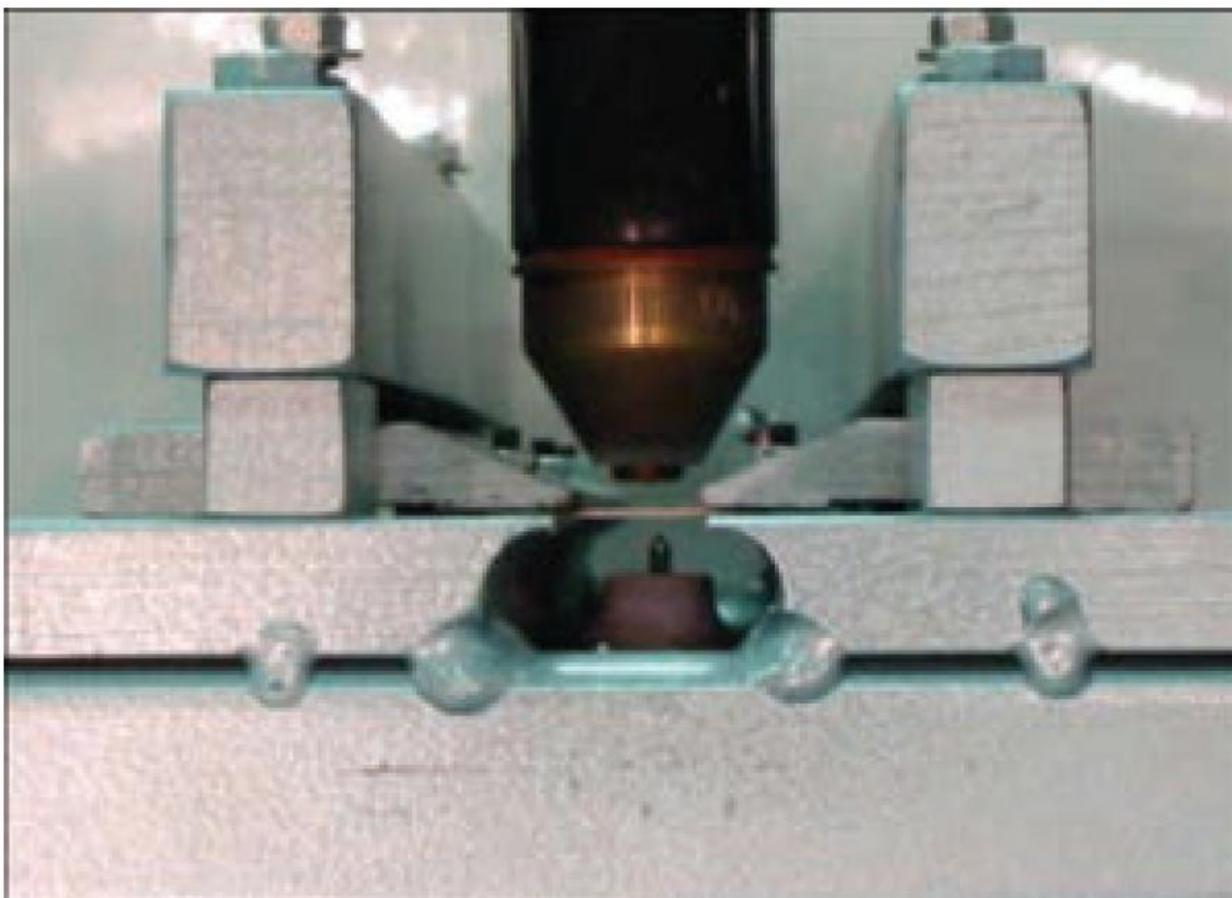


Рисунок 1.2 - Двухсторонняя плазменно–дуговая сварка и сварка неплавящимся электродом

Комбинированное использование плазменно-дуговой сварки и сварки плавящимся электродом. Современное развитие производства алюминиевых конструкций, в частности, для протяженных конструкций транспортов наземного и морского базирования, выдвигают требования повышения скорости сварки. Одним из способов решения такой задачи может быть комбинированное использование нескольких способов сварки, например,

плазменно-дуговой сварки и сварки плавящимся электродом. Так, в 2002–2005 гг. в ИЭС им. Е.О. Патона была разработана технология комбинированного использования плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током без присадочного материала и аргонодуговой сварки плавящимся электродом, рисунок 1.3. Между двумя источниками нагрева расстояние составляло 65 мм, общая сварочная ванна отсутствовала. Сжатая плазменная дуга неплавящегося электрода выполняла нагрев изделия и частичное удаление водорода из расплавляемого металла. Формирование выпуклости сварного шва осуществляется за счет плавления электродной проволоки. Комбинированное применение плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током и аргонодуговой сварки плавящимся электродом при достижении одинаковой глубины проплавления с обычной аргонодуговой сваркой плавящимся электродом позволяет уменьшить ширину шва и зону разупрочнения основного металла при сварке, а также величину этого разупрочнения, рисунок 1.4.



Рисунок 1.3 - Размещение плазматрона и горелки плавящегося

электрода при комбинированном использовании плазменно-
дуговой сварки и дуговой сварки плавящимся электродом

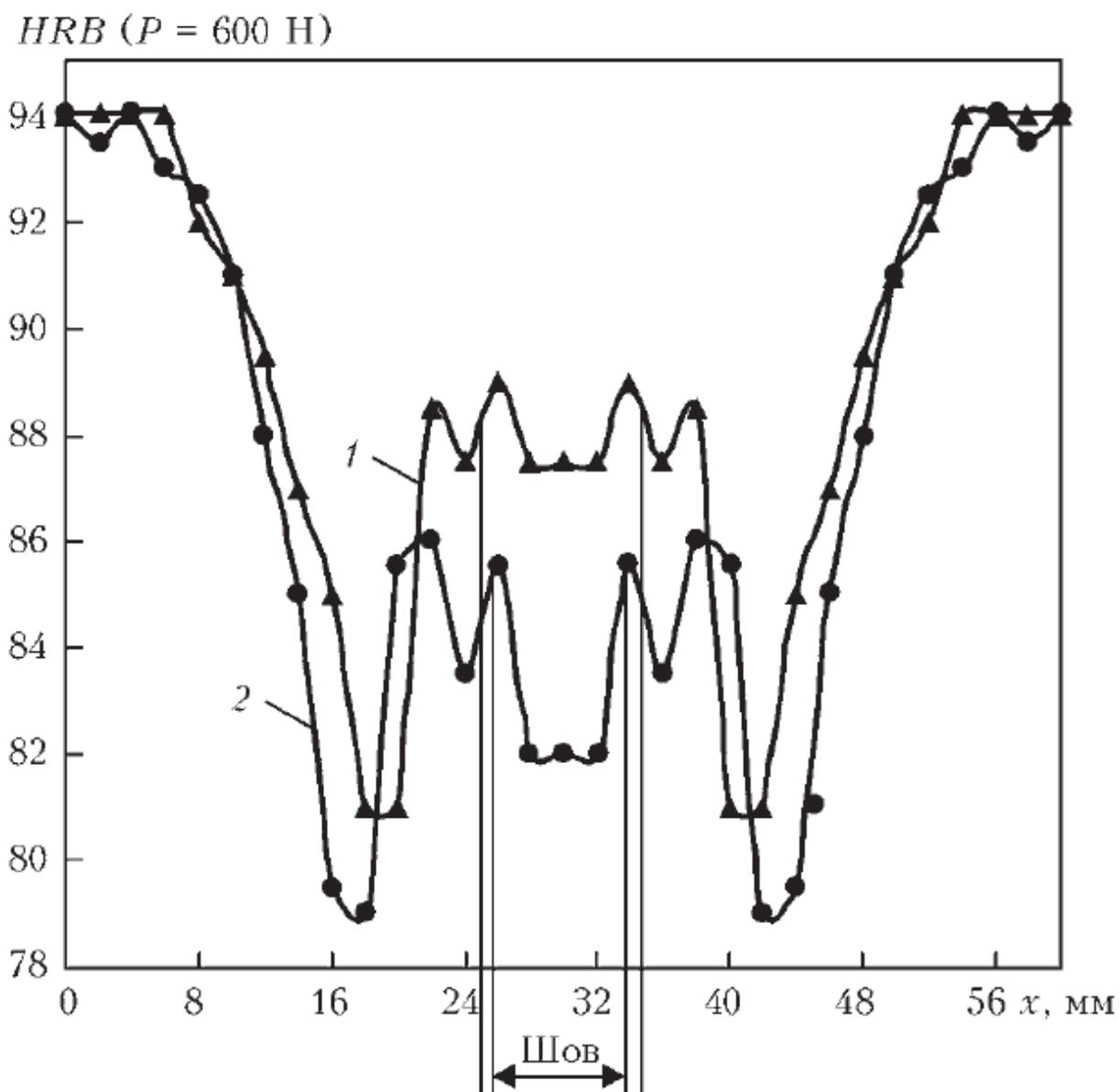


Рисунок 1.4 - Твердость наплавов на сплав АМг6Н толщиной 12 мм, полученных при комбинированном использовании плазменно-дуговой сварки и сварки плавящимся электродом (1) и обычной сваркой плавящимся электродом (2) (присадочная проволока марки СвАМг6)

Гибридная плазменно-дуговая сварка плавящимся электродом. Одним из перспективных направлений развития процессов плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов является использование для формирования

сварочной ванны одновременного горения в общую ванну нескольких источников нагрева, таких как сжатая дуга неплавящегося электрода и дуга плавящегося электрода, рисунок 1.5. Этот процесс за рубежом получил название Plasma-MIG. Упоминание о данном процессе относится к 1970-м годам, а первый патент на этот способ сварки принадлежит фирме «Philips Corporatins» [34]. Дуга плавящегося электрода горит внутри сжатой дуги неплавящегося электрода. На данный момент существуют две основные схемы реализации этого процесса сварки — с кольцевым анодом (рис. 14) и с боковым расположением анода (рис. 15). Такое гибридное использование обеих дуг позволяет уменьшить разбрызгивание электродного металла, повысить глубину проплавления и скорость сварки, использовать процесс для выполнения сварки толстых деталей с разделкой кромок.

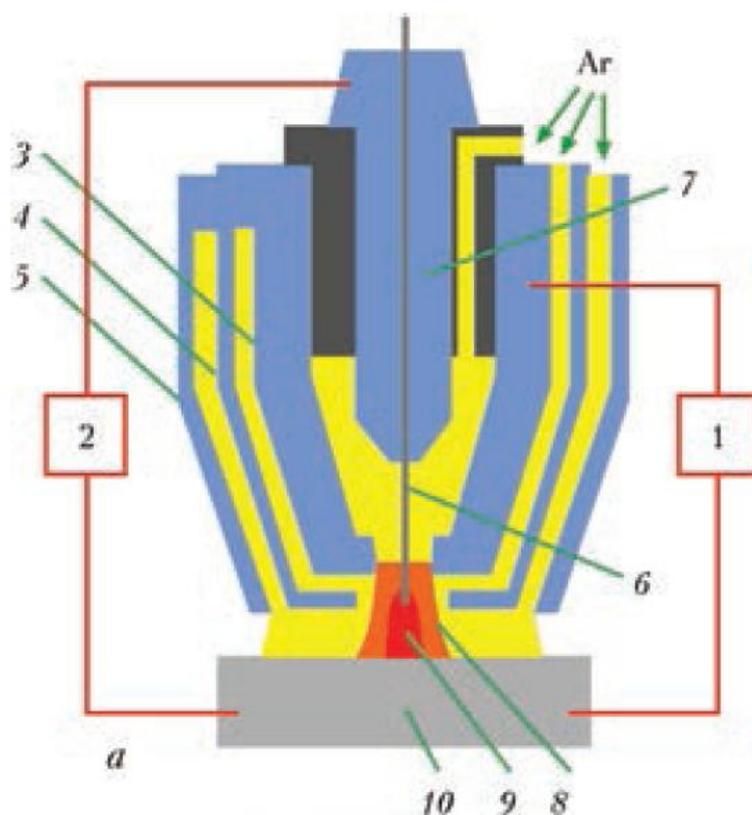


Рисунок 1.5 - Схема процесса (а) и внешний вид дуги плазменной сварки плавящимся электродом: 1 — источник питания сжатой плазменной дуги; 2 — источник питания MIG-дуги; 3 — неплавящийся электрод; 4 — стабилизирующее сопло; 5 — защитное сопло; 6 — плавящийся электрод; 7 — токоподвод;

8 — сжатая плазменная дуга; 9 — МИГ-дуга; 10 — изделие

В последние годы существует ряд подходов к созданию оборудования для плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током алюминиевых сплавов, а именно – создание специализированных установок для плазменно-дуговой сварки и создание плазменных модулей (консолей) для подключения к серийным источникам питания для сварки неплавящимся вольфрамовым электродом. По нашему мнению, применение дополнительных плазменных модулей для создания установки для плазменно-дуговой сварки на базе источников питания для сварки неплавящимся электродом позволит снизить затраты на создание сварочного поста по сварке сжатой дугой, повысить универсальность применения комплекса оборудования, варьировать значения необходимой мощности источников питания для сварки, более полно реализовать технологические возможности современных источников питания для сварки неплавящимся вольфрамовым электродом.

1.4 Задачи бакалаврской работы

Выполненный анализ базового технологического процесса сварки алюминия позволил сделать вывод, что характерным является низкая производительность процесса. В какой то степени это обусловлено свойствами алюминия. Известно, что при сварке алюминия приходится решать ряд проблем. Поэтому ведутся работы по разработке новых технологий сварки алюминия, в последнее время разрабатывают т.н. гибридные технологии.

Однако для протяженного трубопровода оборудование гибридных способов является громоздким а сама технология сложной. Поэтому предложено оставить дуговую сварку, но вести ее сжатой дугой..

Таким образом, для достижения поставленной в ВКР цели необходимо решить следующие задачи:

1. Подобрать способ сварки сжатой дугой
2. Разработать технологический процесс сварки сжатой дугой
3. Подобрать оборудование для реализации данного технологического процесса.
4. Предусмотреть мероприятия для защиты жизни и здоровья производственного персонала.

Произвести экономическую оценка мероприятий технического характера, разработанных в проекте.

2 Разработка проектной технологии

2.1 Выбор способа плазменной сварки алюминиевых трубопроводов

Алюминий, как было указано выше, относится к металлам, сварка которых представляет определенную технологическую проблему. Поэтому разрабатываются и внедряются все новые технологии сварки алюминия и его сплавов. Наряду с многообразием различных способов сварки для получения неразъемных соединений алюминиевых сплавов более широко применяются дуговые способы сварки, которые можно разделить на сварку неплавящимся и плавящимся электродами. При изготовлении конструкций из полуфабрикатов алюминиевых сплавов толщиной 2...12 мм преимущественно используют сварку неплавящимся электродом. В свою очередь сварку неплавящимся электродом выполняют свободно расширяющейся и сжатой дугой.

Первые упоминания о применении энергии плазменной струи для обработки металлов относятся к 1950-х годам [1]. В настоящее время плазменную струю используют для сварки, резки, нанесения покрытий, поверхностной закалки и др.

Для обработки металлов применяют сжатую дугу прямого и косвенного действия. При использовании дуги прямого действия она горит между электродом и изделием, а в случае косвенной дуги она горит между электродом и плазмообразующим соплом. В этом случае на обрабатываемую деталь воздействует только струя плазмы, выдуваемая через сопло малого диаметра потоком инертного газа.

Сварка плавлением с нагревом сжатой плазменной дугой является дальнейшим развитием способа сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов [2]. В конструкцию горелки дополнительно введено еще одно внутреннее медное водоохлаждаемое сопло. Газ, выдувающийся через отверстие малого диаметра (от 1 до 5 мм) внутреннего сопла, образует вокруг дуги слой тепловой и электрической изоляции, препятствующий ее

свободному расширению. Зона сварки защищается потоком инертного газа из внешнего сопла большего диаметра, рисунок 1. При этом повышается температура столба дуги и ее напряжение [2].

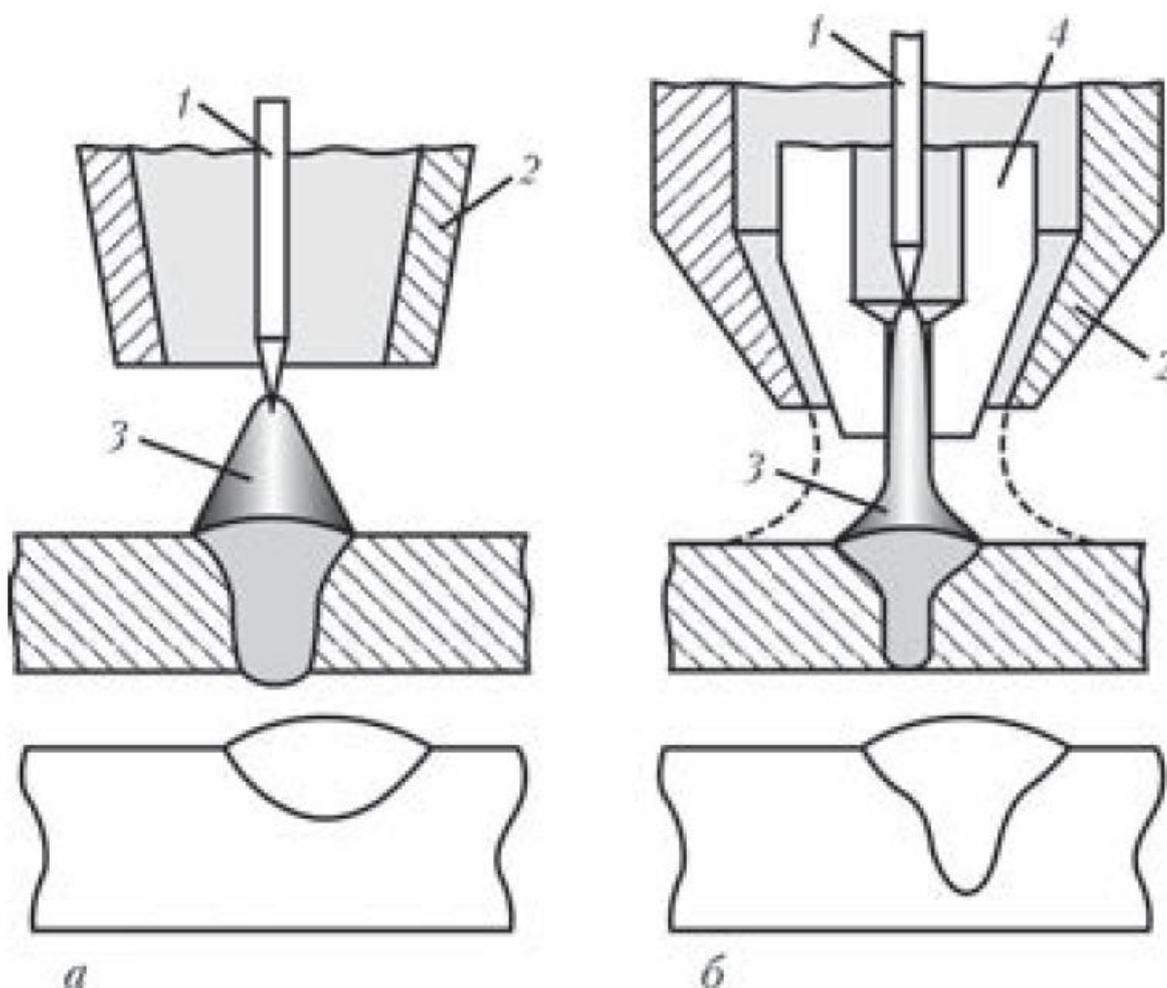


Рисунок 2.1 – Схема процесса и форма проплавления сварного шва при дуговой (а) и плазменно-дуговой сварке (б): 1 – вольфрамовый электрод; 2 – сопло защитного газа; 3 – сварочная дуга; 4 – плазмообразующее сопло.

В целом, анализ опыта применения плазменной дуги для сварки показал, что она является более универсальным источником нагрева металла при сварке по сравнению с электрической дугой при сварке неплавящимся и плавящимся электродом. По сравнению с этими методами плазма обеспечивает более глубокое проплавление металла при одновременном уменьшении объема его расплавления, а также имеет следующие достоинства:

более высокая температура плазменной дуги (до 18000...25000 К);

меньший диаметр дуги;

цилиндрическая форма дуги (в отличие от обычной конической);

давление плазменной дуги на металл в 6...10 раз выше, чем у обычной;

возможность поддерживать дугу на малых токах (0,2...30 А).

Применение плазменной дуги при сварке также обеспечивает отсутствие разбрызгивания металла при сварке, меньший разогрев основного металла и как следствие меньшую его деформацию, отсутствие необходимости во многих случаях подготовки (разделки) за счёт высокой проплавливающей способности плазменной дуги, повышенную экономичность и производительность (в 2...3 раза и более), снижение затрат на механическую обработку при подготовке стыков под сварку и обработку швов после сварки в 3...5 раз и более, снижение расхода сварочных материалов в 3...5 раз и более, повышение качества сварных швов и обеспечение возможности 100%-й автоматизации процессов сварки продольных и кольцевых швов.

Особенностью дуговой сварки алюминиевых сплавов является необходимость разрушения поверхностной тугоплавкой оксидной пленки. Для эффективного ее разрушения плазменно-дуговую сварку необходимо выполнять на постоянном токе при обратной полярности или на разнополярном токе [3].

Как и в случае со сваркой неплавящимся электродом свободно-расширяющейся дугой, первые опыты плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов проводили с использованием переменного синусоидального тока частотой 50 Гц. В конце 1960-х годов в ИЭС им. Е.О. Патона интенсивно проводились исследования этого процесса [4, 5].

Для обеспечения горения сжатой дуги к обычной установке для сварки алюминия неплавящимся электродом добавляли блок дежурной дуги, которая горела между электродом и плазмообразующим соплом, ионизируя промежуток между электродом и изделием. При использовании переменного синусоидального тока разрушение оксидной пленки происходит в полупериод

обратной полярности, когда на электроде плюс. При этом до 70 % тепла дуги выделяется на электроде. В 1970–1971 гг. способ плазменно-дуговой сварки на переменном синусоидальном токе применялся в судостроении. Так, для его реализации предлагался перспективный автомат для сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом «Алюминий-1» и источник питания УДГ-701 [6]. В дальнейшем этот способ сварки не получил широкого распространения. В литературе отсутствует информация о серийных установках плазменно-дуговой сварки на переменном синусоидальном токе.

Впервые плазменно-дуговую сварку на обратной полярности для соединения листов алюминиевого сплава толщиной 6,35 мм применили сотрудники корпорации «Thermal Dynamics Corp» [7]. Первые работы в Советском Союзе по применению постоянного тока при обратной полярности относятся к началу 1970-х годов [8, 9]. Наилучшее катодное разрушение плены (катодная очистка) при сварке неплавящимся электродом достигается при обратной полярности. В качестве анода выступает электродный узел плазмотрона, а катодом служит само изделие. Плазменно-дуговую сварку на постоянном токе при обратной полярности легче реализовать по сравнению со сваркой переменным синусоидальным током. Так, например, можно использовать в качестве источника питания сжатой дуги обычные сварочные выпрямители. Тем не менее этому способу плазменно-дуговой сварки присущ существенный недостаток – при сварке на обратной полярности на электродном узле плазмотрона выделяется значительное количество тепла, что приводит к преждевременному разрушению электрода. Для повышения ресурса работы электродного узла осуществляют его интенсивное охлаждение, используют вольфрамовые прутки большого (8...10 мм) диаметра или специальные медные электроды со вставками из тугоплавких материалов (вольфрам, гафний). Для продления срока службы детали плазмотрона делают массивными, что увеличивает его габариты.

Стабильность горения сжатой дуги постоянного тока при обратной полярности зависит от степени подготовки поверхности деталей под сварку. Наличие неудаленных оксидных плен на поверхности свариваемых изделий может вызвать блуждание пятна нагрева из-за различной эмиссионной способности оксидной пленки и очищенного основного металла [8, 9]. На малых токах это блуждание усиливается. Способ широко применялся для изготовления изделий криогенного назначения из алюминиевых сплавов [10]. В СССР для плазменно-дуговой сварки на постоянном токе обратной полярности выпускались установки УПС-301 и УПС-503, также сварку можно было осуществлять с помощью установки для наплавки УПНС-304. Исследования этой разновидности плазменно-дуговой сварки алюминия интенсивно продолжаются в России. Так, в ОАО «Центр судостроения и судоремонта» разработан полуавтомат ППН-200 для плазменно-дуговой сварки алюминия на постоянном токе при обратной полярности. В качестве источника питания используют аппарат для сварки неплавящимся электродом Master-2500 фирмы «Kemppi» [11]. В группе компаний ОАО «Плазмек» разработан универсальный пост плазменно-дуговой сварки, включающий инверторный источник питания, блок генерирования дежурной дуги и подачи плазмообразующего газа, блок автономного водяного охлаждения и плазмотроны собственной разработки. Список фирм, выпускающих оборудование для плазменно-дуговой сварки постоянным током, обширен — в нем могут быть представлены фирмы из Северной и Южной Америки, Европы и Азии. Так, можно отметить такие модели оборудования: DigiPLUS A7P и DigiPLUS A7PO фирмы «IMC Engenharia de Soldagem» (Бразилия), Ultima150 фирмы «Thermal Arc» (США), PI400 Plasma фирмы «Svejsmaskinefabrikken Migatronik A/S» (Дания), Plasmaweld 402 фирмы «L-TEC Schweißtechnik GmbH» (Германия), PSI 350plus фирмы «Kjellberg Finsterwalde Schweißtechnik und Verschleißschutzsysteme GmbH» (Германия), Tetric 552 RC Plasma CW фирмы «EWM HIGHTEC WELDING AUTOMATION GmbH» (Германия), PW400 фирмы «ARCRAFT PLASMA

EQUIPMENT (INDIA) PVT. LTD» (Индия), Plasma 500XP фирмы «Powel Co LTD» (Корея) и другие.

С целью повышения эффективности процесса плазменно-дуговой сварки на постоянном токе при обратной полярности российскими учеными была предложена импульсная подача плазмообразующих газов [12–14].

Одним из негативных нюансов применения постоянного тока при обратной полярности для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов является большая склонность данного процесса сварки к образованию водородной газовой пористости в металле шва [15].

Одной из разновидностей плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов на постоянном токе является процесс сварки Plasmatron, предложенный австрийской фирмой «Inoson Technologie GmbH» [16]. Особенностью процесса сварки является оригинальная форма сварочной горелки, рисунок 2.2). По словам сотрудников компании «Inoson Technologie GmbH» такая схема процесса сварки позволяет повысить температуру в активном пятне нагрева, рисунок 2.3) и осуществлять сварку без дополнительного блока генерации тока дежурной дуги.

Чтобы уменьшить вредное воздействие тепла, выделяемого на электроде при прохождении тока в полупериод обратной полярности, и сохранить достаточную катодную очистку шва сотрудниками ИЭС им. Е.О. Патона был предложен оригинальный способ подачи напряжения на плазмотрон [17].

В полупериод прямой полярности дуга горела между вольфрамовым электродом и изделием, а в полупериод обратной полярности дуга возбуждалась между изделием и медным плазмообразующим соплом [17]. Благодаря такой схеме подачи энергии на плазмотрон достигалось хорошее проплавление, повышалась стойкость вольфрамового электрода, а дуга, горящая в полупериод обратной полярности, обеспечивала эффективное разрушение оксидных плен.



Рисунок 2.2 – Внешний вид сварочной горелки Plasmatron (фирма «Inocon Technologie GmbH») [16]

Однако это оборудование для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов не было реализовано в серийном производстве. В наше время к идее раздельной подачи энергии на электрод и плазмообразующее сопло вернулись немецкие ученые.

Их установка для плазменно-дуговой сварки с чередованием полярностей на электроде и плазмообразующем сопле также пока остается на стадии лабораторных исследований.

Плазменно-дуговая сварка разнополярным асимметричным током с прямоугольной формой волны тока. Процесс плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током с прямоугольной формой волны тока под названием Variable Polarity Plasma Arc Welding (VPPA) был зарегистрирован фирмой «Hobart Brothers Inc» в 1978 г. [18].

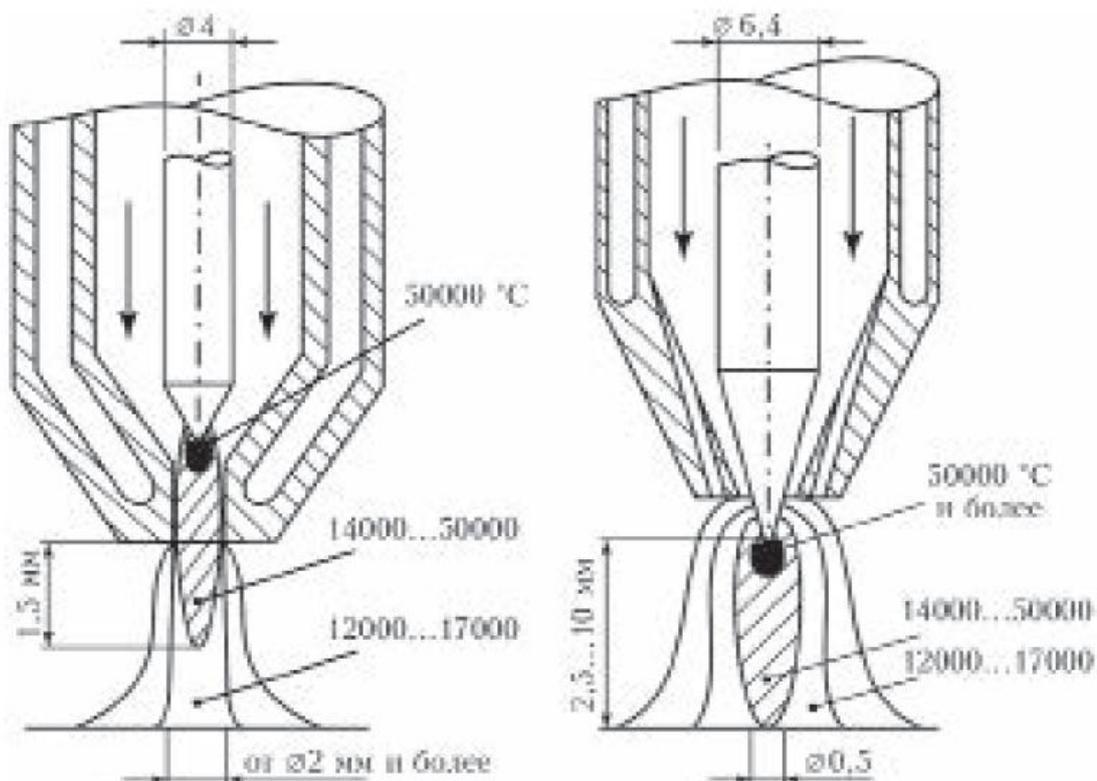


Рисунок 2.3 – Распределение температуры в традиционной горелке для плазменно-дуговой сварки (а) и сварочной горелки Plasmatron фирмы «Incon Technologie GmbH», Австрия (б) [16] (для а — поверхностная плотность теплового потока $10^3 \dots 10^5$ Вт/см²; для б — 10^6)

В конструкции сварочных установок, генерирующих синусоидальный сварочный ток, для обеспечения поддержания горения дуги был предусмотрен специальный блок, который формировал дополнительный импульс при переходе от прямой к обратной полярности. Прямоугольная форма волны сварочного тока позволила обеспечить надежное возбуждение дуги при смене полярностей без применения специального блока. С целью снижения тепловой нагрузки на электродный узел горелки плазменно-дуговую сварку разнополярным током с прямоугольной формой волны тока выполняли с преобладанием протекания тока при прямой полярности. При этом длительность прохождения тока при обратной полярности выбирают минимально допустимой для обеспечения эффективного катодного разрушения оксидных плен. Соотношение между длительностями

прохождения тока при прямой и обратной полярностях составляло примерно 3:1.

Снижение количества тепла, выделяемого на электродном узле, позволило повысить работоспособность плазмотрона и уменьшить его геометрические размеры.

В 1972 г. фирма «Sciaky» предложила компании «Boeing» использовать для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярный асимметричный ток с прямоугольной формой волны тока [20]. Однако источник питания фирмы «Sciaky» не обеспечивал стабильность горения дуги при разнополярном асимметричном токе. В 1974 г. фирма «Hobart Brothers Inc» приступила к разработке источника питания и комплекса оборудования для плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током с прямоугольной формой волны тока для компании «Boeing». В 1979 г. первый аналогичный комплекс оборудования для плазменно-дуговой сварки был поставлен в Marshall Space Flight Center. Основой комплекса был источник питания VP-300-S, текущие значения сварочного тока контролировались при помощи Cyber-Tig 11 Series 800 Programmer. Данный комплекс оборудования и его последующие аналоги широко применялись для изготовления топливных баков для жидкого водорода и кислорода космической системы Space Shuttle [21–23]. В 1990-х годах фирма «Hobart Brothers Inc» прекращает выпуск оборудования для процесса плазменно-дуговой сварки разнополярным током VPPA. В то же время потребности американской космической промышленности в области плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током удовлетворяются продукцией канадской фирмы «Liburdi» (источник питания LTP400-VP) и американской компании АМЕТ (источник питания VPC450). Большая стоимость оборудования и сложность в эксплуатации не способствовали широкому распространению этого способа сварки в промышленности.

Наиболее эффективно способ плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током VPPA применялся для формирования сварных соединений на весу без применения подкладных элементов с формирующими канавками. Такой процесс получил название «keyhole» (замочная скважина), рисунок 2.4. При этом процессе плазменная струя насквозь проникает через расплавленный металл сварочной ванны, образуя сквозной канал, который существует в течение всей сварки. Сквозное проникновение плазменной струи полностью устраняет включения оксидной пленки в шве, а также уменьшает деформацию изделия из-за выравнивания нагрева свариваемых деталей по высоте. В качестве плазмообразующего газа использовался 100%-й аргон, а в качестве защитного газа – 100%-й гелий.

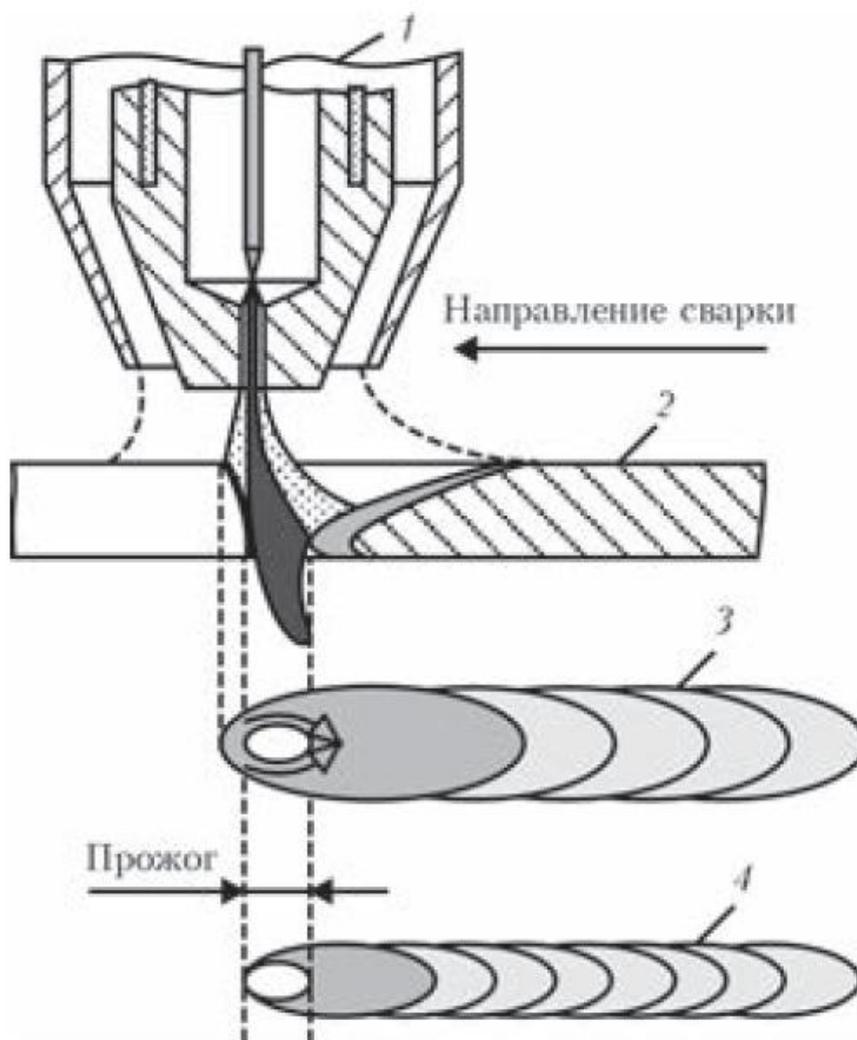


Рисунок 2.4 - Принципиальная схема процесса плазменно–дуговой сварки в режиме «замочная скважина» (схема ISF Aachen):

1 — плазменная горелка; 2 — шов; 3 — поверхность шва; 4 — корень шва)

Более активное использование в промышленности плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током началось с 2000-х годов. Так, в Европе ряд фирм, таких как «Merkle» (Германия), «EWM» (Германия), «Castolin» (Швейцария), «SBI» (Австрия), «Migatronic Automation» (Дания) приступили к серийному выпуску оборудования для плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током с прямоугольной формой волны тока.

Некоторые из этих установок — Tetric 350 AC/DC Plasma (EWM) и PMI-380 AC/DC (SBI) можно использовать как для автоматической, так и для ручной плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов.

В начале 1990-х годов в Институте электросварки им. Е.О. Патона проводились исследования плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током с прямоугольной формой волны тока на тиристорных источниках питания с индуктивными накопителями. Результаты исследований показали, что для качественного формирования шва достаточно только временной асимметрии, т. е. преобладания длительности протекания тока при прямой полярности и равенства амплитуд токов при прямой и обратной полярностях [24, 25].

В 2001 г. по техническому заданию ИЭС им. Е.О. Патона фирма «Fronius» (Австрия) разработала комплекс оборудования для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током с прямоугольной формой волны.

Если в процессе работы используется сварочный ток не более 150 А, то имеется возможность использовать в составе установки для плазменно-дуговой сварки источники питания с номинальной мощностью до 220 А. В качестве источников питания для плазменно-дуговой сварки могут использоваться все серийные источники питания фирмы «Fronius» для

аргодуговой сварки неплавящимся электродом разнополярным асимметричным током (источники питания серии MW).

Таким образом, окончательный выбор останавливаем на оборудовании «Fronius».

2.2 Выбор вспомогательных сварочных материалов

Одним из основных расходных материалов, влияющих на качество сварных соединений, является неплавящийся электрод. Материалом для изготовления большей части неплавящихся электродов служит вольфрам. Вольфрамовые электроды (ВЭ) отличаются незначительным расходом и стабильной дугой, что объясняется самой высокой температурой плавления ($3380\text{ }^{\circ}\text{C}$) и самым низким температурным расширением ($4,32 \cdot 10^{-6}\text{ м/мК}$) среди чистых металлов, а также хорошей электрической проводимостью ($5,5\text{ мкОм}\cdot\text{см}$) и высокой прочностью ($800\text{--}1000\text{ МПа}$) [1].

Кроме «чистого» ВЭ, изготовленного из собственно вольфрама с минимальным объемом примесей, нашли широкое применение легированные ВЭ, обеспечивающие получения специфических сварочно-технологических свойств. Соответственно, выбор химической композиции ВЭ определяется стоящими задачами и параметрами [1, 2, 3, 4]. Прежде всего, принимается во внимание металл основы, который во многом определяет тип применяемого тока. Далее, учитывается толщина свариваемых заготовок, задающая необходимый диапазон тока. Кроме того, при выборе композиции ВЭ принимается во внимание требования к качеству сварной конструкции и допустимая дефектность. Важным параметром также являются стойкость ВЭ, в частности, способность сохранять геометрию рабочего торца и расход электрода [5, 6, 7].

В качестве присадок к вольфрамовой матрице широко применяются оксиды редкоземельных элементов. Как правило, это церий, лантан, торий, цирконий, иттрий или их смеси; хотя, возможно применение оксидов и иных элементов или их смесей, например магния [7], рения или гафния [8, 9, 4].

Состав присадок и их процентное содержание определяют марку электрода, которая, за исключением чистого вольфрама, состоит из буквенной и цифровой частей: первая определяет состав присадки, вторая — составляющую в вольфраме, выраженную в сотых или тысячных долях. Обычно процентное содержание оксидов находится для различных марок в диапазоне от 0,8 до 4,2%. Для визуального восприятия каждой марки соответствует индивидуальная цветовая маркировка.

Классификация, обозначение и маркировка ВЭ определяется несколькими стандартами: ISO 6848-2004 «Дуговая сварка и резка. Электроды нерасходуемыевольфрамовые. Классификация», ГОСТ 23949-80 «Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия», AWS A5.12 «Технические условия для вольфрамовых электродов и электродов, легированных оксидами, применяемых для дуговой сварки и резки». Сведения по обозначению и маркировке приведены в табл. 1. Классификации в различных стандартах соответствуют друг другу не полностью: одинаковые по составу электроды имеют разную цветовую маркировку, некоторые марки в ряде стандартов отсутствуют. Кроме того, ряд марок ВЭ, в основном гибридов: TRI MIX© [10], WX© [11], E3© [12], WR2© [13], WX4© [14], WS2© и WS© [13, 15], а также рений содержащих WRe© [13] — не вошли в действующие стандарты и условно могут относиться только к марке EWG.

Электроды из чистого вольфрама, без добавления оксидов редкоземельных металлов, является общедоступным бюджетным вариантом, обеспечивающим удовлетворительную устойчивость дуги при сварке на переменном токе, как в атмосфере аргона, так и гелия. Однако, стойкость данного электрода уступает другим маркам вследствие ограниченной тепловой нагрузки. Поджиг дуги удовлетворительный, и хорошо производится только на повышенных токах [7, 14, 15, 16].

Таким образом, предпочтительной областью применения ВЭ без легирующих элементов является сварка ответственных сварных

конструкций, с короткими сварными швами из сплавов алюминия, магния и алюминиевой бронзы на переменном токе с непрерывной высокочастотной стабилизацией

[1, 6, 14].

Торированные электроды имеют сходные с церированными, лантанированными и иттрированными электродами характеристики, выдерживают значительные тепловые нагрузки, хорошо сохраняя исходную геометрию рабочего торца, что особенно важно для сварки тонкостенных ответственных деталей. Соответственно, данный ВЭ имеет низкий расход и хорошую стабильность горения дуги, в том числе на повышенных токах [5, 14]. Кроме того, торированные ВЭ имеют отличный поджиг [7].

Недостатком торированных электродов считается их радиоактивность, которая, хотя и незначительна, представляет опасность при вдыхании продуктов сгорания, а также абразивных отходов при разрезке и заточке рабочего торца. Поэтому, работать с этим видом электродов следует в хорошо вентилируемом помещении с использованием дополнительных средств защиты [5, 6].

Вольфрамовые электроды с добавлением оксида лантана обеспечивает похуже с легированными оксидом церия, а также оксидом тория преимущества перед электродом из «чистого» вольфрама: очень легкий первоначальный запуск и отличную характеристику повторного зажигания, а также хорошую устойчивость дуги как при сварке на переменном, так и на постоянном токах [1, 7]. Хорошие сварочно-технологические свойства лантанированного электрода объясняются хорошей эмиссией. Лантанированные электроды, превосходят, в том числе, и церированные в обеспечении поджига и устойчивости сварочной дуги.

Однако, в отличие от церированного вольфрамового электрода, лантанированный, кроме низких и средних, также работает и на больших токах [11, 14], а также требует на 10–15% меньшую силу тока для обеспечения поджига дуги [10] и не имеет радиоактивности [6, 11] по

сравнению с торированным. В тоже время, лантанированный вольфрамовый электрод хорошо зарекомендовал при импульсной сварке [10]. Также стойкость лантанированного вольфрамового электрода, превосходит торированные и церированные [6, 17].

Исходя из проведенного анализа выбираем лантанированные электроды.

2.3 Разработка технологии сварки алюминиевого трубопровода

Применение системы управления процессом сварки FPA 2003-Plasma позволяет значительно расширить возможности плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током. Так, возможность импульсной подачи плазмообразующего газа позволяет эффективно бороться с пористостью при сварке алюминиевых сплавов, а модуляция сварочного тока и подача присадочной проволоки с переменной скоростью обеспечивает качественное формирование швов при орбитальной сварке неповоротных стыков. Исследования, проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона, подтвердили, что более точная регулировка параметров плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током при помощи системы управления процессом сварки FPA 2003-Plasma позволяет использовать этот способ сварки для получения неразъемных соединений из тонких (1,0...2,0 мм) алюминиевых полуфабрикатов (рис. 2.7), а также для выполнения сварки в режиме сквозного проникновения плазменной струи (рис. 2.8) [27].

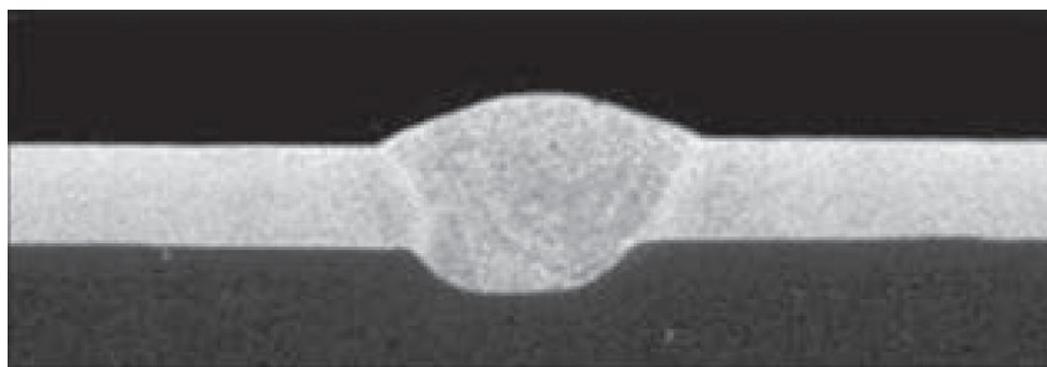


Рисунок 2.5 - Макрошлиф сварного соединения из сплава Д16 толщиной 2 мм, сваренного плазменно–дуговой сваркой в нижнем положении

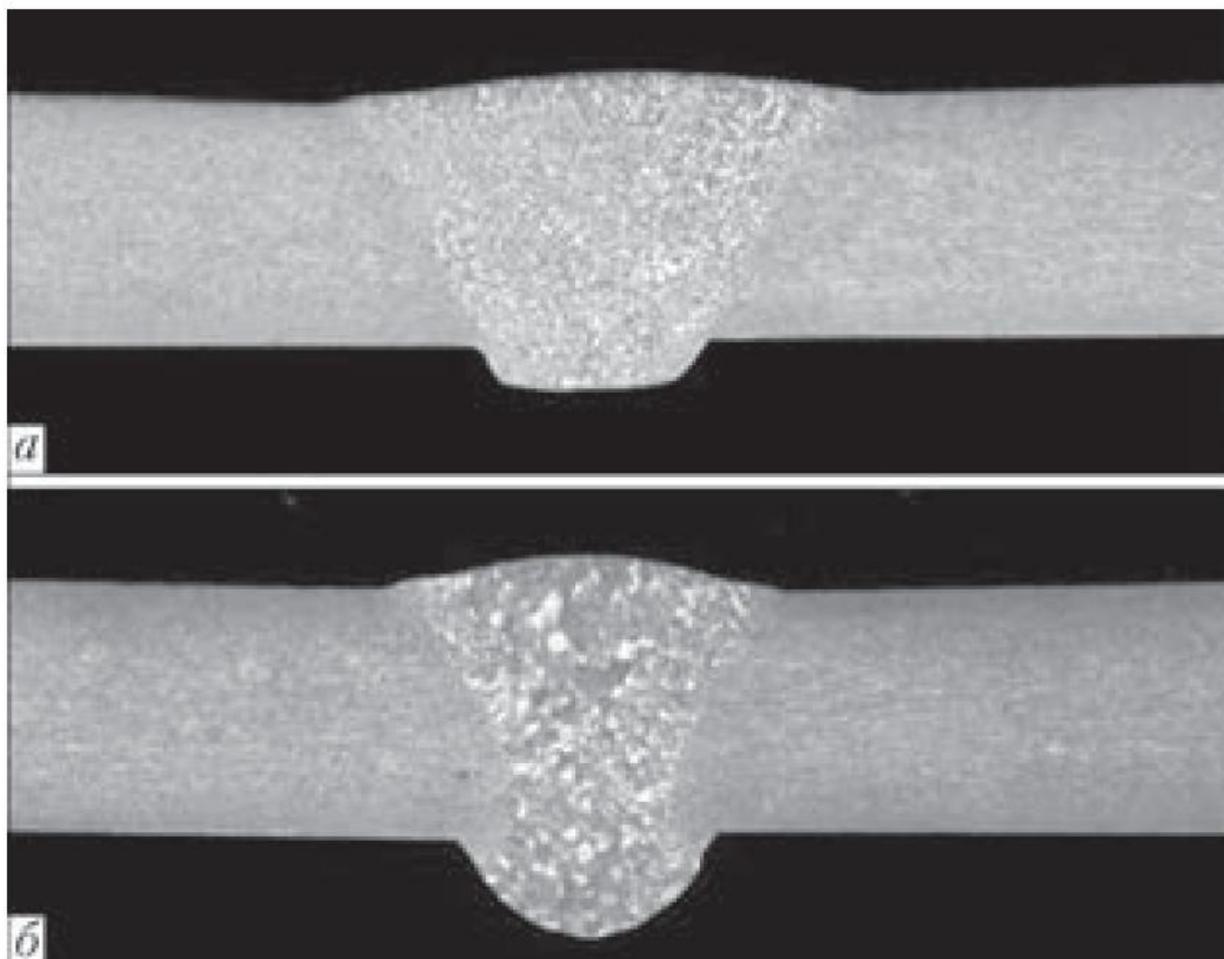


Рисунок 2.6 - Макрошлиф сварного соединения из сплава 1420 (Al–Li–Mg) толщиной 6 мм, сваренного плазменно–дуговой сваркой в нижнем положении на подкладке с формирующей канавкой (а) и в режиме сквозного проплавления плазменной струи «keyhole» (б)

Наличие в ассортименте оборудования машинных и ручных плазмотронов, а также переключение работы плазменного модуля позволяют одинаково хорошо использовать оборудование фирмы «Fronius» как для автоматической, так и для ручной плазменной сварки.

При этом амплитуда тока при обратной полярности была на 30...40 А выше, чем при прямой полярности, рисунок 2.5 [19].

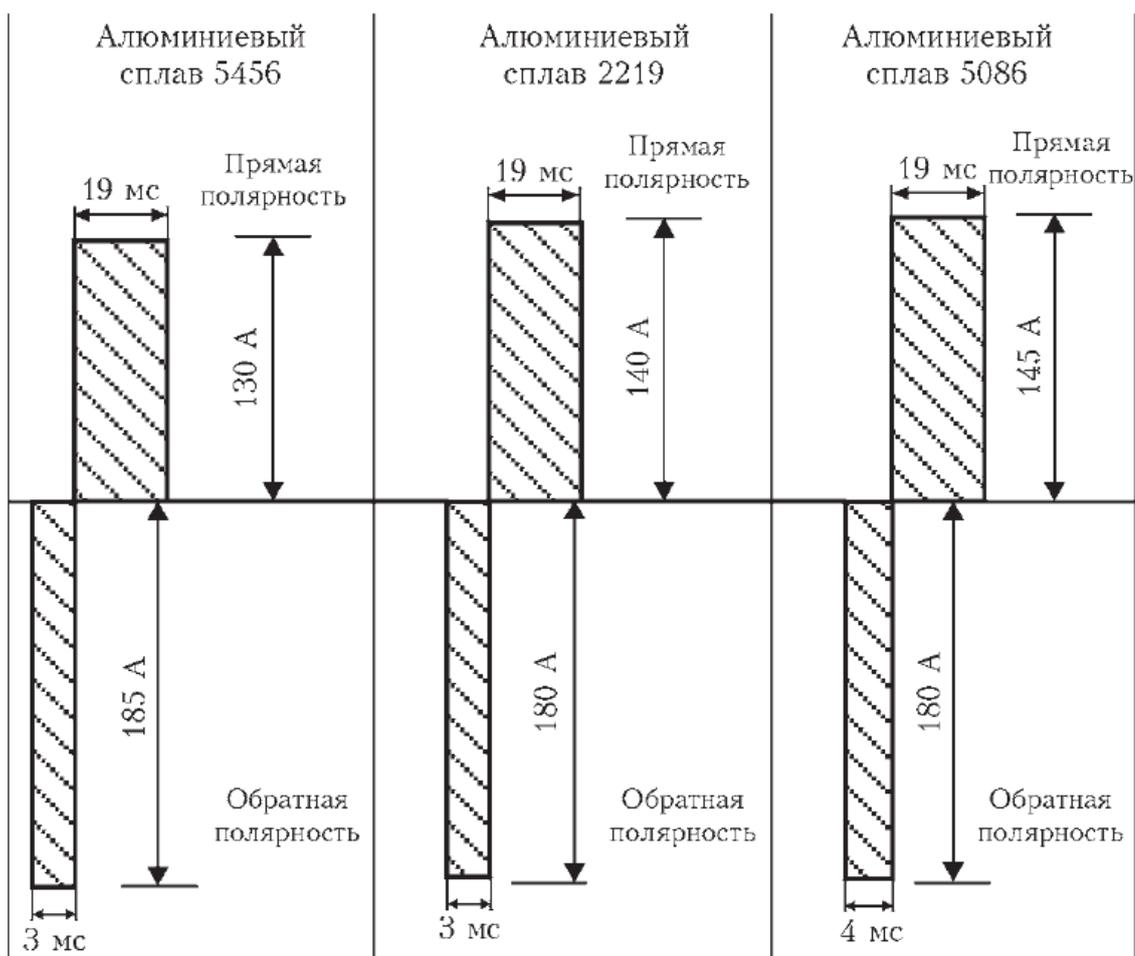


Рисунок 2.7 - Амплитуда и длительность протекания тока при прямой и обратной полярности для процесса VPPA при сварке алюминиевых сплавов разного химического состава

Исходя из этого принимаем режим сварки алюминиевого трубопровода следующий.

Сила тока при прямой полярности 140 А, при обратной 180 А. Время импульса при обратной полярности 3 мс. Время импульса при обратной полярности 19 мс. Напряжение на дуге 20...25 вольт, расход плазмообразующего газа 5...8 литров в минуту, расход защитного газа 10-11 литров в минуту.

Остальные операции не изменяются, по сравнению с базовой технологией. Также и контроль не изменяется

3 Оборудование для реализации разработанного технологического процесса

В состав разработанного комплекса входят источник питания MW450, плазменный модуль FPM, механизм подачи присадочной проволоки KD 4000, система перемещения плазмотрона, система управления процессом сварки FPA 2003-Plasma, блок автономного водяного охлаждения, рисунок 2.5.



Рисунок 2.5 - Оборудование фирмы «Fronius» для плазменно–дуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током

При помощи этого комплекса оборудования в ИЭС им. Е.О. Патона была разработана технология плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током алюминиево-литиевых сплавов [26, 27].

В отличие от оборудования для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов других фирм установка для плазменно-дуговой сварки фирмы «Fronius» выполнена по схеме «источник питания + плазменный модуль». Такое конструктивное решение позволяет выбирать для решения поставленных задач источник питания с необходимой мощностью.

4 Безопасность и экологичность рассматриваемого объекта

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.

Тема выпускной квалификационной работы: «Технология сварки кольцевых швов трубопровода диаметром 200 мм из алюминиевых сплавов». В настоящее время сварка алюминиевых трубопроводов производится технологией дуговой сварки неплавящимся электродом, метод TIG. В разделе 1 настоящей работы у данной технологии выявлен ряд недостатков, и показано, что применяя комплекс для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов разнополярным асимметричным током их можно нейтрализовать. Разработана технология сварки плазменной дугой разнополярными импульсами, естественно, что при внедрении данных технических решений необходимо предусмотреть мероприятия по нейтрализации опасных и вредных технологических факторов, сопровождающих технологию механизированной сварки.

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс	Выполняемые работы	Должности работников, реализующих данный техпроцесс	Вновь установленное оборудование	Вспомогательные материалы
1	Выполнение кольцевых сварных швов алюминиевоготрубопровода	Подготовка, сборка и сварка труб	Слесарь-сборщик, сварщик изделий из тугоплавких металлов	Источник питания MW450, плазменный модуль FPM	Присадочная проволока Св-08Г2С, газ углекислый

4.2 Риски, сопровождающие технологию сварки труб алюминиевого трубопровода.

Профессия сварщика по-прежнему является одной из наиболее

профессионально опасных, а процессы сварки, наплавки и резки металлов традиционно находятся в поле зрения специалистов-экологов и охраны труда. Комбинированное воздействие на рабочих сварочных профессий вредных производственных факторов (таблица) таких, как химические (сварочные аэрозоли, газы), физические (излучение дуги, электромагнитные поля, тепловые нагрузки и др), природные, способствуют развитию профессиональной заболеваемости и сокращению их трудового долголетия.

Различные негативные производственные факторы при действии на организм работников, реализующих разработанный в бакалаврской работе технологический процесс могут вызвать нетрудоспособность работника. В таблице 4.2 систематизируем и проанализируем выявленные на участке сварки негативные производственные факторы.

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков.

№п/п	Выполняемые работы	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
1	Подготовка, сборка и сварка труб	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки. повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, от которого запитано оборудование; световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Источник питания MW450, плазменный модуль FPM присадочная проволока Св-АМг-6, аргон.

4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков

Уже внедренные на участке сварки и разработанные в рамках бакалаврской работы мероприятия по снижению негативного действия профессиональных рисков систематизируем и проанализируем в таблице 4.3. В таблицу не будем включать такие организационные мероприятия, как инструктажи по технике безопасности.

Таблица 4.3 – Мероприятия и средства уменьшения негативного действия профессиональных рисков.

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Острые кромки		Перчатки, спецодежда.
движущиеся детали оборудования и заготовки	Плакаты и надписи, барьеры и ограждения.	
повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке	вентиляция	Средства защиты дыхательных путей
повышенная температура оборудования и воздуха участка	вентиляция	Спецодежда, перчатки
повышенное напряжение, от которого запитано оборудование;	Заземление, контроль изоляции.	
световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Экранирование места сварки щитами,	маска сварщика, спецодежда.

4.4. Мероприятия по пожарной безопасности участка сварки.

В таблице 4.4 выполним анализ возможных опасных факторов, сопровождающих пожар, при его возникновении на производственном участке.

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Подготовки, сборки и сварки труб	Источник питания MW450, плазменный модуль FPM	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов в электроустановках, находящихся под электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; выделение вредных продуктов при горении; Уменьшение содержания кислорода при горении; дым препятствует нормальной видимости.	Повреждение из-за высокой температуры электрической изоляции на проводах может привести к поражению электрическим током; действие на человека веществ, применяемых для пожаротушения

Таблица 4.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили (вызываются)	Не применяются	Не применяются	Краны пожарные напорные пожарные рукава	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Сварка	обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации по обеспечению	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет

	пожарной безопасности, проведение учений с производственным персоналом по поводу пожарной безопасности, создание добровольной пожарной дружины.	искр.
--	---	-------

4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Актуальность проблемы охраны и восстановления окружающей среды стала очевидной, в связи с чем правительства стран Европейского союза совместно с руководством промышленных компаний пришли к выводу о необходимости создания системы контроля за состоянием окружающей среды, построенной на единых концептуальных подходах и практических стандартах ЕС, которые в полной мере учитывали бы особенности и специфику национального законодательства каждой страны в области защиты и восстановления природной окружающей среды.

В таблице 4.7 выполним анализ вредных факторов разработанного технологического процесса плазменной сварки, представляющих опасность для природной окружающей среды.

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (здания по функциональному назначению, технологические объекты)	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного
Сварка	Подготовка труб, отводов, бобышек, штуцеров к сварке, сборка сварка, сварка,	газообразные частицы; сажа;	Проявитель и закрепитель рентгеновских снимков	упаковка от присадочной проволоки АМг-б, бумажная, полиэтиленовая; металлолом, преимущественно алюминиевый; бытовой мусор.

Таблица 4.8 – Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Фильтры в системе вентиляции участка задержат мелкодисперсные частицы сажи
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Важным является соблюдение культуры производства, исключение утечек проявителя и закрепителя, которые попадая в канализацию попадают во внешние водоемы.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Размещение на территории участка восстановления емкостей для селективного сбора металлолома, бытовых отходов и производственных отходов. На емкостях или рядом стоящих плакатах необходимо нанести предписывающие сообщения. С рабочими

	необходимо провести разъяснение по необходимости селективного складирования отходов. Желательно периодически, во время ежеквартального инструктажа по технике безопасности, разъяснять производственному персоналу правила сбора твердых отходов
--	--

К мероприятиям, перечисленным в таблице 4.8, следует отнести комплекс организационно-технических мероприятий, связанных с обучением, подготовкой и аттестацией сварщиков и специалистов сварочного производства. Экологические аспекты сварочного производства должны учитываться при обучении сварщиков.

Заключение по разделу

Планируемый к внедрению технологический процесс плазменной сварки разнополярными импульсами алюминиевого трубопровода сопровождается факторами, оказывающими вредное воздействие на рабочих производственного участка.

Сделан анализ возможности снижения негативного действия выявленных факторов на рабочих и полного устранения их действия. По результатам анализа можно сделать вывод, что уже применяемые на производстве средства защиты и организационные мероприятия по технике безопасности обеспечат безопасность работника при реализации разработанного при выполнении бакалаврской работы технологического процесса механизированной сварки.

Установлено, что дополнительных мероприятий и средств для защиты от опасных и вредных факторов, сопровождающих процесс механизированной сварки, не нужно.

Также технология плазменной сварки алюминиевого трубопровода оказывает негативное влияние на окружающую среду. Для минимизации такого влияния предложены организационные мероприятия.

5 Экономическая эффективность проекта

По базовому варианту технологического процесса сварки трубопровода из алюминия применяется дуговая сварка неплавящимся электродом в среде аргона. Результаты анализа научно-технической и патентной литературы позволили рекомендовать для проектного варианта сварку с применением комплекса, в состав которого входит источник питания MW450, плазменный модуль FPM, механизм подачи присадочной проволоки KD 4000, система управления процессом сварки FPA 2003-Plasma. Принципиальное отличие заключается в том, что применен источник тепла с более высокой концентрацией энергии.

Сопоставительный анализ двух вариантов, базового и проектного, приведен в таблице 5.1. В таблице рассмотрены выявленные в 1 разделе работы недостатки базовой технологии сварки и принцип их устранения при использовании механизированной сварки.

Таблица 5.1 – Сопоставительный анализ базового и проектного варианта технологии

Базовая технология	Проектная технология
. Для сварки по базовой технологии требуются рабочие высокого разряда и размер тарифной ставки у них, соответственно, высокий.	Комплекс Fronius предусматривает механизированную сварку, полуавтомат подает присадочную проволоку в зону горения сжатой дуги, уменьшается количество параметров техпроцесса, которые нужно контролировать. Можно поставить на операцию рабочего с меньшим разрядом, и, соответственно, меньшей тарифной ставкой.
Сварка алюминия дугой по методу TIG характеризуется низкой концентрацией энергии, что в сочетании с высокой теплопроводностью алюминия приводит к низкой скорости сварки. Производительность	Концентрация энергии при нагреве плазмой больше, значит можно увеличить скорость сварки без опасений получить такой дефект, как непровар. Следовательно, производительность увеличивается

невелика	
----------	--

5.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Исходные данные необходимые для проведения расчетов, занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для проведения экономического расчета

№ п/п	Показатели	Услов. обозн.	Ед. изм.	Варианты	
				Базовый	Проект.
1	2	3	4	5	6
1	Финансовые затраты на 1 кг присадочного материала	Ц _{эл.}	Руб/кг	88	69
2	Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	ктз	-	1,05	1,05
3	Значение тарифной ставки	С _ч	Руб/час	95,29	84,87
4	Коэффициент, учитывающий начисления к основной заработной плате	к _{зп}	-	1,81	1,81
5	Отчисления на дополнительную заработную плату	к _д	%	10	10
6	Коэффициент отчислений на социальные нужды	Н _{соц}	%	30	30
7	Финансовые затраты на покупку оборудования	Ц _{об}	Руб	40000	70000
8	Норма амортизационных отчислений на оборудование	На	%	18	18
9	Коэф. Полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,78
10	Стоимость электроэнергии	Ц _{э – э}	Руб/кВт	3,02	3,02
11	Удельный расход защитного газа	Узг	М ³ /час	-	50
12	Стоимость защитного газа	Цзг	Руб/м ³	-	50
13	Стоимость аренды площади	С _{экспл}	Руб/м ²	1800	1800
14	Стоимость приобретения производственных площадей	Цпл	Руб/м ²	4500	4500
15	Площадь занимаемая оборудованием	S	М ²	8	11
16	Значения коэффициентов, финансовых расходов на монтаж и демонтаж оборудования	к _{монт} к _{дем}	%	2	2
17	Нормативный коэффициент экономической эффективности дополн. капит. вложений	Ен	-	0,33	0,33

Продолжение таблицы 5.2.

1	2	3	4	5	6
18	Годовая программа	$N_{\text{пр}}$	шт	500	500
19	Коэффициент заводских расходов	$k_{\text{зав}}$		1,97	1,97
21	Норма амортизационных отчислений на площадь	Напл	%	2	2
22	Коэффициент цеховых расходов	$k_{\text{цех}}$		1,72	1,72

5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Для расчета штучного времени на сварку одного стыка алюминиевого трубопровода применим зависимость:

$$t_{\text{шт}} = t_{n-3} + t_o + t_{\text{в}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{н.н}} \quad (5.1)$$

где t_{n-3} – время, расходуемое на подготовительно-заключительные операции, $t_{n-3} = 0,05\%$ от t_o

$t_o = t_{\text{м}}$ – время, расходуемое непосредственно на выполнение сварного шва - машинное.

$t_{\text{в}}$ – время, расходуемое на подготовку сварочного оборудования к работе
 $t_{\text{в}} = 10\%$ от t_o .

$t_{\text{отл}}$ – время, расходуемое рабочими на отдых и личные надобности $t_{\text{отл}} = 5\%$ от t_o ;

$t_{\text{обсл}}$ – время, расходуемое рабочими на обслуживание рабочего места
 $t_{\text{обсл.}} = 8\%$ от t_o ;

$t_{\text{н.н}}$ – время неустраняемых перерывов, 1% от t_o .

Машинное время определим по следующей формуле:

$$t_0 = \frac{60 * M_{\text{напл.мет}} * L_{\text{ш}}}{I_{\text{св.}} * \alpha_{\text{напл}}}, \quad (5.2)$$

где: $L_{\text{ш}}$ – кольцевой шов - 0,238 м;

$I_{\text{св}}$ – сварочный ток, А;

$\alpha_{\text{напл}}$ – коэффициент наплавки, 9 Г/А·час.

$M_{\text{напл.мет}}$ – масса наплавленного металла, кг/м;

Масса наплавленного металла $M_{\text{напл.мет}}$ – может быть определена по зависимости, кг/м:

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{н}} \cdot 10^{-3} \quad (5.3)$$

где ρ – плотность, 2,7 г/см³;

$F_{\text{н}}$ – площадь валика, мм².

$$F_{\text{н}} = (8 \div 12) \cdot d_{\text{эл.}}$$

На толщину 3,5 мм.

$$F_{\text{н}} = F_1 + F_2 + F_3 = 21 + 24 + 27 = 72 \text{ мм}^2$$

$$M_{\text{напл.мет.б}} = 7,8 \cdot 72 \cdot 10^3 = 0,561 \text{ кг/м}$$

$$M_{\text{напл.мет.пр}} = 7,8 \cdot 72 \cdot 10^3 = 0,561 \text{ кг/м}$$

Подставив в (5.2) необходимые значения, получим:

$$t_{\text{об}} = \frac{60 * 0,561 * 0,238}{120 * 9} = 0,05 \text{ час} = 3,0 \text{ мин.}$$

$$t_{\text{пр}} = \frac{60 * 0,561 * 0,238}{210 * 9} = 0,025 \text{ час} = 1,5 \text{ мин.}$$

Подставив в (5.1) необходимые значения, получим:

$$t_{\text{штб}} = 3,0 + 0,3 + 0,15 + 0,24 + 0,03 = 3,72 \text{ мин} = 0,062 \text{ час}$$

$$t_{\text{штпр}} = 1,5 + 0,15 + 0,09 + 0,075 + 0,015 = 1,83 \text{ мин.} = 0,0305 \text{ час.}$$

5.3 Расчет затрат на новое оборудование

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{пр}} + K_{\text{соп}} \quad (5.5)$$

где: $K_{\text{ПР}}$ – затраты непосредственно на закупку оборудования, прямые, руб.;

$K_{\text{СОП}}$ – финансовые затраты на демонтаж старого, установку нового оборудования, сопутствующие, руб.

Расчет прямых финансовых затрат выполним по зависимости:

$$K_{\text{ПР}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_3 \quad (5.6)$$

где $\sum \Pi_{\text{об}}$ – суммарные финансовые затраты на закупку оборудования, руб.;

k_3 – коэффициент загрузки оборудования.

Для определения коэффициента загрузки оборудования вначале рассчитаем нужное количество оборудования по формуле:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} \quad (5.7)$$

где: $N_{\text{пр}}$ – годовая программа, см. табл. 5.2, 500 шт.;

$t_{\text{шт}}$ – время, расходуемое на сварку одного стыка трубопровода (штучное), мин.;

$\Phi_{\text{эф}}$ – фонд времени работы оборудования, час.

Необходимое количество оборудования, определенное по (5.7) может быть дробным числом, поэтому округляем до целого ($n_{\text{об.прин}}$).

Для расчета коэффициента загрузки воспользуемся формулой:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} \quad (5.8)$$

Фонд времени определим по формуле:

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{вых}} - D_{\text{пр}}) * T_{\text{см}} * S * (1 - k_{\text{р.п}}) \quad (5.9)$$

где: $D_{\text{к}}$ – всего дней в году;

$D_{\text{вых}}$ – всего выходных в году;

$D_{\text{пр}}$ – всего праздничных дней в году;

$T_{\text{см}}$ – длительность рабочей смены на предприятии, час;

S – принятое на предприятии количество рабочих смен;

$k_{p.n}$ – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

$$\Phi_{\text{эф.}} = (365 - 110 - 14) \cdot 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,06) = 1812 \text{ час.}$$

Для базового варианта технологии

$$n_{\text{об.расчетн.б}} = \frac{500 \cdot 3,72}{1812 \cdot 60} = 0,027 \text{ шт}$$

$$k_{\text{зб}} = \frac{0,027}{1} = 0,027$$

$$K_{\text{прб}} = 40000 \cdot 0,027 = 1080 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$n_{\text{об.расчетн.пр}} = \frac{500 \cdot 1,83}{1812 \cdot 60} = 0,012 \text{ шт}$$

$$k_{\text{зпр}} = \frac{0,012}{1} = 0,012$$

$$K_{\text{прпр}} = 70000 \cdot 0,012 = 840 \text{ руб.}$$

Сопутствующие финансовые затраты определяются расчетным путем только для проектного варианта:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{монт}} + K_{\text{дем}} + K_{\text{площ}} \quad (5.10)$$

$K_{\text{монт}}$ – финансовые расходы, необходимые для выполнения монтажа оборудования для проектного варианта технологии;

$K_{\text{дем}}$ – финансовые расходы, необходимые для выполнения демонтажа оборудования применяемого в базовом варианте технологии;

$K_{\text{площ}}$ – финансовые расходы на дополнительные площади, необходимые для установки оборудования для проектного варианта технологии.

$$K_{\text{монт}} = \sum C_{\text{об}} \cdot k_{\text{монт}} \quad (5.11)$$

где: $k_{\text{монт}}$ – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям $k_{\text{монт}} = 0,2$.

$$K_{\text{монт}} = 70000 \cdot 0,2 = 14000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{дем}} = \Sigma \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{дем}} \quad (5.12)$$

где: $k_{\text{дем}}$ – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям, $k_{\text{дем}} = 0,2$

$$K_{\text{дем}} = 40000 \cdot 0,2 = 8000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{площ}} = S_{\text{площ}} \cdot \Pi_{\text{площ}} \cdot g \cdot k_3 \quad (5.13)$$

где: g – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{\text{площ}} = 3 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 0,12 = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ}}^{\text{БАЗ}} = K_{\text{пр}} = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ}}^{\text{пр}} = 840 + 14000 + 8000 + 5400 = 28240 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.14)$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{БАЗ}} = 1080/500 = 2,16 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{пр}} = 28240/500 = 56,48 \text{ руб.}$$

5.4 Расчет технологической себестоимости

Общий размер финансовых расходов на материалы определяется как сумма расходов на основные материалы и вспомогательные:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн}} + ЗМ_{\text{всп}}$$

Поскольку конструкция изделия изменений не претерпевает, и в базовом варианте и в проектном материал изделия не меняется, первое слагаемое формулы, финансовые расходы на основные материалы, расчету не подлежит.

Для применяемой в настоящее время технологии сварки промышленных газопроводов в качестве вспомогательных материалов используют штучные электроды, расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{эл.} = Н_{эл.} \cdot Ц_{эл.} \quad (5.16)$$

где $Ц_{эл.}$ – стоимость штучных электродов, руб/кг;

$Н_{эл.}$ – расход штучных электродов согласно нормативам, кг.

$$Н_{эл.} = У \cdot L_{ш.} \quad (5.17)$$

где – $У$ – расход штучных электродов на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{ш.}$ – общая протяженность сварного соединения, м.

$$У = k_p \cdot M_{напл.мет} \quad (5.18)$$

где k_p – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,7;

$M_{напл.мет}$ – общее количество присадочного материала, штучных электродов, нужных для формирования сварного соединения, кг.

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (5.19)$$

где ρ – плотность стали – материал штучных электродов, 7,8 г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения шва, $F_n = 72 \text{ мм}^2$.

$$M_{напл.мет} = 7,8 \cdot 72 / 1000 = 0,56 \text{ кг.}$$

$$У = 1,7 \cdot 0,56 = 0,95 \text{ кг/м.}$$

$$НР_{эл} = 0,95 \cdot 0,238 = 0,227 \text{ кг.}$$

$$ЗМ_{элб} = 88 \cdot 0,227 = 19,99 \text{ руб;}$$

$$ЗМ_{б} = 19,99 \text{ руб.}$$

Для предлагаемой в проектном варианте технологии сварки алюминиевого трубопровода в качестве вспомогательных материалов

используют присадочную проволоку и защитный газ, суммарные расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{\text{свпр}} = ЗМ_{\text{свпр}} + З_{\text{зг}} \quad (5.20)$$

Расходы на закупку присадочной проволоки определим по формуле:

$$ЗМ_{\text{свпр}} = Ц_{\text{пр}} \cdot Н_{\text{пр}} \quad (5.21)$$

где $Ц_{\text{пр}}$ – стоимость применяемой в проектной технологии присадочной проволоки, руб/кг;

$Н_{\text{пр}}$ - норма расхода применяемой в проектной технологии присадочной проволоки, кг.

Для определения нормы расхода применяемой в проектной технологии присадочной проволоки воспользуемся формулой:

$$Н_{\text{пр}} = У \cdot L_{\text{ш}} \quad (5.22)$$

где $У$ - расход сварочной проволоки на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{\text{ш}}$ – общая протяженность сварного соединения, м.

$$У = k_{\text{р}} \cdot M_{\text{напл.мет}} \quad (5.23)$$

где $k_{\text{р}}$ – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,05;

$M_{\text{напл.мет}}$ – общее количество присадочного материала, присадочной проволоки, нужных для формирования сварного соединения, кг.

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{ш}} \cdot 10^{-3}, \quad (5.24)$$

где ρ – плотность стали – материал присадочной проволоки, 7,8 г/см³;

$F_{\text{ш}}$ – площадь поперечного сечения шва, $F_{\text{ш}} = 72 \text{ мм}^2$.

$$M_{\text{напл.мет}} = 7,8 \cdot 72 / 1000 = 0,56 \text{ кг.}$$

$$У = 1,7 \cdot 0,56 = 0,95 \text{ кг/м.}$$

$$Н_{\text{пр}} = 0,95 \cdot 0,238 = 0,227 \text{ кг}$$

$$ЗМ_{\text{свпр}} = 69 \cdot 0,227 = 15,66 \text{ руб.}$$

Расходы на применяемый для защиты сварочной ванны газ, в предлагаемом варианте углекислый, определим по формуле:

$$Z_{з.г.} = Ц_{з.г.} \cdot H_{з.г.} \quad (5.25)$$

где $Ц_{з.г.}$ – рыночная стоимость одного литра защитного газа в рублях;

$H_{з.г.}$ – норма расхода используемого в предлагаемом варианте технологии защитного газа в литрах на 1 погонный метр шва.

Норма расхода вычисляется по зависимости:

$$H_{з.г.} = Y_{з.г.} \cdot L + Y_{доп} \quad (5.26)$$

где $Y_{з.г.}$ – расход защитного газа непосредственно на выполнение сварного шва, л.

$$Y_{з.г.} = q_{з.г.} \cdot t_0 \quad (5.27)$$

где $q_{з.г.} = 10$ л/мин;

t_0 – вычисленное по формуле (5.2) время сварки шва.

$$Y_{з.г.} = 10 \cdot 1,62 = 16,2 \text{ л}$$

$Y_{доп.}$ – учитывает дополнительный расход газа на операции не связанные с формированием шва, м^3 .

$$Y_{доп} = t_{всп} \cdot q_{з.г.} \quad (5.28)$$

где $t_{всп}$ – время расхода газа, мин;

$q_{з.г.}$ – норма расхода газа в единицу времени, $\text{м}^3/\text{мин}$.

$$Y_{доп} = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ л.}$$

$$H_{з.г.} = 16,2 \cdot 0,687 + 0,5 = 11,62 \text{ л.}$$

$$Z_{з.г.} = 0,011 \cdot 50 = 0,55 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта общая сумма расходов на вспомогательные материалы составит:

$$Z_{M_{пр}} = 15,66 + 0,55 = 16,21 \text{ руб.}$$

Финансовые расходы на электрическую энергию

$$Z_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_{\text{о}}}{\text{КПД}} C_{\text{э-э}} \quad (5.29)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, расходуемая оборудованием при выполнении сварного соединения, кВт;

$C_{\text{э-э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

КПД – коэффициент полезного действия оборудования, задействованного при выполнении сварного соединения.

Мощность расходуемую оборудованием при выполнении сварного соединения вычислим по режимам сварки: сила сварочного тока и напряжение дуги.

Для базового варианта технологии

$$P_{\text{обб}} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кВт}$$

$$Z_{\text{э-э}}^{\text{б}} = \frac{3,6 \cdot 0,05}{0,7} 3,02 = 0,77 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$P_{\text{обпр}} = 210 \cdot 30 = 6300 \text{ Вт} = 6,3 \text{ кВт}$$

$$Z_{\text{э-э}}^{\text{пр}} = \frac{6,3 \cdot 0,025}{0,75} 3,02 = 0,63 \text{ руб.}$$

На следующем этапе выполняем расчет затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования как суммы затрат на амортизацию и ремонт.

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{т.р}} \quad (5.30)$$

где $A_{\text{об}}$ – отчисления на амортизацию, руб.;

$P_{\text{т.р}}$ – отчисления на ремонт, руб.;

Отчисления на амортизацию рассчитаем по зависимости:

$$A_{\text{об.}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_{\text{об}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60 \cdot 100} \quad (5.31)$$

где $C_{\text{об}}$ – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб.;

$N_{\text{об}}$ – норма амортизации оборудования, %;

$$A_{\text{об}}^{\text{б}} = \frac{40000 \cdot 3,72 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,24 \text{ руб.}$$

$$A_{\text{об}}^{\text{пр}} = \frac{70000 \cdot 1,83 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,21 \text{ руб.}$$

Отчисления на ремонт рассчитаем по зависимости:

$$P_{\text{т.р}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{т.р}} \cdot k_3}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100} \quad (5.32)$$

где $H_{\text{т.р}}$ – норма отчислений на текущий ремонт оборудования, $\approx 35\%$;

$$P_{\text{тр}}^{\text{б}} = \frac{40000 \cdot 35 \cdot 0,027}{1812 \cdot 100} = 0,20 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{тр}}^{\text{пр}} = \frac{70000 \cdot 35 \cdot 0,012}{1812 \cdot 100} = 0,16 \text{ руб.}$$

Суммарные расходы на содержание и эксплуатацию

$$З_{\text{об}}^{\text{б}} = 0,24 + 0,20 = 0,44 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{об}}^{\text{пр}} = 0,21 + 0,16 = 0,37 \text{ руб.}$$

Для определения размера отчислений на площади, на которых установлено оборудование и оснастка базового и проектного вариантов технологии воспользуемся зависимостью:

$$З_{\text{площ}} = \frac{C_{\text{площ}} \cdot S_{\text{площ}} \cdot Na_{\text{площ}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100 \cdot 60} \quad (5.33)$$

где: $C_{\text{площ}}$ – цена 1 м^2 производственной площади, руб.;

$Na_{\text{площ}}$ – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{\text{площ}}$ – площадь, занимаемая сварочным оборудованием, м^2 ;

$$З_{\text{площ}}^{\text{б}} = \frac{4500 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 3,72}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,02 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{площ}}^{\text{пр}} = \frac{4500 \cdot 11 \cdot 2 \cdot 1,83}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,02 \text{ руб.}$$

На следующем этапе определяем затраты по оплате труда

Фонд заработной платы определим как сумму:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{осн} + ЗПЛ_{доп} \quad (5.34)$$

где $ЗПЛ_{осн}$ - основная зарплата;

$ЗПЛ_{доп}$ - дополнительная зарплата.

$$ЗПЛ_{осн} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot k_{зпл} \quad (5.35)$$

где $C_{ч}$ – значение тарифной ставки, руб/час;

$t_{шт}$ – штучное время, час;

$k_{зпл}$ – коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$k_{зпл} = k_{пр} \cdot k_{вн} \cdot k_{у} \cdot k_{пф} \cdot k_{н} \quad (5.36)$$

где $k_{пр} = 1,25$ – коэффициент премирования;

$k_{вн} = 1,1$ – коэффициент выполнения норм;

$k_{у} = 1,087$ – коэффициент доплат за условия труда;

$k_{пф} = 1,14$ – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{н} = 1,076$ – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{зпл} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,087 \cdot 1,14 \cdot 1,076 = 1,79$$

$$ЗПЛ_{осн}^Б = 0,060 \cdot 95,2 \cdot 1,79 = 10,23 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{осн}^{пр} = 0,03 \cdot 84,87 \cdot 1,79 = 4,55 \text{ руб.}$$

Дополнительная определяется по следующей зависимости:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} \quad (5.37)$$

где $k_{д}$ – коэффициент - 10%.

Для базового варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^Б = 10,23 \cdot 10/100 = 1,02 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^{пр} = 4,55 \cdot 10/100 = 0,45 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП_Б = 10,23 + 1,02 = 11,25 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_{\text{пр}} = 4,55 + 0,45 = 5,00 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$O_{\text{CH}} = \PhiЗП \cdot N_{\text{соц}} / 100 \quad (5.38)$$

где $N_{\text{соц}}$ – коэффициент отчислений, 30 %.

Для базового варианта технологии

$$O_{\text{CH}}^{\text{б}} = 11,25 \cdot 30 / 100 = 3,37 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$O_{\text{CH}}^{\text{пр}} = 5,00 \cdot 30 / 100 = 1,50 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость

Для определения размера технологической себестоимости просуммируем все расходы, найденные выше:

$$C_{\text{ТЕХ}} = ЗМ + З_{\text{э-э}} + З_{\text{об}} + З_{\text{пл}} + \PhiЗП + O_{\text{CH}} \quad (5.39)$$

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{б}} = 19,99 + 0,77 + 0,44 + 0,02 + 11,25 + 3,37 = 35,84 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{пр}} = 16,21 + 0,63 + 0,37 + 0,02 + 5,00 + 1,50 = 23,73 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + P_{\text{ЦЕХ}} \quad (5.40)$$

где $P_{\text{ЦЕХ}}$ – финансовые затраты на цеховые расходы, руб.

$$P_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + k_{\text{ЦЕХ}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (5.41)$$

где $k_{\text{цех}}$ – коэффициент цеховых расходов, 1,72;

$З_{\text{осн}}$ – основная зарплата, руб.

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{б}} = 35,84 + 10,23 \cdot 1,72 = 35,84 + 17,59 = 53,43 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{ПР}} = 23,73 + 4,55 \cdot 1,72 = 23,73 + 7,82 = 31,55 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + k_{\text{ЗАВ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad (5.42)$$

где $P_{\text{ЗАВ}}$ – финансовые затраты на заводские расходы, руб.

$k_{\text{ЗАВ}}$ – коэффициент заводских расходов, 1,97

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{Б}} = 53,43 + 10,23 \cdot 1,97 = 53,43 + 20,15 = 73,58 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{ПР}} = 31,55 + 4,55 \cdot 1,97 = 31,55 + 8,96 = 40,51 \text{ руб.}$$

Калькуляция себестоимости

Таблица 5.3 – Перечень и значения статей затрат на сварку одного стыка трубопровода

№ п/п	Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
			базов	Проект
1	2	3	4	5
1	Материалы	ЗМ	19,99	16,21
2	Фонд заработной платы	ФЗП	11,25	5,00
3	Отчисления на социальные нужды	О _{СН}	3,37	1,50
4	Затраты на оборудование	З _{ОБ}	0,44	0,37
5	Затраты на площади	З _{ПЛ}	0,02	0,02
6	Затраты на электроэнергию	З _{Э-Э}	0,77	0,63
	Себестоимость технологическая	С _{ТЕХ}	35,84	23,73
6	Цеховые расходы		17,59	7,82
	Себестоимость цеховая	С _{ЦЕХ}	53,43	31,55
7	Заводские расходы		20,15	8,96
	Себестоимость заводская	С _{ЗАВ}	73,58	40,51

5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений

Величину прибыли, ожидаемой от снижения себестоимости сварки стыка, определим по формуле:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot N_{\text{пр}} \quad (5.43)$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = (73,58 - 40,51) \cdot 500 = 16533,25 \text{ руб.}$$

Величину годового экономического эффекта, ожидаемого от внедрения технических решений, обеспечивающих увеличение производительности, определим по формуле:

$$\text{Э}_{\text{г}} = \left[\left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{б}} \right) - \left(C_{\text{зав}}^{\text{пр}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр}} \right) \right] \cdot N_{\text{пр}} \quad (5.44)$$

$$\text{Э}_{\text{г}} = \left[(73,58 + 0,33 \cdot 2,16) - (40,51 + 0,33 \cdot 56,48) \right] \cdot 500 = 7425 \text{ руб.}$$

Размер уменьшения трудоемкости

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штб}} - t_{\text{штпр}}}{t_{\text{штб}}} \cdot 100\% \quad (5.45)$$

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,05 - 0,025}{0,05} \cdot 100\% = 50\%$$

Размер увеличения производительности труда

$$\Delta \Pi_{\text{т}} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (5.46)$$

$$\Delta \Pi_{\text{т}} = \frac{100 \cdot 50}{100 - 50} = 100\%$$

Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общпр}}}{\text{Э}_{\text{уг}}} \quad (5.47)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{28240}{16533} \approx 1,7 \text{ года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{\text{ср}} = 1/T_{\text{ок}} = 1/1,7 = 0,58. \quad (5.48)$$

Выводы по разделу

Внедрение оборудования с большей производительностью позволило уменьшить на 50% трудоемкость сварки одного стыка, при увеличении производительности труда на 100%.

Для внедрения оборудования с большей производительностью нужны финансовые затраты в размере 28240 руб., которые окупятся через 1,7 года. Планируемый размер годового экономического эффекта составит 7425 руб.

Результаты выполненных расчетов позволяют сделать вывод о необходимости внедрения результатов бакалаврской работы в производственные условия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ базового технологического процесса сварки показал, что присущие ему недостатки обусловлены низким уровнем концентрации энергии применяемого способа.

Разработан технологический процесс сварки с применением в качестве источника нагрева плазменной горелки. Подобрано необходимое оборудование. Сварка по предложенной технологии позволяет повысить производительность труда, снизить затраты на основные и вспомогательные материалы.

Расчеты показали, что за счет внедрения более производительной технологии планируется получить годовой экономический эффект в размере 7425 руб.

Цель бакалаврской работы достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колганов, Л. А. Сварочное производство. Учебное пособие [Текст] / Л.А. Колганов. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. - 512 с.
2. Прыкин Б. В. Технология металлов и сварки : учеб. для вузов по спец. "Пр-во строит. изделий и конструкций" / Б. В. Прыкин. - Киев : Вища шк., 1978. - 240 с.
3. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства: Учебник / Р.А. Фахрутдинов. – М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
4. Пейсахов, А. М. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. для студентов немашиностроит. специальностей вузов / А. М. Пейсахов, А. М. Кучер. - 2-е изд. - Санкт-Петербург : Изд-во Михайлова В. А., 2004. - 406 с.
5. Гитлевич А.Д., Этитоф А.А. Механизация и автоматизация сварочного производства [Текст] / А.Д. Гитлевич, А.А. Этитоф. – М.: Машиностроение, 1987 – 280 с.
6. Пупков К.А., Гаврилов А.И., Шахназаров Г.А. Комплексирование робастного, нейронечеткого и адаптивного управления в интеллектуальных системах высокой точности и надежности // Интеллектуальные системы: Тр. IX Межд. симп. / Под. ред. К.А. Пупкова. М.: РУСАКИ, 2010. С. 9—17.
7. Гладков Э.А. Интеллектуальная система мониторинга технологического процесса сварки кольцевых труб большого диаметра / Э.А. Гладков, А.И. Гаврилов, Р.А. Перковский, А.А. Коновод // Интеллектуальные системы: Тр. IX Межд. симп. / Под. ред. К.А. Пупкова. М.: РУСАКИ, 2010. С. 641—645.
8. Шелягин, В.Д. Гибридная сварка излучением CO₂-лазера и дугой плавящегося электрода в углекислом газе / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, В.П. Гаращук [и др.] // Автоматическая сварка. – 2002. – № 10. – С. 38–41.

9. Зусин, В.Я. Восстановление канавок алюминиевых поршней тракторных двигателей импульсно-дуговой наплавкой в среде защитных газов / В.Я. Зусин, Г.Н. Вайнер, В.Н. Черноиванов // Сварочное производство. – 1982. – № 11. – С. 37–38.
10. Воропай, Н.М. Двухдуговая наплавка алюминиевых поршней комбинированным неплавящимся и плавящимся электродом / Н.М. Воропай, В.В. Лесных, В.А. Мишенков // Автоматическая сварка. – 1996. – № 6. – С. 21–25.
11. Чудинов, Б.А. Упрочнение верхней поршневой канавки поршней двигателей внутреннего сгорания ОАО «АВТОВАЗ», Тольятти, 2004 г. 13–16 апр. / Б.А. Чудинов, В.Ф. Жмиевский // Материалы 6-й Междунар. практ. конф.-выставки, С.-Пб., Альфаред, 2004. – С. 89–90.
12. Бондарев, А.А. Технология ремонта изношенных поршней / А.А. Бондарев // Сварщик. – 1999. – № 6. – С. 17.
13. Шонин, В.А. Остаточные напряжения в соединениях тонколистового сплава АМгб, вызванные дуговой и лазерно-дуговой сваркой / В. А. Шонин, В. С. Машин, В. Ю. Хаскин, Т. Н. Недей // Автомат. сварка. — 2006. — № 9. — С. 26–31.
14. Щекин В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов. - Изд. 2-е, перераб / В. А. Щекин - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
15. Мейстер Р. А. Нестандартные источники питания для сварки : учеб. пособие / Р. А. Мейстер. - ВУЗ/изд. - Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2004. - 96 с.
16. Цепенев Р. А. Автоматическое управление процессом сварки : учеб. пособие / Р. А. Цепенев ; ТолПИ ; Каф. "Оборуд. и технология сварочного пр-ва". - Тольятти : ТолПИ, 2001. - 76 с.
17. Корольков П. М. Термическая обработка сварных соединений трубопроводов и аппаратов, работающих под давлением / П. М. Корольков. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Стройиздат, 1987. - 233 с.

18. Акшенцева А. П. Структура и свойства никельмолибденовых коррозионностойких сплавов : (с атласом микроструктур) : справочник / А. П. Акшенцева. - Москва : СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 204 с.
19. Изучение сварочного трансформатора : метод. указания к лаб. работе №4 по дисциплине "Электротехнологические установки" / сост. М. А. Бондаренко [и др.] ; науч. ред. В. М. Салтыков ; ТГУ ; Каф. "Электроснабжение промышленных предприятий". - Тольятти : ТГУ, 2003. - 13 с.
20. Косинцев В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.
21. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. – М.: МЧС России, 1995.
22. Колганов Л. А. Сварочное производство : учеб. пособие / Л. А. Колганов. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2002. - 504 с.
23. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: Учебник [Текст] / Р. А. Фахрутдинов – М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
24. Гостюшин А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций [Текст] / А. В. Гостюшин. — М.: Изд. «Зеркало», 1995.-288 с.
25. Рыбаков В.М. Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ [Текст] / В.М. Рыбаков. - 2-е изд. перераб.- М.: Высш. школа, 1986.- 208 с.
26. Рыбаков А.М. Сварка и резка металлов. Учебник для средних профессионально-технических училищ [Текст] / А.М. Рыбаков. - М.: Высшая школа, 1977.
27. Чебац В.А. Сварочные работы: Учеб. пособие [Текст] / В.А. Чебац - 3-е изд. перераб.- Ростов-на-Дону: изд. центр «Феникс», 2006. - 412 с.
28. Красовский А.М. Основы проектирования сварочных цехов [Текст] / А.М. Красовский. – М.: Машиностроение, 1979 – 319 с.
29. Волченко В.Н. Сварка и сварочные материалы, том . 1 [Текст] / В.Н. Волченко. – М.: Машиностроение, 1991 – 527 с.

30. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика [Текст] /В.В. Клюев. - М.: Машиностроение, 1995. - 390 с.
31. Думов С. И. Технология электрической сварки плавлением: Учебник для машиностроительных техникумов [Текст] / С.И. Думов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1987. - 368 с.
32. Борисов, Ю.С. Использование сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления / Ю.С. Борисов, С.В. Петров // Автоматическая сварка. – 1995. – № 1. – С. 41–44.
33. Брейтман М. М. Экономика, организация и планирование сварочного производства : [учеб. пособие для машиностроит. техникумов] / М. М. Брейтман, Л. П. Шебеко. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1970. - 256 с.
34. Величко, О.А. Лазерная наплавка цилиндрических деталей порошковыми материалами / О.А. Величко, П.Ф. Аврамченко, И.В. Молчан, В.Д. Паламарчук // Автоматическая сварка. – 1990. – № 1. – С. 59–65.
35. Шелягин, В.Д. Лазерно-микроплазменное легирование и нанесение покрытий на стали / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, Ю.Н. Переверзев // Автоматическая сварка. – 2006. – № 2 – С. 3–6.
36. Бабинец, А.А. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла / А.А. Бабинец, И.А. Рябцев, А.И. Панфилов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 11. – С. 20–25.
37. Шебеко Л. П. Экономика, организация и планирование сварочного производства : учебник для техникумов / Л. П. Шебеко, А. Д. Гитлевич. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1986. - 261, [2] с. :
38. Грачева К. А. Экономика, организация и планирование сварочного производства : [учеб. пособие для вузов] / К. А. Грачева. - Москва : Машиностроение, 1984. - 368 с. : ил. - Библиогр.: с. 364. -